

ANALYSE POLLINIQUE DE LA SUCCESSION LACUSTRE PLEISTOCENE DU VALLO DI DIANO (CAMPANIE, ITALIE)

Elda RUSSO ERMOLLI¹

(8 figures)

1. Département des Sciences de la Terre, Université de Naples "Federico II", 10, L.go S. Marcellino, 80138 Naples, Italie

RESUME. Un sondage de 207 m a été réalisé dans l'ancien bassin lacustre du Vallo di Diano, en Italie méridionale. A partir de la base cinq faciès de sédimentation y ont été reconnus: fluvatile, fluvio-lacustre, lacustre, palustre et subaérien (cône de déjection). L'analyse pollinique de la succession lacustre a permis de mettre en évidence deux cycles "glaciaire-interglaciaire". Les périodes glaciaires sont caractérisées par des forts pourcentages de taxons herbacés. Parmi eux les éléments steppiques ont une importance certaine surtout pendant la première période glaciaire qui semblerait plus aride que la deuxième. Les périodes interglaciaires sont caractérisées par l'abondance des taxons arboréens. La présence de taxons très exigeants du point de vue thermique et hydrique, surtout pendant la deuxième période interglaciaire, dénote l'instauration d'un climat chaud et humide. La cyclicité du diagramme pollinique ainsi que les données téphrostratigraphiques et chronostratigraphiques permettent de mettre la succession étudiée en corrélation avec les stades isotopiques 13 à 16.

MOTS-CLES: Apennin campanien, dépôts lacustres, analyse pollinique, cycles "glaciaire-interglaciaire", Pléistocène moyen.

ABSTRACT. Pollen analysis of the pleistocene lacustrine succession of Vallo di Diano (Campania, Italy). A borehole was drilled down to a depth of 207 m in the ancient lake of Vallo di Diano in southern Italy. From the bottom five sedimentation facies were recognised: fluvial, fluvio-lacustrine, lacustrine, marshy and alluvial fan. The pollen analysis of the lacustrine succession enabled to point out two "glacial-interglacial" cycles. The glacial periods are characterised by high amounts of herbaceous taxa. In particular, in the first glacial period a higher percentage of steppic elements, denoting arid climate, has been found. The interglacial periods are characterised by high amounts of arboreal taxa. The higher percentage of high temperature and water demanding taxa in the second interglacial period indicates that the climate was warmer and wetter than in the first one. The pollen diagram cyclicity together with the tephrostratigraphical and chronostratigraphical data enabled to correlate the analysed succession with the isotopic stages 13 to 16.

KEYWORDS: Campanian Apennines, lacustrine deposits, pollen analysis, "glacial-interglacial" cycles, Middle Pleistocene.

1. INTRODUCTION

Au Pliocène supérieur et au Quaternaire, les Apennins ont vu se former de nombreux bassins lacustres générés par les mouvements néotectoniques différentiels qui leur ont donné le volume orographique actuel (Brancaccio *et al.*, 1984; Lippman-Provansal, 1987; Capaldi *et al.*, 1988; Santangelo, 1991). Ces lacs ont aujourd'hui disparu, mais les séries sédimentaires correspondantes

existent encore à l'heure actuelle dans différents états de conservation. Seuls quelques uns de ces bassins ont été étudiés (De Lorenzo, 1898; Sestini, 1936; Devoto, 1965; Vezzani, 1967; Piccarreta & Richetti, 1970; Ambrosetti *et al.*, 1977; Azzaroli & Lazzari, 1977; Conti & Girotti, 1977; Follieri, 1962; Lona & Ricciardi, 1961b) mais très rarement du point de vue biostratigraphique ou climatostratigraphique. Sont peu connus en particulier les bassins lacustres du sud de l'Italie, dans les séries desquels sont

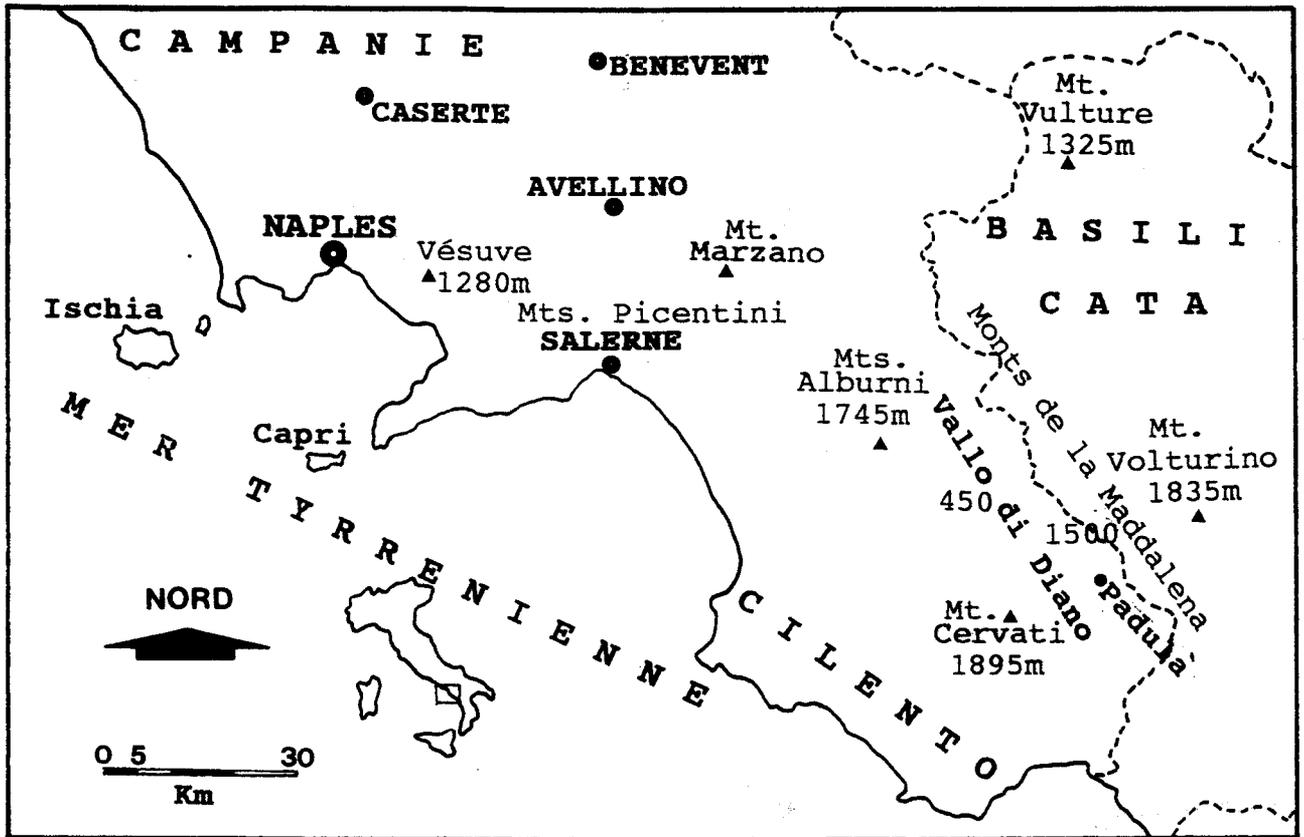


Figure 1. Localisation géographique du Vallo di Diano

inclus de nombreux niveaux pyroclastiques provenant des volcans de Campanie (Roccamonfina, Somma-Vésuve, Champs Phlégréens) et du Vulture. Les premières datations effectuées sur certaines successions lacustres, confirmées par des considérations géomorphologiques, ont permis de les rapporter au Pléistocène moyen (Capaldi *et al.*, 1988; La Rocca & Santangelo, 1991; Santangelo, 1991).

L'étude des successions lacustres s'avère très intéressante à plusieurs titres. D'une part, l'analyse géomorphologique des bassins lacustres et des formes directement associées (terrasses, versants, ...) est un support inégalable pour déterminer les étapes principales de l'évolution d'un paysage. D'autre part, la reconstitution précise de la stratigraphie des dépôts lacustres représente une excellente source d'informations à caractère biostratigraphique et(ou) paléoclimatique. Les sédiments lacustres sont en fait les seuls en milieu continental à présenter une certaine continuité, bien qu'assez réduite dans le temps. De plus, dans le Quaternaire italien, l'absence d'affleurements de sédiments marins (à part ceux concentrés au long des côtes) rend l'étude de séries lacustres encore plus importante.

L'étude de la succession lacustre du Vallo di Diano a pu être réalisée grâce à un sondage de 207 m prélevé dans la plaine. L'analyse pollinique de la série lacustre a permis de révéler l'histoire du climat et de la végétation de la Campanie pendant une tranche de temps du Pléistocène moyen très peu connue. De plus, la reconstitution de la lithologie du sondage a permis de déterminer les changements des milieux de sédimentation depuis la mise en place du lac jusqu'à son comblement, et d'insérer cette évolution dans le contexte morfo-évolutif de la région. Enfin, les nombreux niveaux pyroclastiques inclus dans la série ont permis d'établir un modèle téphrostratigraphique et la datation ($^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$) d'un de ces niveaux a permis de préciser la position chronologique de la succession.

2. CONTEXTE GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

Le Vallo di Diano est un grand bassin interne de la partie méridionale de la Campanie (Fig. 1 & 2). Il est allongé selon la direction NW-SE sur environ 37 km, avec une largeur maximale de 6 à 7 km et une altitude moyenne de 450 m. Il est entouré par des montagnes constituées essentiellement par des

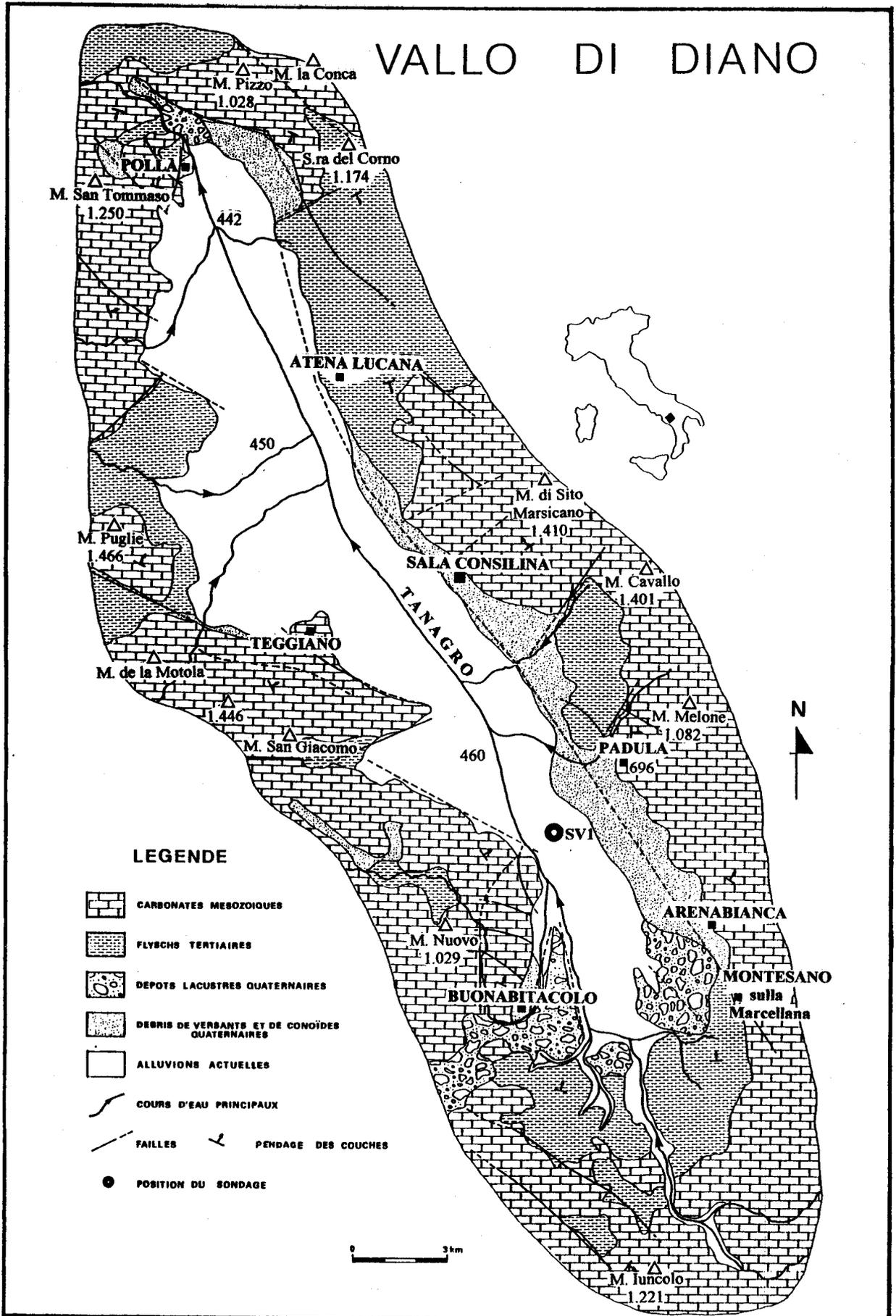


Figure 2. Schéma géologique du bassin du Vallo di Diano et position du sondage SV1

carbonates mésozoïques à faciès de plate-forme recouverts tectoniquement par des dépôts miocènes à faciès de flysch et dont l'altitude maximale est comprise entre 1000 et 1600 m. Les terrains pliocènes sont absents de la zone. Les dépôts quaternaires y sont bien représentés; ils sont constitués par des débris de versants, des dépôts de cône de déjection et, en moindre quantité, par des dépôts lacustres.

Le paysage qui entoure le Vallo di Diano (Fig. 2) est caractérisé par une forte asymétrie entre le versant occidental et le versant oriental (Ascione *et al.*, 1992).

Le bord occidental (Monts du Cilento) est contrôlé par des linéaments N120° qui ont isolé des blocs carbonatés allongés dans la même direction. Ces linéaments ont été actifs entre le Pliocène et le Pléistocène moyen à plusieurs reprises et sont responsables, en outre, du soulèvement des lambeaux de dépôts lacustres affleurant actuellement aux extrémités méridionale et septentrionale de la plaine (Santangelo, 1991). Entre ces différentes phases néotectoniques, l'érosion a joué un rôle fondamental dans l'évolution des versants grâce aussi à la présence, entre les blocs calcaires, de terrains terrigènes qui ont favorisé une érosion différentielle importante.

La situation qui caractérise la bordure orientale du bassin est profondément différente. Les Monts de la Maddalena sont constitués par une longue crête contrôlée par un linéament N150° et avec une structure en "gradins" qui abaisse les carbonates vers l'Ouest de plusieurs centaines de mètres. Ce linéament a été actif à différents moments du Quaternaire et a exercé un contrôle sur la sédimentation lacustre. Les versants structuraux, orientés N150°, sont en outre segmentés par des linéaments N120° réactivés au passage entre le Pléistocène inférieur et le Pléistocène moyen.

L'asymétrie entre les versants qui entourent le bassin est donc causée par une action érosive plus importante en bordure occidentale, et par une activité tectonique majeure et récente en bordure orientale. Cette hypothèse est appuyée par l'allure du réseau hydrographique très compliqué à l'ouest et parfaitement adapté à la structure à l'Est.

La genèse structurale de la dépression du Vallo di Diano semble être très compliquée et interprétée de différentes façons. Même le travail le plus récent à ce sujet (Ascione *et al.*, 1992) donne des hypothèses encore discutables sur la formation de ce bassin. Les failles orientées N150° en bordure orientale ont certainement joué un rôle fondamental: elles auraient abaissé vers le SW la succession des

Monts de la Maddalena, et entraîné des inversions de pendage.

3. LE SONDAGE

En raison de l'insuffisance d'affleurements de sédiments lacustres, un sondage (SV1, Fig. 2) a dû être réalisé pour permettre l'étude de la série. Le carottage en continu a atteint 207 mètres de profondeur. D'après l'observation macroscopique de la lithologie du sondage, il a été possible de reconnaître cinq faciès de sédimentation synthésisés dans la colonne de la figure 3.

Si on observe la succession des faciès du bas vers le haut, on peut essayer d'imaginer l'évolution qu'a subie le paysage depuis cette époque: sur le substrat carbonaté et(ou) flyschoïde s'installe une sédimentation alluviale. Les cours d'eau secondaires se jettent dans l'axe principal de la vallée qui s'écoule vers le Nord et à travers l'exutoire du bassin situé à l'époque à proximité de Polla (Fig. 2). Le barrage tectonique du seuil de Polla bloque l'écoulement vers le Nord et entraîne l'inondation de la plaine et, donc, l'instauration d'une sédimentation lacustre. Dès ce moment on assiste à l'évolution typique d'un bassin lacustre fermé: la série est régressive, on passe d'un milieu franchement lacustre avec des argiles homogènes à un milieu palustre avec des argiles sableuses, des sables et des tourbes. La fermeture du lac est provoquée par l'arrivée des dépôts de cône de déjection qui brusquement recouvrent les dépôts palustres.

L'observation plus détaillée de la lithologie du sondage permet de remarquer qu'au sein de chaque faciès il y a plusieurs changements lithologiques. Ces changements ont été certainement causés par les variations climatiques et(ou) géomorphologiques qui ont affecté la région à cette époque. Par exemple, l'arrivée de passées sableuses ou même graveleuses dans de l'argile homogène, peut être indicative d'une crue plus importante causée par l'augmentation de la pluviosité (variation climatique). D'autre part, le même résultat peut être obtenu à travers une augmentation de la disponibilité de matériaux détritiques causée par un soulèvement tectonique et donc, par une augmentation de l'énergie du relief (modification géomorphologique).

4. LA FLORE

La flore du Vallo di Diano au Pléistocène moyen, révélée au travers de l'analyse palynologique du sondage (voir 11.1.), est assez riche et diversifiée. La liste floristique (voir 11.3.) en montre la composition. La presque totalité des taxons

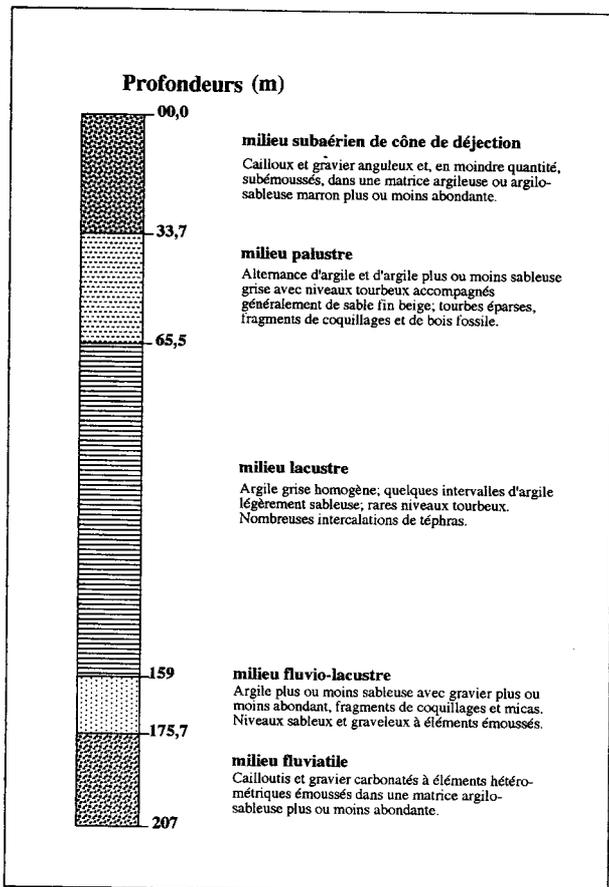


Figure 3. Lithologie synthétique du sondage SV1

reconnus vit aujourd'hui dans la région. Un bon nombre d'entre eux se rencontrent aussi dans les zones tempérées d'Eurasie et d'Amérique du Nord (*Quercus*, *Carpinus*, *Ulmus*, *Fagus*, *Betula*, *Populus*, *Salix*, *Ostrya*, *Juglans*, *Fraxinus*, *Tilia*, *Ericaceae*, ..., *Cupressaceae*, *Pinus*, *Abies*, *Picea*).

Le long de la série lacustre analysée, aucune disparition n'affecte l'ensemble floristique. On assiste bien entendu à des disparitions provisoires provoquées par les oscillations climatiques; mais une fois des conditions thermiques et hydriques acceptables rétablies, les taxons, isolés dans les refuges, reviennent s'installer dans la région. Le Pléistocène moyen est une période dépourvue d'importantes coupures marquées par des apparitions ou disparitions de taxons. A cette époque, en fait, la flore a été déjà fortement appauvrie à cause des bouleversements climatiques du Pliocène et du Pléistocène inférieur. Et, d'autre part, les derniers vestiges d'une flore ancienne, représentés dans le Vallo di Diano par de rares taxons, résistent aux glaciations jusqu'au Pléistocène supérieur (Follieri, 1979). C'est

seulement à ce moment-là que la flore acquiert sa composition actuelle.

4.1. LES TAXONS DISPARUS

Parmi les taxons qui ont disparu, *Zelkova* et *Cedrus* se sont réfugiés à de plus basses latitudes au sein du bassin méditerranéen (Maghreb, Liban, Sicile, Crète, ...).

La disparition de *Zelkova* s'est vérifiée à différents moments dans les diverses régions d'Europe. Aux Pays Bas (van der Hammen *et al.*, 1971), elle date de la fin du Pliocène, en Macédoine (van der Hammen *et al.*, 1971), *Zelkova* disparaît à la fin du "Cromer complex", il y a environ 300.000 ans. La dernière apparition de *Zelkova* en Italie centrale date de 31.000 ans environ (Follieri *et al.*, 1986). L'expansion de *Zelkova* en Italie méridionale a été considérable pendant les phases à *Quercetum mixtum* et *Carpinus* du dernier interglaciaire des bassins du Mercure (Lona & Ricciardi, 1961b) et d'Acerno (Follieri, 1962).

D'autres taxons tels que les *Taxodiaceae*, *Tsuga* et *Carya* vivent aujourd'hui en Asie et en Amérique du Nord. La reconnaissance de quelques grains de *Tsuga* ne nous permet pas d'affirmer avec certitude que ce taxon était présent dans le Vallo di Diano à cette époque. Il est difficile de dire s'il s'agit d'un remaniement, d'un apport lointain ou d'une effective présence sporadique dans la végétation. Au début du Pléistocène, on remarque encore la présence de *Tsuga* dans les bassins de Leonessa (Ricciardi, 1965) et de Gubbio (Lona & Ricciardi, 1961a) situés dans l'Apennin central et dans le bassin de Camerota (Baggioni *et al.*, 1981; Brénac, 1984) dans l'Apennin méridional. Aucune trace de ce taxon n'est révélée au Pléistocène moyen et supérieur dans les bassins du Mercure (Lona & Ricciardi, 1961b) et d'Acerno (Follieri, 1962) dans l'Apennin méridional. Les mêmes considérations sont valables pour le genre *Cedrus* mais, sa présence régulière pendant la deuxième période interglaciaire, nous permet d'affirmer qu'il occupait une place dans la végétation du Vallo di Diano, vraisemblablement à côté du Sapin dans les étages de végétation altitudinaux.

Au Pléistocène moyen, dans le Vallo di Diano, les *Taxodiaceae* étaient probablement représentées par de rares exemplaires du genre type *Taxodium*. La présence sporadique de cette famille qui, précédemment (au Plio-Pléistocène) constituait un des éléments principaux du paysage (Suc, 1980; Suc & Cravatte, 1982; Combourieu-Nebout, 1987), permet d'avancer deux hypothèses: il pourrait s'agir d'îlots isolés sur les bords du lac ou bien de remaniements de sédiments pliocènes qui devaient être plus abondants qu'actuellement sur les reliefs.

De plus, la présence de ce pollen parfois associé aux grains de *Nyssa* et(ou) *Symplocos* à la base de la série, c'est-à-dire pendant une période froide, semble confirmer l'hypothèse du remaniement. Ce sont en fait des essences subtropicales qui nécessitent des conditions thermiques et hydriques qui ne pouvaient pas exister pendant une période glaciaire. Le seul moment où la présence des Taxodiaceae ne contraste pas avec les conditions climatiques est au début de la deuxième période interglaciaire entre 70 et 83 mètres de profondeur environ.

4.2. LES ELEMENTS D'ALTITUDE

Parmi les Gymnospermes, le genre *Abies* était plus répandu qu'aujourd'hui dans nos régions comme en témoignent les forts pourcentages de ce taxon dans nos spectres anciens.

Dans le passé la production et(ou) la diffusion pollinique d'*Abies* étaient certainement plus importantes qu'aujourd'hui (Reille, 1975; Beaulieu, 1977). Il est possible qu'*Abies* se trouve actuellement dans une situation d'équilibre instable avec l'environnement ce qui pourrait expliquer sa moindre production pollinique.

Bien que moins importante, la présence de *Picea* au Pléistocène est démontrée par la reconnaissance régulière de son pollen dans les sédiments. Ce genre est actuellement présent en Italie, à l'état naturel, seulement sur les Alpes.

4.3. LA FLORE MEDITERRANEENNE ET LES HERBACEES

Certains des genres reconnus sont des éléments de la flore méditerranéenne actuelle (*Quercus* type *ilex*, *Olea*, *Phillyrea*, ..., *Cistus*). Leur représentation, pas toujours très importante, peut être expliquée par l'éloignement du Vallo di Diano de la mer. L'existence de groupements végétaux méditerranéens bien individualisés a été, en fait, déjà signalée dans le Pliocène terminal de Camerota (Baggioni *et al.*, 1981; Brénac, 1984) à proximité de la côte.

Beaucoup des herbacées reconnues apparaissent cosmopolites du fait de leur détermination au niveau de la famille (Asteraceae, Poaceae, Cyperaceae, Brassicaceae,...). D'autres pourraient indiquer un milieu steppique, sec et probablement froid: *Artemisia*, *Ephedra* et *Hippophaë*.

5. LA VEGETATION

En Campanie, on trouve actuellement tous les étages végétaux depuis l'étage thermoméditer-

ranéen sur le littoral jusqu'à l'étage altiméditerranéen sur les sommets plus élevés (Ozenda, 1975); il en résulte de fortes variations de température et de précipitations. Le passage d'un étage à l'autre est assez brusque du fait de l'augmentation rapide de l'altitude: la végétation des sommets peut se concevoir comme une incursion très méridionale de formations assimilables aux formations boréales. Les spectres polliniques résultent du mélange de pollens issus de végétaux très différents vivant dans des milieux divers.

Sur la base de ces considérations nous avons essayé de regrouper les différents taxons en assemblages végétaux selon leur affinité écologique pour donner une image des paysages et de leur évolution pendant la mise en place des sédiments lacustres du Vallo di Diano.

5.1. LES GROUPEMENTS ARBOREENS

En bordure du lac, l'humidité très importante tant au niveau du terrain (situation édaphique) qu'au niveau atmosphérique permettait le développement d'essences très exigeantes du point de vue hydrique, telles que les Taxodiaceae, *Alnus*, *Populus*, *Fraxinus*, *Salix*,...

Plus en amont, sous un climat aussi humide, mais sur un substrat plus sec, se développait la chênaie mixte dominée par le Chêne décidu auquel se mélangaient, en quantité différentes selon les périodes, d'autres essences arborées caducifoliées (*Carpinus*, *Ulmus*, *Zelkova*, *Carya*, *Tilia*, *Alnus*,...), des arbustes (Ericaceae, Cupressaceae, *Buxus*,...), des lianes (*Hedera*) et le Pin.

Vers les sommets, la forêt mixte s'enrichit progressivement en éléments d'altitude (surtout *Abies*, *Picea*, *Fagus*, ...) aussi exigeants du point de vue hydrique, mais pouvant supporter de plus faibles températures.

5.2. LES FORMATIONS SEMI-OUVERTES

Il s'agit de la chênaie méditerranéenne où l'élément principal, le Chêne (*Quercus* type *ilex-coccifera*) est accompagné d'autres essences typiques de la flore méditerranéenne telles que *Olea*, *Phillyrea*, *Pistacia*,... Ces formations pouvaient être localisées en partie sur le littoral donc en dehors du bassin du Vallo di Diano où leur place dans la végétation est difficile à imaginer. La distance du Vallo di Diano à la mer pourrait aussi expliquer les faibles pourcentages qui caractérisent ce groupement surtout dans la première partie de la succession. Nous ne pouvons pas exclure qu'une certaine quantité de ces essences pouvaient être

mélangées à la chênaie mixte caducifoliée sur les premiers contreforts du relief entourant le bassin lacustre. En fait, des conditions microclimatiques (en relation avec le relief) ou édaphiques (escarpements calcaires, points d'eau) peuvent favoriser la juxtaposition de formations végétales distinctes et leur distribution en mosaïque.

Quelques types de formations végétale actuelle peuvent nous fournir des exemples partiels pour nous faire une idée des environnements végétaux pléistocènes en Campanie. Notamment sur le littoral méridional de la Turquie (Zohari, 1973), à la faveur du relief parfois très accusé à proximité de la côte, de telles associations cohabitent dans des structures essentiellement en mosaïque. Cette région connaît actuellement un climat à forte pluviosité concentrée essentiellement sur l'automne et l'hiver, la sécheresse estivale étant bien marquée. Si, dans cette région, les taxons méditerranéens croissent sous un climat qui leur convient, c'est surtout grâce aux reliefs (pluviométrie et nébulosité accrues) et aux fleuves (situations édaphiques) que se rencontrent de tels mélanges (Walter *et al.*, 1975).

5.3. LES FORMATIONS OUVERTES

Les taxons herbacés sont considérés essentiellement xérophiles compte tenu de leur opposition aux taxons arboréens. La majeure partie d'entre eux n'a pas une signification écologique bien définie du fait de leur niveau de détermination insuffisant. Les éléments les plus significatifs sont les taxons steppiques (*Artemisia*, *Ephedra*, *Hyppochaë*) dont l'abondance pendant certaines périodes pourrait indiquer la présence de steppes, pas forcément d'altitude, vivant sous un climat sec et probablement froid. Rappelons que le pollen du genre *Artemisia* regroupe de nombreuses espèces à écologie variée.

Les associations steppiques à *Artemisia*, déjà mises en évidence au Pliocène supérieur et au Pléistocène inférieur en Méditerranée nord-occidentale (Suc, 1978 et 1982) et même en Italie méridionale (Baggioni *et al.*, 1981; Brénac, 1984; Combourieu-Nebout, 1987; Bertoldi *et al.*, 1989), peuvent être comparées, entre autres, aux associations ouvertes qui existent actuellement dans le centre de la Turquie (Zohari, 1973) sous un climat à faible pluviosité et à sécheresse estivale fortement marquée.

Au Maroc (Saadi & Bernard, 1991), l'amplitude du genre est très vaste. Ses exigences pluviométriques de 100 à 400 mm, lui permettent de s'étendre sur une grande partie du pays. L'assemblage pollinique à *Artemisia*-Asteraceae-Chenopodiaceae reflète d'abord un paysage steppique plutôt qu'un type de climat. Cet assemblage se retrouve

en effet dans des régions exposées au climat froid de haute altitude et dans celles des climats chauds et arides de basse altitude.

En Tunisie, Brun (1985) définit trois types de steppes à *Artemisia* qui répondent à des exigences climatiques distinctes. Un régime des pluies trop irrégulier éliminerait *Artemisia*. Selon Brun, l'Armoise peut ainsi être utilisée comme indicateur de changement climatique, sa raréfaction indiquant une aridification.

On vient de constater que le message pollinique des formations végétales ouvertes est assez ambigu du point de vue paléoclimatique. Une formation ouverte steppique, de montagne ou de plaine, relève de précipitations faibles ou de saisons sèches prolongées, qu'il s'agisse de "steppes froides" à déterminisme thermique ou de "steppes chaudes" à déterminisme xérique (Quézel *et al.*, 1980).

Les spectres polliniques à *Artemisia*, Amaranthaceae-Chenopodiaceae, Asteraceae, *Ephedra*, *Plantago*,... n'offrent qu'une possibilité médiocre de préciser les types de paléoclimats: une identification spécifique du pollen serait nécessaire. Si la paléotempérature est un élément très difficile à déterminer, l'aridité, par contre, pourrait être mieux cernée, notamment à travers *Artemisia* qui caractériserait les steppes les moins arides.

Les spectres polliniques à taux élevés de Chicorioideae caractérisent eux aussi un type de steppe mais leur signification climatique est aussi ambiguë. En Catalogne, les steppes plio-pléistocènes à Chicorioideae, avec Poaceae et Cyperaceae, ont été interprétées comme indicatrices d'un climat froid et sec (Leroy, 1990). Au contraire, au Pliocène inférieur d'Afrique du Nord, les formations ouvertes à Chicorioideae ont été interprétées comme des steppes "chaudes" (Suc *et al.*, 1995).

6. LES RESULTATS PALYNOLOGIQUES ET LA ZONATION DES DIAGRAMMES

Les résultats palynologiques de la série lacustre du Vallo di Diano sont présentés sur le diagramme détaillé (Fig. 4, voir 11.2.1.) et sur le diagramme synthétique (Fig. 5, voir 11.2.2.). L'analyse pollinique a pu être exprimée de 34,4 m à 175,5 m de profondeur. La lithologie (graviers et cailloutis) des premiers 34,4 m et des derniers 31,5 m du sondage n'a pas permis d'analyse. Les rares échantillons prélevés dans les niveaux plus argileux du faciès sommital se sont révélés stériles.

Une vue d'ensemble des diagrammes nous permet de remarquer les forts changements que les

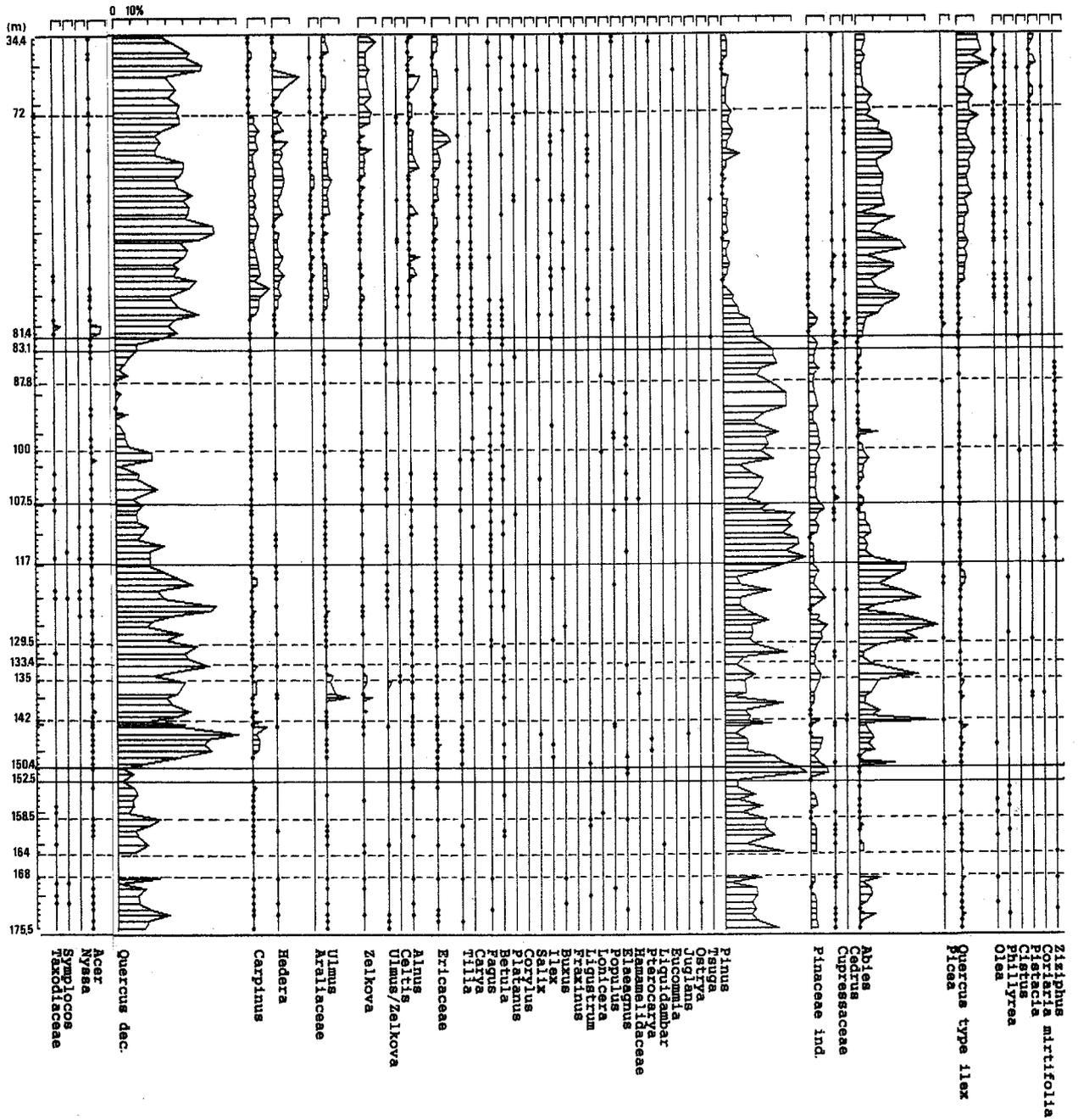


Figure 4a. Diagramme pollinique détaillé

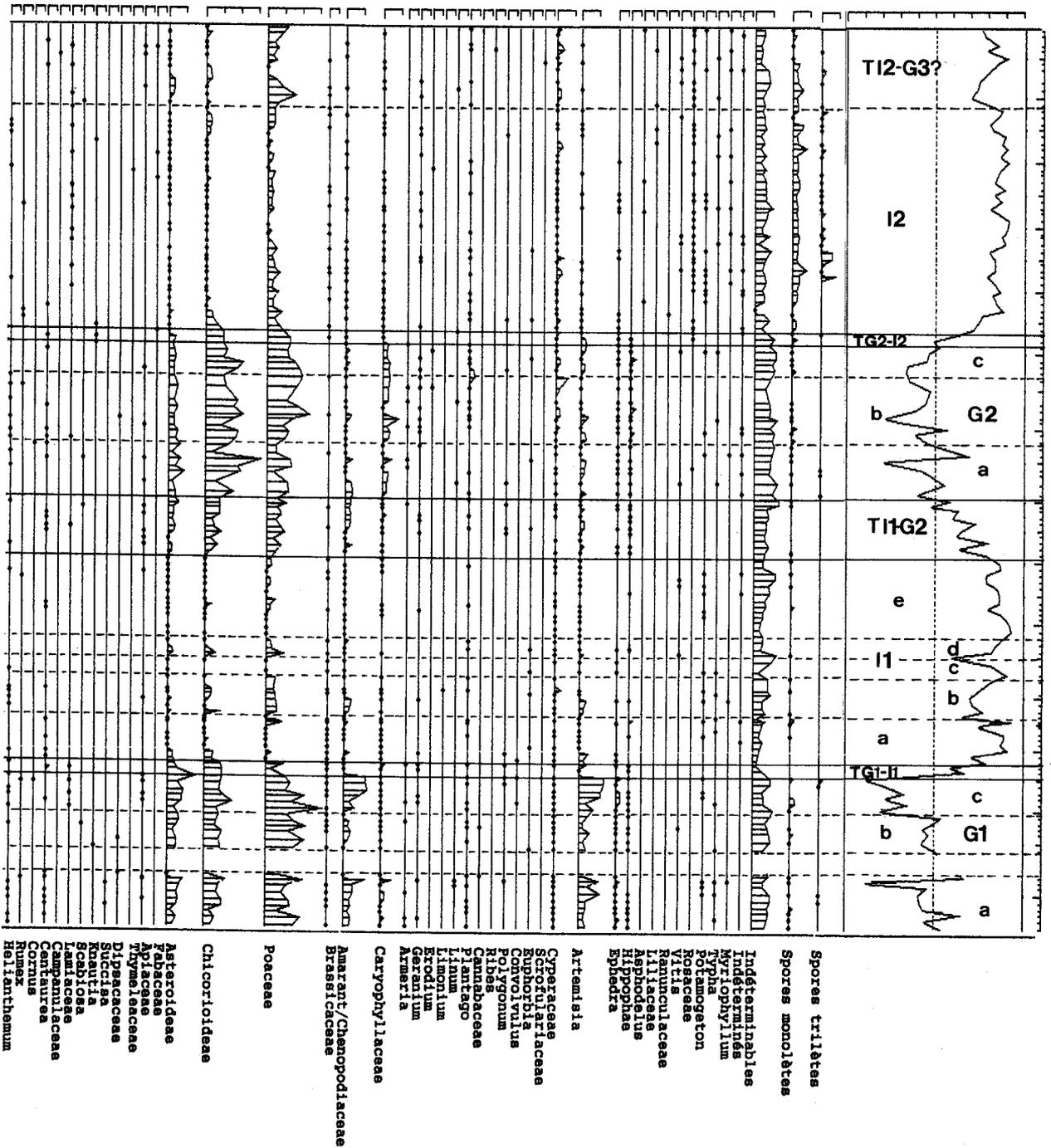


Figure 4b. Diagramme pollinique détaillé

assemblages végétaux ont subi pendant la mise en place des dépôts lacustres du Vallo di Diano. Ces variations concernent essentiellement les pourcentages des taxons arboréens par rapport aux taxons herbacés et, d'une façon moins importante, la composition floristique dans son ensemble. Pour cela, le critère de différenciation des spectres polliniques, qui a permis le découpage des diagrammes, a été la variation du pourcentage des pollens arboréens (AP).

Dans nos analyses, nous remarquons des alternances de spectres dont le pourcentage d'AP varie entre des valeurs minimum d'environ 30% jusqu'à des valeurs qui atteignent 90%. A partir des données de la littérature et des résultats de notre étude sur la pluie pollinique actuelle dans la région (Russo Ermolli, 1995), nous pouvons considérer que des fréquences d'AP supérieures à 70-80% sont typiques d'un milieu boisé. Au contraire les pourcentages d'AP inférieures à 40-50% sont l'image d'un milieu ouvert dominé par les herbacées.

Sur la base de la correspondance entre phases à végétation forestière prédominante (forêt boréale au nord, mésophile et/ou méditerranéenne au sud) correspondant aux interglaciaires et phases à végétation ouverte prédominante (toundra au Nord et steppe en région méditerranéenne) correspondant aux glaciaires (Suc & Zagwijn, 1983; van der Hammen *et al.*, 1971), nous avons pu mettre en corrélation les changements des assemblages végétaux de la série du Vallo di Diano avec deux phases glaciaires et deux phases interglaciaires. Ces corrélations entre les deux domaines et les attributions respectives aux glaciaires et interglaciaires s'appuient sur les analogies dans chacun des deux domaines des anciennes phases de végétation ouverte avec celles du dernier Glaciaire (van der Hammen *et al.*, 1971; Leroy, 1990). L'Italie méridionale n'échappe pas à cette correspondance au vu du développement des formations steppiques à *Artemisia* au cours du Würm d'après les travaux de Watts (1985) et Rossignol-Strick & Planchais (1985).

La zonation de nos diagrammes est donc basée sur des critères climatiques comme celle construite pour la région méditerranéenne par Suc (1982) et mise en corrélation avec les étages climatiques d'Europe du Nord (Suc & Zagwijn, 1983; Zagwijn & Suc, 1984) grâce aux données chrono- et biostratigraphiques. Sur la base de ces considérations, nous avons pu subdiviser la série du Vallo di Diano en sept ensembles. Chaque ensemble a pu être mis en corrélation, d'après l'association végétale, avec une période glaciaire, une période interglaciaire ou avec des périodes de transition glaciaire-interglaciaire et *vice versa*.

6.1. LA PREMIERE PERIODE GLACIAIRE G1

Cette période correspond à la partie inférieure de la série qui va de 152,5 m à 175,5 m. De cette profondeur jusqu'à la base du sondage SV1 (207 m) le matériau, très grossier, s'est révélé stérile.

Sur la base des pourcentages d'AP, presque toujours inférieurs à 50%, nous pouvons imaginer que, pendant le dépôt de cette première partie de la succession, le paysage était déboisé. La prédominance des essences herbacées (surtout Poaceae, Asteraceae, dont *Artemisia* et Amaranthaceae/Chenopodiaceae) laisse percevoir un milieu ouvert, la forêt mésophile étant assez réduite et confinée dans les étages supérieurs de végétation. Les seuls éléments notables de la forêt sont le Pin et le Chêne décidu, essences plus tolérantes au climat frais et sec installé dans la région. Leur fréquences polliniques sont toujours élevées, mais cela n'est pas forcément lié à une représentation correspondante de ces essences dans la végétation. Il a été, en fait, observé (Russo Ermolli, 1995) que très souvent *Pinus* et *Quercus* sont sur-représentés à moyenne et grande distance. Aujourd'hui, ils peuvent atteindre des pourcentages élevés sous couverture comme dans les placeaux plus ouverts, ce qui devait être le cas pendant la période G1.

La question sur la signification pollinique et écologique de *Pinus* n'est pas facile à résoudre étant donné la limite imposée par le niveau de détermination seulement générique. Il est omniprésent dans nos spectres avec des pourcentages variables, mais souvent importants. Ses fréquences sont majeures pendant les périodes glaciaires et cela pourrait être lié:

- à un apport lointain favorisé par le milieu ouvert;
- à une augmentation statistique de ses pourcentages liée à la diminution des fréquences des autres taxons;
- à une réelle représentation dans la végétation, sa présence étant liée à un climat sec: il prendrait la place des autres arbres dans tous les types de milieux (bord du lac, versants,...).

D'après les valeurs de la concentration pollinique, nous avons remarqué que pendant les périodes glaciaires (G1 et G2) le Pin est le taxon arboréen plus important. L'augmentation marquée de ses fréquences au cours des glaciaires est sûrement liée à la diminution des fréquences des autres taxons. Les valeurs les plus élevées de concentration se rencontrent au cours de la première période interglaciaire (I1) où le Pin atteint des fréquences aussi importantes. La concentration de *Pinus* diminue graduellement pendant la transition interglaciaire-glaciaire (T I1-G2). Les valeurs les plus

faibles de concentration caractérisent la deuxième période interglaciaire (I2) où la place du Pin dans la végétation est sûrement réduite en faveur des autres essences arboréennes: c'est la même image donnée par les diagrammes polliniques. Les trois hypothèses proposées plus haut pour expliquer les forts pourcentages de *Pinus* pendant les glaciaires, sont probablement toutes valables à différents niveaux de la séquence analysée.

Le long de cette période nous observons à différentes profondeurs la présence de quelques grains de Taxodiaceae accompagnés deux fois de *Symplocos*. L'interprétation de cette présence s'avère risquée, d'une part par la rareté des grains et d'autre part par la difficulté de leur trouver une place convenable au sein de l'assemblage végétal. Ces considérations nous amènent à invoquer plutôt l'hypothèse de remaniement.

En altitude, nous pouvons supposer la présence d'une zone à *Abies* qui se réduit au cours de la période. Les éléments steppiques atteignent des pourcentages assez importants qui varient entre 5% et 18% (*Artemisia* atteint dans cet intervalle ses valeurs maximales). Leur présence associée à la prédominance des herbacées est un indice clair d'un climat sec et probablement assez froid. La sécheresse est aussi rendue évidente par la faible quantité d'*Abies* et par l'absence ou la rareté d'autres taxons plus exigeants du point de vue hydrique (*Salix*, *Populus*, *Alnus*, *Hedera*,...).

Les variations quantitatives et qualitatives des spectres au sein de cette période permettent de la subdiviser en trois intervalles (Fig. 4): inférieur (G1a), moyen (G1b) et supérieur (G1c). La phase médiane exprime un petit réchauffement par rapport aux phases inférieure et supérieure.

6.2. TRANSITION PREMIERE PERIODE GLACIAIRE-PREMIERE PERIODE INTERGLACIAIRE T G1-I1

Pendant ce bref intervalle, qui correspond à la partie de la série qui va de 152,5 m à 150,4 m, on assiste à la transformation rapide du paysage: les pourcentages d'AP passent de 40% à 75%, valeur typique d'un paysage boisé. C'est l'expansion de la forêt mésophile qui amène progressivement la diminution des espaces ouverts et, donc (au niveau pollinique), la régression des taxons herbacés (surtout *Artemisia*, *Ephedra* et *Amaranthaceae/Chenopodiaceae*).

Dans cette première phase de réchauffement, le Pin est le premier taxon dont les fréquences augmentent (max 40%), suivi par le Chêne décidu

vers la fin de l'intervalle. Les autres taxons arborés sont encore sporadiques, nous verrons leur démarrage pendant la période suivante I1.

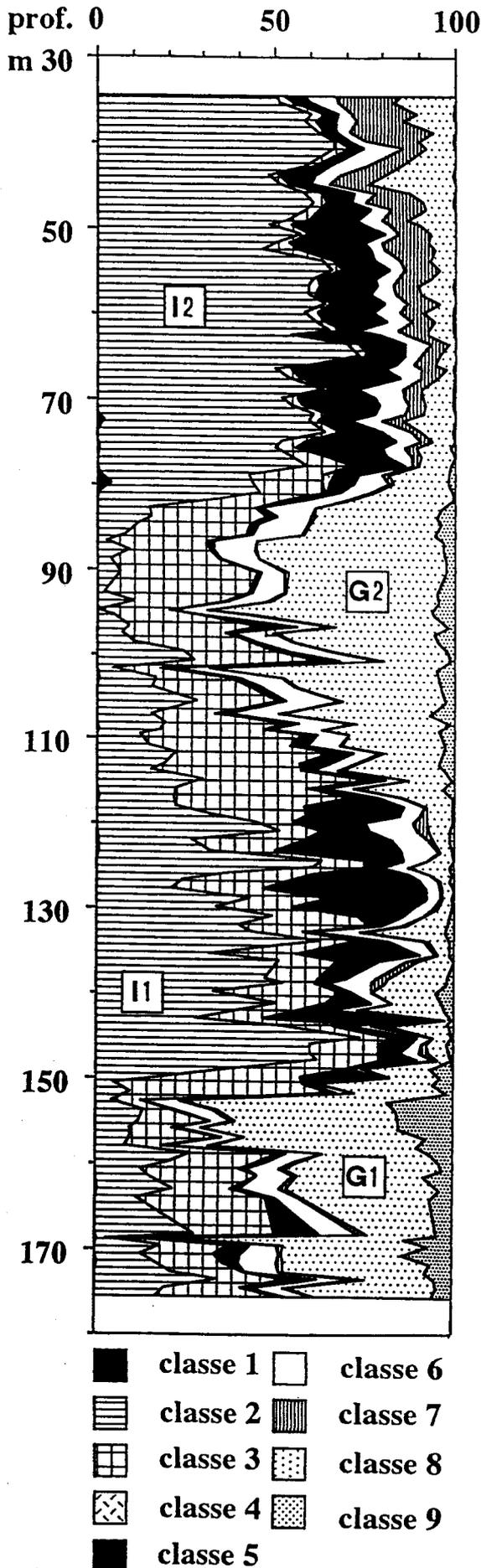
Les oscillations qui caractérisent cet intervalle sont essentiellement liées aux augmentations des fréquences de *Pinus* qui s'opposent aux diminutions de l'ensemble des herbacées. Nous pouvons supposer que la température a commencé sa montée, mais que le climat est resté encore assez sec, ne permettant pas l'instauration d'essences plus exigeantes du point de vue hydrique. Cette hypothèse est validée par la rareté du pollen d'*Abies* dont l'augmentation est considérée comme un indice d'humidité accrue.

6.3. LA PREMIERE PERIODE INTERGLACIAIRE I1

L'évolution du paysage pendant ce premier épisode interglaciaire, compris entre 150,4 m et 117 m de profondeur, est marquée par le développement d'une forêt mixte à prédominance de *Quercus* (entre 20 et 70 %) et d'une sapinière en altitude qui s'opposent à la régression des milieux ouverts. Les taux d'AP, rarement inférieurs à 70%, dénotent un milieu boisé. Pendant la phase de transition (T G1-I1), on avait assisté à la montée précoce et saccadée des fréquences de *Pinus* suivie par le début de l'expansion du Chêne décidu. Dans la période I1 l'augmentation des fréquences de *Quercus* continue et de façon beaucoup plus marquée. On assiste aussi au démarrage des courbes des autres arbres mésophiles qui vont enrichir le cortège floristique de la forêt caducifoliée. Les fréquences de ces taxons restent assez basses et leurs oscillations sont difficiles à percevoir à cause des fréquences trop élevées de *Quercus* qui masquent la progression des autres taxons arborés.

D'après l'étude de la pluie pollinique actuelle dans le Vallo di Diano (Russo Ermolli, 1995), le pollen de *Quercus*, produit en grande quantité, a un bon pouvoir de dispersion à moyenne et longue distance. Sa dominance dans les spectres polliniques ne reflète pas forcément une dominance dans le territoire: les petits peuplements ou les arbres isolés sont à l'origine de spectres équivalant à ceux de plus vastes populations. Actuellement dans le Vallo di Diano, il constitue l'essence principale de la végétation arboréenne et cela se reflète aussi dans les spectres polliniques. Bien qu'il soit parfois sur-représenté à grande distance, ses hautes fréquences sont l'image réelle de sa prédominance dans les milieux forestiers qui entourent la plaine.

Parmi les arbres qui accompagnent le Chêne, *Carpinus* est le premier à se développer, suivi par



Ulmus et *Zelkova*. Les fréquences de *Carpinus* ne sont jamais trop élevées, mais cela pourrait aussi être lié à son faible pouvoir de dispersion. Dans les spectres polliniques actuels, en fait, *Carpinus* s'avère normalement sous-représenté, surtout à grande distance.

L'évolution de la végétation de cette phase témoigne d'une augmentation de la température qui avait déjà commencé pendant la phase de transition (T G1-I1). Le premier "optimum climatique" de la succession peut être placé au niveau du maximum de la courbe du Chêne (profondeur 144,9 m). La montée plus tardive de l'humidité est illustrée par la courbe d'*Abies* qui commence à augmenter après les pics maximums de *Pinus*, *Quercus* et *Carpinus*.

Une telle évolution dans la végétation en réponse aux changements climatiques peut être comparée à celle déjà observée en Europe occidentale (van der Hammen *et al.*, 1971) où l'augmentation de la température précède celle de l'humidité. Il en résulte que la fin des glaciaires et le début des interglaciaires sont caractérisés par une sécheresse marquée. Ce n'est pas par hasard, donc, que les pics maximums d'*Artemisia* et d'Amaranthaceae-Chenopodiaceae du glaciaire G1 se situent vers la fin de la période (intervalle G1c).

A la montée précoce de la température suit sa descente précoce: c'est ce qu'on observe dans notre diagramme en regardant la courbe du *Quercus*. Celle-ci régresse vers la fin de la période, mais avant la régression de la courbe d'*Abies*. La diminution de l'humidité, dont *Abies* est un indice, se fait donc après la diminution de la température.

6.4. TRANSITION PREMIERE PERIODE INTER-GLACIAIRE-DEUXIEME PERIODE GLACIAIRE T I1-G2

Cette période, comprise entre 117 m et 107,5 m de profondeur, est le seul exemple de passage interglaciaire-glaciaire dans la série du Vallo di Diano. La diminution de la température et de l'humidité, déjà commencée vers la fin de la période précédente, provoque dans la végétation la régression de la forêt en faveur des espaces ouverts. Cette régression concerne autant la chênaie mixte (*Quercus* atteint 15%) que la sapinière de l'étage de végétation sommital. C'est un changement

Figure 5. Diagramme pollinique synthétique: 1) Eléments mégamésotermes; 2) Eléments mésotermes; 3) *Pinus* et *Pinaceae* indéterminables; 4) *Cedrus*; 5) *Abies* et *Picea*; 6) Eléments sans signification; 7) Xérophytes méditerranéennes; 8) Eléments herbacés; 9) Eléments steppiques

beaucoup plus graduel (environ 9 mètres de série) que ce qu'on avait vu pendant le passage glaciaire-interglaciaire (T G1-I1: environ 2,5 mètres de série).

Pour mieux visualiser le rôle joué par les principaux taxons dans cette phase, nous avons construit les courbes de concentration de *Quercus*, *Pinus*, *Abies*, des herbes et du total (Fig. 6). Il en résulte que la diminution d'AP est provoquée surtout par la chute des fréquences d'*Abies* et de *Quercus*. Le Pin qui, dans le diagramme détaillé (Fig. 4) semble augmenter au niveau quantitatif (jusqu'à 30-40%), reste plus ou moins constant à part quelques oscillations; dans l'ensemble, il diminue légèrement en allant vers le haut. Cela nous permet d'affirmer qu'ici le Pin est statistiquement avanta-gé à cause de la diminution des autres taxons.

Les herbes (Poaceae, Asteraceae et Amaranthaceae/Chenopodiaceae) augmentent, mais de façon moins rapide par rapport à la baisse des arbres: ce sont toujours les taxons arborés qui jouent le rôle principal.

6.5. LA DEUXIEME PERIODE GLACIAIRE G2

Cette période est comprise entre 107,5 m et 83,1 m de profondeur. Comme dans la première période glaciaire (G1), le paysage est déboisé vu la fréquence d'AP rarement supérieure à 50%. Les milieux ouverts ont progressé au fur et à mesure de la diminution de la température et de l'humidité. Les taxons herbacés (Poaceae, Asteraceae, Caryophyllaceae) dominent dans les spectres polliniques et vraisemblablement aussi dans le paysage. La fréquence des éléments steppiques (*Artemisia*, *Ephedra* et *Hippophae*) est plus faible que lors du glaciaire G1 ainsi que celle des Amaranthaceae/Chenopodiaceae. Cela pourrait être l'indice d'une sécheresse diminuée et d'une température accrue par rapport au glaciaire G1.

Mais nous avons constaté (voir 5.3.) que le message pollinique des formations végétales ouvertes est ambigu du point de vue paléoclimatique. En fait dans ce glaciaire, les forts pourcentages de Chicorioideae pourraient indiquer la présence soit de "steppes froides" (Leroy, 1990) soit de "steppes chaudes" (Suc *et al*, 1995). Pour cela, il est préférable de se confier au message pollinique donné par les taxons arborés.

La forêt mésophile est réduite: *Pinus* (10-30%) et *Quercus* (10-20%) restent les arbres dominants, mais la présence régulière de certains taxons tels *Carya* et *Zelkova* suggère la persistance de milieux assez humides et pas trop froids, peut-être liés à des situations édaphiques particulières. La présence

régulière de spores pendant cet intervalle pourrait confirmer cette hypothèse. D'après les spectres polliniques, nous pouvons supposer la présence d'un étage élevé à *Abies* bien qu'assez réduit (environ 10%). Cela serait un élément en faveur d'une certaine humidité qui pouvait caractériser ce glaciaire.

Dans l'ensemble donc, le glaciaire G2 semble être plus humide et probablement moins froid que le glaciaire G1. A l'appui de cette hypothèse, nous rappelons la présence régulière d'*Abies* et d'arbres tels que *Carya* et *Zelkova*. La moindre quantité d'éléments steppiques et d'Amaranthaceae/Chenopodiaceae ainsi que les forts pourcentages de Chicorioideae ne peuvent pas donner d'informations valables du point de vue paléoclimatique.

6.6. TRANSITION DEUXIEME PERIODE GLACIAIRE-DEUXIEME PERIODE INTERGLACIAIRE T G2-I2

Ce deuxième passage glaciaire-interglaciaire (de 83,1 m à 81,4 m de profondeur) présente, dans l'ensemble, les mêmes caractéristiques que le premier (T G1-I1). Le taux d'AP progresse de façon rapide et atteint 70%: le paysage est boisé, les milieux ouverts ayant régressé en faveur des forêts. En réponse à l'augmentation de la température, on assiste au développement de la forêt mésophile qui commence avec l'expansion du Chêne dé-cidu (max 30%). C'est la première différence par rapport à la période G1 où le Pin augmentait avant la progression de *Quercus*. Au contraire, le Pin est ici en légère régression depuis le début de la période. Les autres taxons arborés (*Acer*, *Zelkova*, *Carya* entre autres) deviennent régulièrement présents dans les spectres et montrent déjà le riche mélange floristique qu'on retrouvera, bien développé, pendant la période interglaciaire suivante (I2). Dans l'ensemble, les herbes semblent régresser bien que les familles principales restent bien représentées.

Une autre différence remarquable par rapport à l'intervalle T G1-I1 est la présence constante d'*Abies* (environ 5%) et en moindre quantité de *Picea*, qui suggère la persistance d'une sapinière en altitude: cela serait un indice de l'existence d'un climat assez humide pendant cet intervalle. En fait, le glaciaire précédent G2 ayant été caractérisé, d'après notre interprétation, par une certaine humidité, nous pouvons supposer que cette humidité s'est conservée pendant la période de passage pour augmenter fortement dès le début de l'interglaciaire I2. Pour la deuxième fois dans la série, nous pouvons observer en détail le passage d'une période froide et sèche à une période plus chaude et humide.

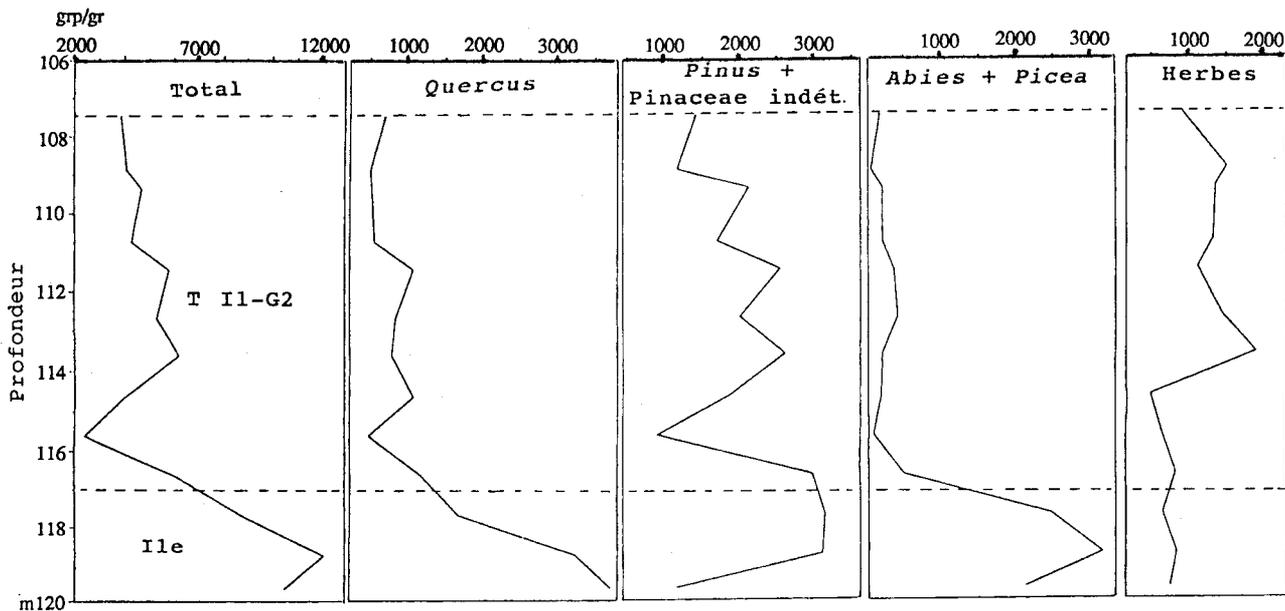


Figure 6. Courbes de concentration de quelques taxons pendant la période T I1-G2

6.7. LA DEUXIEME PERIODE INTERGLACIAIRE I2

La deuxième période interglaciaire débute à 81,4 m de profondeur pour se terminer à 34,4 m. Du sol actuel jusqu'à cette profondeur, le sédiment très grossier n'a pas permis l'analyse palynologique. Les rares échantillons de matériau argileux prélevés à différentes profondeurs au sein de ce faciès se sont révélés stériles.

Les forts pourcentages d'AP (max 90%) sont l'image d'un paysage boisé. La forêt mésophile, dominée par le Chêne décidu (25-60%) connaît son expansion maximale. Elle devient très enrichie au niveau floristique par rapport à la phase interglaciaire précédente. Le Pin perd de son importance tant au niveau statistique (environ 5%) qu'au niveau de la concentration. Les taxons méditerranéens occupent pour la première fois dans la série une place importante dans la végétation, surtout à partir de 72 m de profondeur. Probablement ont-ils pris la place du Pin dans certains milieux tels que, par exemple, les versants les moins arrosés. Il est possible aussi que leur message pollinique soit l'image d'une représentation majeure de ce groupement dans les zones littorales, en dehors, donc, du bassin du Vallo di Diano (Brénac, 1984).

Les milieux ouverts sont fortement réduits, le comblement progressif du lac a certainement conduit à un changement du paysage: le lac est devenu un marécage, la végétation environnante est luxuriante; il y a sûrement des milieux édaphiques à forte humidité.

D'après l'observation de la lithologie, nous avons déjà supposé l'existence d'un milieu palustre qui

s'était installé graduellement dans le bassin après la sédimentation lacustre. Nous avons placé la limite entre les deux faciès à 65,5 m de profondeur bien que le passage soit graduel. Ce passage se fait au milieu de l'interglaciaire sans aucune différence dans le message pollinique.

Le changement climatique de cette phase est intense et rapide: on assiste à une nette augmentation de la température et de l'humidité; l'abondance et/ou la présence régulière de certains taxons (*Hedera*, *Araliaceae*, *Ilex*,...) montrent que ce deuxième interglaciaire est certainement plus humide et peut-être plus chaud que le premier, l'absence presque totale d'éléments steppiques pourrait confirmer cette hypothèse. La quantification des paramètres climatiques est certainement difficile et délicate mais l'abondance de certains taxons comme *Hedera* ainsi que la présence régulière de *Ilex* donnent des limites thermiques inférieures pour cet interglaciaire (Iversen, 1944). Ces limites sont de -0,5°C pour la température moyenne du mois le plus froid et de 13,5°C pour la température moyenne du mois le plus chaud.

La série se termine avec cet interglaciaire, la stérilité du matériau sus-jacent ne permettant pas de révéler la présence de la phase glaciaire suivante. De toute façon, l'allure de certaines courbes pourrait suggérer qu'à partir d'environ 46 m de profondeur l'interglaciaire commence graduellement sa transition vers une phase glaciaire (T I2-G3?, Fig. 4).

La courbe la plus significative à cet égard est celle d'*Abies* qui montre une nette diminution à partir de 46 m de profondeur et dont l'allure générale est très semblable à celle qui caractérise le premier

interglaciaire (I1) et son passage au deuxième glaciaire (G2). Les fréquences des Poaceae montrent au même niveau une augmentation assez marquée; les Asteraceae, elles aussi, commencent à progresser bien que d'une façon moins importante. Plusieurs taxons arboréens (*Carpinus*, *Ulmus*, *Carya*, les Ericaceae,...) subissent une régression, par contre, d'autres, tels que *Zelkova* et *Quercus*, augmentent en contradiction avec cette hypothèse.

Le groupe des xérophytes méditerranéennes, déjà bien représenté pendant tout l'interglaciaire, semble subir une progression dans cet hypothétique passage interglaciaire-glaciaire. La signification de cette augmentation est difficile à comprendre mais nous ne pouvons pas exclure un rapprochement avec l'interprétation climatique donnée par van der Hammen *et al.* (1971). En fait, en région méditerranéenne, il a été observé que pendant les passages glaciaire-interglaciaire et *vice versa* les taxons méditerranéens étaient mieux représentés (Brénac, 1984; Wijmstra, 1969; Wijmstra & Smit, 1976; Wiel & Wijmstra, 1987 a et b). De plus, la présence de sédiments grossiers dans les premiers 33,7 m de la série est sûrement un symptôme de forte production détritique qui pourrait être lié à la cryoclastie d'une phase froide. Il est possible aussi que, depuis la fin

de l'interglaciaire, une phase d'érosion soit intervenue en détruisant une partie de la série palustre. Dans ce cas, le cône de déjection, représenté par les conglomérats sus-jacents, ne serait pas forcément lié à la phase froide suivante.

7. POSITION CHRONOSTRATIGRAPHIQUE DE LA SEQUENCE LACUSTRE

7.1 LA DATATION $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$

La datation d'une téphra, positionnée à 141,96 m de profondeur dans le sondage SV1, a donné un âge de 6005 ka (Karner *et al.*, sous presse). Ce résultat permet de corréler l'interglaciaire I1, d'où provient la téphra datée, avec le stade isotopique 15. En conséquence, les deux cycles climatiques de la série lacustre du Vallo di Diano correspondent aux stades isotopiques 13 à 16 (environ 450 à 650 ka).

7.2. LA DATATION PAR LE ^{14}C

Une datation ^{14}C effectuée sur une tourbe prélevée à environ 60 m de profondeur a donné un

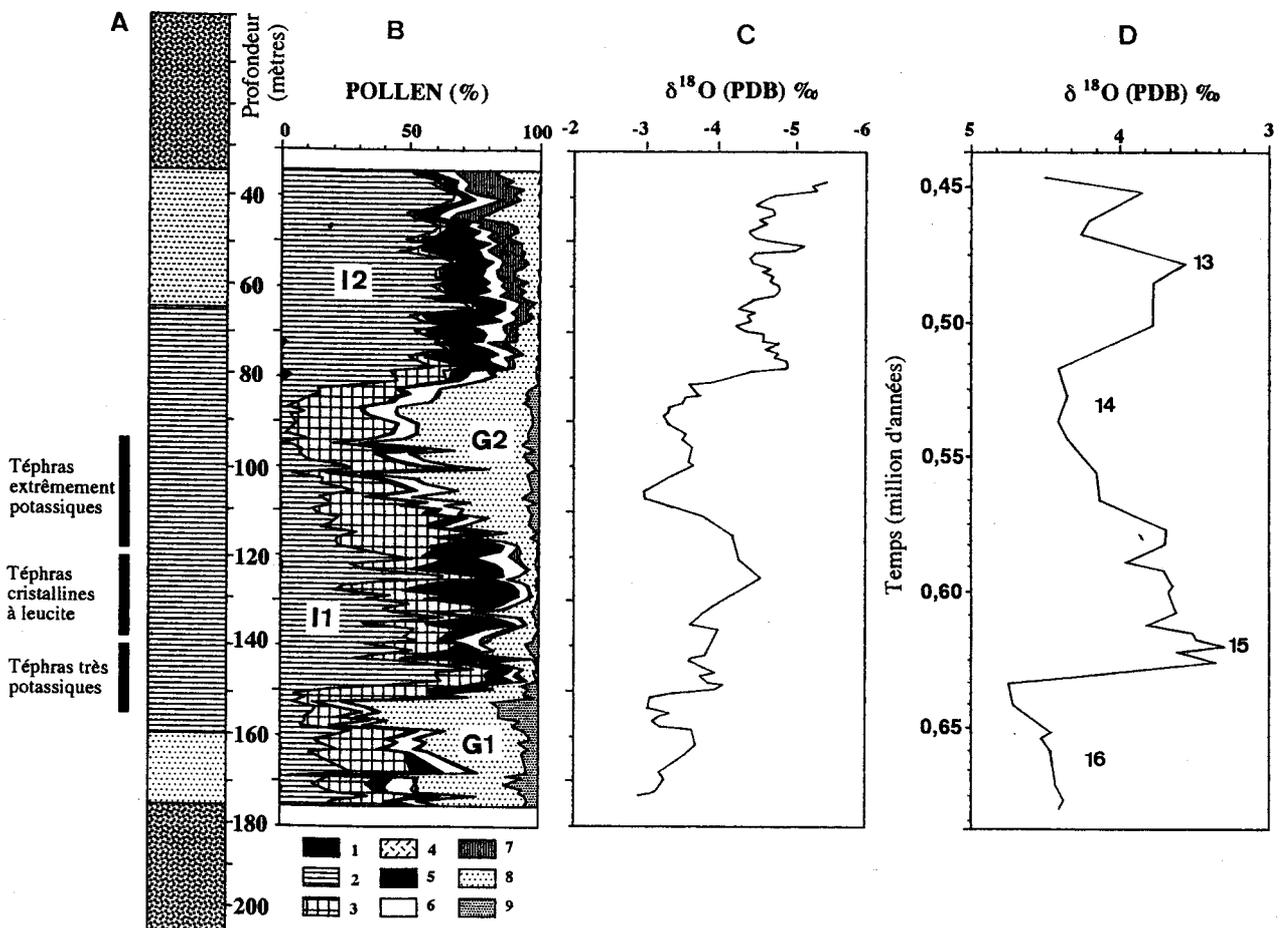


Figure 7. A) position des téphras dans la séquence lacustre du Vallo di Diano; B) diagramme pollinique synthétique (voir Fig. 5); C) variations de ^{18}O ; D) extrait de la courbe des stades isotopiques (Ruddiman *et al.*, 1989)

âge supérieur à 49,9 ka (Russo Ermolli, 1995; Russo Ermolli *et al.*, sous presse). Sur la base de cette datation l'interglaciaire I2, d'où provient cet échantillon, ne peut donc être plus jeune que l'Eemien (Stade isotopique 5).

7.3. LA PALYNOLOGIE

D'une part, la présence régulière de *Carya* et de quelques graines de *Pterocarya* dans les niveaux de l'interglaciaire I2 exclut que ce Stade isotopique soit l'Eemien (Suc *et al.*, 1995). D'autre part, l'absence de taxons exotiques, "vestiges" du Tertiaire, tout le long du diagramme, exclut toute corrélation avec le Pléistocène inférieur. Dans l'ensemble, la composition floristique est typique du Pléistocène moyen, au moins pour ce secteur de la Méditerranée.

7.4. LA VARIATION DE ^{18}O

Les variations de ^{18}O permettent de reconnaître deux cycles glaciaire-interglaciaire (Russo Ermolli *et al.*, sous presse; Karner *et al.*, sous presse). La corrélation avec le diagramme pollinique est excellente (Fig. 7).

7.5. LA TEPHROSTRATIGRAPHIE

Quatorze couches de téphras ont été reconnues dans la séquence lacustre du Vallo di Diano. Elles peuvent être classées en trois ensembles (Fig. 7) (Russo Ermolli, 1995; Russo Ermolli *et al.*, sous presse; Karner *et al.*, sous presse): 1) téphras extrêmement potassiques à biotite et clinopyroxène, 2) téphras cristallines à leucite et 3) téphras très potassiques à amphibole et sphène.

La détermination des verres montre que les téphras du Vallo di Diano consistent en phonolithes et trachytes, chimiquement très semblables aux nombreux produits volcaniques connus dans la région de Naples (Champs Phlégréens, Ischia, Vésuve, Roccamonfina) et dans le Latium (volcans de la province romaine). Cette dernière possibilité impliquerait que les volcans du Latium ont joué un rôle important et totalement inconnu dans les retombées de téphras présentes dans l'Apennin méridional.

8. CONCLUSIONS

Dans ce travail nous avons mis en évidence les changements des assemblages végétaux dans l'Apennin campanien pendant une période d'environ 200.000 ans au cours du Pléistocène moyen et nous les avons corrélés à deux cycles glaciaire-

interglaciaire correspondant aux Stades isotopiques 13 à 16. C'est la première étude palynologique d'une longue séquence continentale réalisée en Italie méridionale de façon aussi détaillée.

Cet objectif a pu être atteint grâce à la réalisation d'un sondage dans l'ancien bassin lacustre du Vallo di Diano (Salerne). Le sondage (SV1) a traversé 207 mètres de sédiments dont 150 mètres environ de faciès lacustre et palustre, qui ont été analysés. Les dépôts grossiers qui leur sont sus- et sous-jacent se sont révélés stériles à l'analyse pollinique.

La flore, révélée au travers de l'analyse pollinique de la série fossile, est assez riche et diversifiée. La plupart des taxons reconnus vivent aujourd'hui dans la région. Les seuls taxons actuellement disparus de la péninsule italienne sont *Zelkova*, *Cedrus*, *Tsuga* et les Taxodiaceae. Le Sapin était très répandu dans le bassin du Vallo di Diano au Pléistocène, surtout pendant les périodes interglaciaires, comme en témoignent les forts pourcentages que ce taxon atteint dans nos spectres fossiles. Toutefois cet arbre n'est presque plus représenté actuellement dans l'Apennin méridional où les étages sommitaux de végétation sont occupés par le Hêtre. Des petits peuplements relictuels de Sapin sont confinés sur des sommets assez loin de notre région.

Nous avons pu esquisser une description de la végétation de la Campanie et de sa transformation au cours de la séquence. En particulier, nous avons distingué les groupements arborés, les formations semi-ouvertes et les formations ouvertes. Il a été possible de mettre en évidence les forts changements que les assemblages végétaux ont subi pendant la mise en place des dépôts lacustres du Vallo di Diano. Ces variations ont été corrélées à des changements climatiques quaternaires. En particulier, au cours des périodes glaciaires, le paysage est dominé par des formations ouvertes, comparables aux ensembles steppiques trouvés dans la série de Tenaghi Philippon, en Macédoine (Wijmstra, 1969; Wijmstra & Smit, 1976; van der Wiel & Wijmstra, 1987a et b).

Au contraire, pendant les périodes interglaciaires, le paysage est dominé par les forêts mésophiles et d'altitude, qui peuvent être rapprochées de celles trouvées au cours des interglaciaires d'Europe nord-occidentale (van der Hammen *et al.*, 1971). En fait, la position géographique particulière de l'Italie, allongée sur plusieurs degrés de latitude, ainsi que sa position méridionale au sein du bassin méditerranéen, lui donnent des caractéristiques singulières tant au niveau de la flore qu'au niveau de la végétation.

Nous avons pu remarquer les similitudes entre les interglaciaires de notre série et ceux de l'Europe nord-occidentale en ce qui concerne la composition floristique mais surtout le développement de la végétation au début des interglaciaires. Dans la série de Tenaghi Pilippon en Macédoine, les interglaciaires sont caractérisés par le développement de la forêt méditerranéenne, ils ne peuvent donc pas être rapportés aux interglaciaires du Vallo di Diano du point de vue de la végétation.

En Europe septentrionale, les glaciaires sont essentiellement caractérisés par l'absence ou la rareté du message pollinique à cause de l'installation d'une végétation de type toundra ou du désert polaire. Les périodes glaciaires reconnues dans notre série peuvent être corrélées aux glaciaires de l'Europe nord-occidentale du point de vue climatostratigraphique (Suc & Zagwijn, 1983) mais elles ne sont pas similaires du point de vue floristique. Nous pouvons plutôt corréler les glaciaires du Vallo di Diano à ceux de la Méditerranée orientale et en particulier à la série de Tenaghi Pilippon, où les périodes glaciaires sont caractérisées par des steppes à *Artemisia* et *Chenopodiaceae*. L'Italie méridionale se place de façon cohérente entre l'Europe nord-occidentale et la Grèce en ce qui concerne la réponse de la végétation aux changements climatiques.

La zonation des diagrammes a été basée sur des critères climatiques qui ont permis le découpage de la série lacustre en sept périodes: deux glaciaires (G1 et G2), deux interglaciaires (I1 et I2), deux transitions glaciaire-interglaciaire (T G1-I1 et T G2-I2) et une transition interglaciaire-glaciaire (T I1-G2). Les périodes glaciaires sont caractérisées par de forts pourcentages de taxons herbacés (>50%). Parmi eux, les éléments steppiques ont une importance certaine surtout pendant le glaciaire G1. Le message pollinique donne l'image d'un paysage déboisé, indice d'un climat sec et probablement assez froid. Les périodes interglaciaires sont caractérisées par des pourcentages importants de taxons arboréens (>70%), image d'un paysage boisé. La forêt mésophile connaît son expansion maximale. Elle devient très enrichie au niveau floristique surtout pendant l'interglaciaire I2. Au cours des périodes de transition glaciaire-interglaciaire il a été possible de mettre en évidence la régression des milieux ouverts en faveur des forêts, en réponse à l'augmentation rapide de la température. Au cours du seul passage interglaciaire-glaciaire de la série, nous avons enregistré la baisse de la température et de l'humidité. Cette variation a été nettement plus graduelle que celle mise en évidence pendant les transitions glaciaire-interglaciaire.

Une datation $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ (Karner *et al.*, sous presse) a permis de connaître précisément la position stratigraphique de la série lacustre du Vallo di Diano. Des considérations géomorphologiques plaçaient la série dans le Pléistocène moyen. Cette hypothèse était confirmée par la datation (K/Ar) effectuée sur trois téphras affleurant dans le bassin ainsi que par la corrélation entre les téphras trachyphonolithiques supérieures du sondage SV1 et celles du volcan Roccamonfina et(ou) des volcans de la province romaine dont la principale activité éruptive à produits trachytiques remonte au Pléistocène moyen.

La composition floristique de notre séquence est typique du Pléistocène moyen et supérieur. Une appartenance au Pléistocène inférieur aurait été suggérée par la présence, même sporadique, de taxons "exotiques", vestiges du Pliocène. D'autres séries d'Italie méridionale, notamment celle de Camerota (Baggioni *et al.*, 1981; Brénac, 1984) et celle de Croton (Combourieu-Nebout, 1987), les deux représentant une partie du Pléistocène inférieur, montrent des associations végétales très différentes de celles retrouvées dans le Vallo di Diano.

L'appartenance au Pléistocène moyen nous permet d'attribuer les cycles climatiques retrouvés dans notre séquence aux cycles de 100.000 ans caractéristiques, notamment, du Pléistocène moyen et supérieur (Ruddiman *et al.*, 1989). La série lacustre se serait donc déposée en environ 200.000 ans, et la vitesse de sédimentation serait en moyenne de 0,7 mm par an. C'est une vitesse très élevée (plus du double du taux enregistré à Valle di Castiglione, Follieri *et al.*, 1988) qui est d'ailleurs confirmée par les faibles concentrations polliniques (compte tenu de ce type de milieu), par les très faibles concentrations en diatomées (C. Cornet, comm. pers.) et ostracodes (E. Gliozzi, comm. pers.) ainsi que par la lithologie (présence de sable et cailloux même dans les argiles qui semblaient les plus homogènes).

9. REMERCIEMENTS

Le CNR (Italie) a financé le sondage SV1 (projet n° 890 0344). L'étude palynologique a été réalisée grâce à une bourse sectorielle dans le cadre du programme "EPOCH" de l'U.E. La convention d'échanges entre l'Université de Naples et l'Université de Liège a permis les rencontres multidisciplinaires. Monsieur J.-P. Suc du CNRS m'a constamment supportée. Que toutes ces personnes et institutions reçoivent ici nos plus vifs remerciements.

10. BIBLIOGRAPHIE

- AMBROSETTI P., CONTI M.A., PARISI G., KOTSAKIS T. & NICOSIA U., 1977. Neotettonica e cicli sedimentari plio-pleistocenici nei dintorni di Città della Pieve (Umbria). *Bollettino Società Geologica Italiana*, 96: 605-635.
- ASCIONE A., CINQUE A., SANTANGELO N. & TOZZI M., 1992. Il bacino del Vallo di Diano e la tettonica trascorrente plio-quadernaria: nuovi vincoli cronologici e cinematici. *Studi Geologici Camerti* (Camerino), vol. spéc. 1992/1: 201-208.
- AZZAROLIA. & LAZZARI L., 1977. I laghi del Valdarno superiore. *Centro Studi Geologia Appennino C.N.R.*, 10 p.
- BAGGIONI M., SUC J.P. & VERNET J.L., 1981. Le Plio-Pléistocène de Camerota (Italie méridionale): géomorphologie et paléoflores. *Géobios*, 14 (2): 229-237.
- BEAULIEU J.-L. de, 1977. Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des Alpes méridionales françaises. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille III, 358 p.
- BERTOLDI R., RIO D. & THUNELL R., 1989. Pliocene-Pleistocene vegetational and climatic evolution of the south central Mediterranean. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 72: 263-275.
- BRANCACCIO L., PESCATORE T., SGROSSO I. & SCARPA R., 1984. Geologia regionale. In: Lineamenti di geologia regionale e tecnica, Ricerche e Studi Formez, 37, Naples: 5-47.
- BRENAC P., 1984. Végétation et climat de la Campanie du Sud (Italie) au Pliocène final d'après l'analyse pollinique des dépôts de Camerota. *Ecologia Mediterranea*, 10 (3-4): 207-216.
- BRUN A., 1985. La couverture steppique en Tunisie au Quaternaire supérieur. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 301, Sér. 2, 14: 1085-1090.
- CAPALDI G., CINQUE A. & ROMANO P., 1988. Ricostruzione di sequenze morfoevolutive nei Picentini meridionali (Campania, Appennino meridionale). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, Suppl. I: 207-222.
- CAPALDI G., CIVETTA L. & GILLOT P.Y., 1985. Geochronology of Plio-Pleistocene volcanic rocks from southern Italy. *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, 40: 25-44.
- COMBOURIEU-NEBOUT N., 1987. Les premiers cycles glaciaire-interglaciaire en région méditerranéenne d'après l'analyse palynologique de la série de Crotonne (Italie méridionale). Diplôme d'études doctorales, Université de Montpellier II, 161 p.
- CONTI M.A. & GIROTTI O., 1977. Il Villafranchiano nel lago tiberino ramo sudoccidentale: schema stratigrafico e tettonico. *Geologica Romana*, 16: 67-80.
- DE LORENZO G., 1898. Reliquie di grandi laghi pleistocenici nell'Italia meridionale *Atti dell'Accademia di Scienze Fisiche e Matematiche*, Naples, 9 (2): 1-74.
- DEVOTO G., 1965. Lacustrine Pleistocene in the lower Liri valley (southern Latium). *Geologica Romana*, 4: 291-368.
- FOLLIERI M., 1962. Macro- e microfossili vegetali in un deposito lacustre pleistocenico presso Acerno (Salerno). *Annali di Botanica*, 27 (2): 361-367.
- FOLLIERI M., 1979. Late Pleistocene floristic evolution near Rome. *Pollen et Spores*, 21: 135-148.
- FOLLIERI M., MAGRI D. & SADORI L., 1986. Late Pleistocene *Zelkova* extinction in Central Italy. *New Phytology*, 103: 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.
- FORNASERI M., 1985. Geochronology of volcanic rocks from Latium (Italy). *Rendiconti della Società Italiana di Mineralogia e Petrologia*, 40: 73-105.
- HAMMERT van der, WIJMSTRA, T.A. & ZAGWIJN, W.H., 1971. The floral record of the Late Cenozoic of Europe. In: The Late Cenozoic Glacial Ages (Ed. by K. Turekian), Yale University Press, New Haven, p.291-494.
- HAVINGA A., 1984. A 20-year experimental investigation into the differential corrosion susceptibility of pollen and spores in various soil types. *Pollen et Spores*, 26 (3-4): 541-558.
- IVERSEN J., 1944. *Viscum, Hedera* and *Ilex* as climate indicators. *Geologie Fören. Förhandl.*, 66 (3): 463-483.
- KARNER D. B., JUVIGNE E., BRANCACCIO L., CINQUE A., RUSSO ERMOLLI E., SANTANGELO N., BERNASCONI S., LIRER L., sous presse. An early middle Pleistocene tephrostratotype for the mediterranean basin: the Vallo di Diano, Campania, Italy. *Quaternary Sciences Review*.
- LA ROCCA S. & SANTANGELO N., 1991. Nuovi dati sulla stratigrafia e sull'evoluzione geomorfologica del bacino lacustre pleistocenico del F. Noce (Basilicata). *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 14 (2): 229-242.
- LEROY S., 1990. Paléoclimats plio-pléistocènes en Catalogne et Languedoc d'après la palynologie de formations lacustres. Thèse de doctorat, Université Catholique de Louvain, vol. I: 319 p., vol. II: 193 p.
- LIPPMAN-PROVANSAL M., 1987. L'Apennin campanien méridional (Italie): étude géomorphologique. Thèse d'Etat, Université d'Aix-Marseille III, 770 p.
- LONA F. & RICCIARDI E., 1961a. Studio pollinologico stratigrafico su una serie lacustre pleistocenica dell'Italia centrale (Bacino di Gubbio, Perugia). *Pollen et Spores*, 3 (1): 93-100.
- LONA F. & RICCIARDI E., 1961b. Reperti pollinologici nei depositi pleistocenici del bacino lacustre del Mercure (Italia meridionale, regione Lucano-Campana). *Pollen et Spores*, 3: 85-92.
- OZENDA P., 1975. Sur les étages de végétation dans les montagnes du bassin méditerranéen. *Documents de Cartographie Ecologique*, 16: 1-32.
- PICCARRETA G. & RICCHETTI G., 1970. I depositi del bacino fluvio-lacustre della fiumara di Venosa-Matinelle del torrente Basentello: studio geologico petrografico. *Memorie della Società Geologica Italiana*, 9: 121-134.
- QUEZEL P., BARBERO M. & AKMAN Y., 1980. Contribution à l'étude de la végétation forestière d'Anatolie septentrionale. *Phytocoenologia*, 8 (3-4): 365-519.
- REILLE M., 1975. Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation de la montagne Corse. Thèse d'Etat, Université d'Aix-Marseille III, 206 p.
- RICCIARDI E., 1965. Analisi polliniche di una serie stratigrafica dei sedimenti lacustri del Pleistocene inferiore nel Bacino di Leonessa (Rieti, Italia centrale). *Giornale Botanico Italiano*, 72: 62-82.
- ROSSIGNOL-STRICK M. & PLANCHAIS N., 1985. Paléoclimatologie de l'Europe méditerranéenne par l'analyse pollinique d'une carotte marine en Mer Tyrrhénienne. *Programme nature et dynamique climatique*, Coll. 1985, Résumés, 1p.
- 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., 1995. Analyse pollinique des dépôts lacustres pléistocènes du Vallo di Diano (Campanie, Italie): cyclicités et quantification climatiques. Thèse de doctorat, Université de Liège, Belgique, 218 p.
- RUSSO ERMOLLI E., JUVIGNE E., BERNASCONI S., BRANCACCIO L., CINQUE A., LIRER L., OZER A. & SANTANGELO N., sous presse. Le premier stratotype continental des stades isotopiques 13 à 16 (Pléistocène Moyen) pour le bassin méditerranéen septentrional: le Vallo di Diano (Campanie, Italie). *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*.
- SAADI F. & BERNARD J., 1991. Rapport entre la pluie pollinique actuelle, le climat et la végétation dans les steppes à *Artemisia* et les milieux limitrophes au Maroc. *Palaeoecology of Africa*, 22: 67-89.

SANTANGELO N., 1991. Evoluzione stratigrafica, geomorfologica e neotettonica di alcuni bacini lacustri del confine Campano-Lucano (Italia meridionale). Thèse de doctorat, Université de Naples "Federico II", 109 p.

SESTINIA., 1936. Stratigrafia dei terreni fluvio-lacustri del Valdarno superiore. *Atti della Società Toscana di Scienze Naturali*, 45: 37-41.

STOCKMARR J., 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*, 13 (4): 615-621.

SUC J.-P., 1978. Analyse pollinique de dépôts plio-pléistocènes du Sud du massif basaltique de l'Escandorgue (site de Bernasso, Lunas, Hérault, France). *Pollen et Spores*, 20 (4): 497-512.

SUC J.-P., 1980. Contribution à la connaissance du Pliocène et du Pléistocène inférieur des régions méditerranéennes d'Europe occidentale par l'analyse palynologique des dépôts du Languedoc-Roussillon (Sud de la France) et de la Catalogne (Nord- Est de l'Espagne). Thèse d'Etat, Université de Montpellier II, 198 p.

SUC J.-P., 1982. Palynostratigraphie et paléoclimatologie du Pliocène et du Pléistocène inférieur en Méditerranée occidentale. *Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, 294 (2): 1003-1008.

SUC J.-P., 1984. Origin and evolution of the Mediterranean végétation and climate in Europe. *Nature*, 307: 429-432.

SUC J.P. & CRAVATTE J., 1982. Etude palynologique du Pliocène de Catalogne (nord-est de l'Espagne). *Paléobiologie continentale*, Montpellier, 13 (1): 1-31.

SUC J.-P. & ZAGWIJN W.H., 1983. Plio-Pléistocène correlations between the northwestern Mediterranean region and northwestern Europe according to recent biostratigraphic and paleoclimatic data. *Boreas*, 12: 153-166.

SUC J.P., BERTINI A., COMBOURIEU-NEBOUT N., DINIZ F., LEROY S., DRIVALIARI A., RUSSO ERMOLLI E., ZHENG Z., BESSAIS E. & FERRIER J., 1995. West mediterranean vegetation and climate since 5.3 Ma. *Acta zoologica Cracoviensis*, 38 (1): 3-16.

TUTIN T.G., HEIWOOD V.H., BURGESS N.A., MOORE D.M., VALENTINE D.H., WALTERS S.M. & WEBB D.A., 1964, 1968, 1972, 1976, 1980. *Flora Europaea*. 5 vol., Cambridge University Press.

VEZZANI L., 1967. Osservazioni sul bacino lacustre del F. Mercure. *Atti dell'Accademia Gioenia di Scienze Naturali*, Catania, 18 (6): 229-235.

WALTER H., HARNSCHELL E. & MUELLER-DOMBOIS D., 1975. Climate-diagram maps of the individual continents and the ecological climatic regions of the earth. G. FISCHER édit., Stuttgart, 36 p.

WATTS W.A., 1985. A long pollen record from Laghi di Monticchio, southern Italy: a preliminary account. *Journal of Geological Society*, Londres, 142: 491-499.

WIEL A.M. van der & WIJMSTRA T.A., 1987a. Palynology of the lower part (78-120 m) of the core Tenaghi Philippon II, Middle Pleistocene of Macedonia, Greece. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 52: 73-88.

WIEL A.M. van der & WIJMSTRA T.A., 1987b. Palynology of the 112,8-197,8 m interval of the core Tenaghi Philippon III, Middle Pleistocene of Macedonia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 52: 89-117.

WIJMSTRA T.A., 1969. Palynology of the first 30 metres of a 120 m deep section in northern Greece. *Acta Botanica Neerlandensis*, 18 (4): 511-527.

WIJMSTRA T.A. & SMIT A., 1976. Palynology of the middle part (30-78 metres) of the 120 m deep section in northern Greece (Macedonia). *Acta Botanica Neerlandensis*, 25 (4): 297-312.

ZAGWIJN W.H. & SUC J.-P., 1984. Palynostratigraphie du Plio-Pléistocène d'Europe et de Méditerranée nord-occidentales: corrélations chrono-stratigraphiques, histoire de la végétation et du climat. *Paléobiologie continentale*, Montpellier, 14 (2): 475-483.

ZOHARI M., 1973. Geobotanical foundations of the Middle East. G FISCHER édit., Stuttgart, 73 p.

11. ANNEXE

11.1. ANALYSE POLLINIQUE DE LA SEQUENCE FOSSILE

186 échantillons ont été choisis pour l'analyse palynologique. L'intervalle entre les échantillons analysés varie de 50 centimètres à 1 mètre. Dans les 33,7 mètres supérieurs, très peu d'échantillons ont pu être prélevés dans les rares passées argileuses. Aucun n'a donné de résultats du point de vue palynologique, étant donné la forte oxydation des sédiments. Dans les 33,3 mètres inférieurs du sondage aucun échantillon n'a pu être prélevé à cause de l'absence de niveaux à matrice argileuse dominante.

L'analyse palynologique a consisté en comptages et déterminations botaniques des grains de pollen fossile contenus dans les sédiments. La fiabilité des études polliniques repose en premier lieu sur les déterminations botaniques des grains qui doivent être nombreuses et aussi précises que possible afin de tendre vers un inventaire floristique complet.

La variété des taxons rencontrés au cours des analyses est assez réduite et les types polliniques posant des problèmes de détermination ont été exceptionnels. Certains grains sont toutefois restés indéterminés et d'autres ont été classés indéterminables étant soit trop abîmés soit inobservables (en bordure de lame par exemple).

Les comptages ont été réalisés sous microscope optique avec des oculaires de 10x et un objectif de 50x. Pour les comptages de routine, le grossissement atteint donc 500x. Pour des déterminations plus délicates, l'observation se réalise à l'aide d'un objectif 100x (grossissement 1000x). Pour chaque échantillon, au moins 300 grains de pollen ont été comptés pour une moyenne de 25 taxons. Le calcul des pourcentages et des concentrations des différents taxons a permis de construire les différents diagrammes et courbes palynologiques.

11.2. LES DIAGRAMMES PALYNOLOGIQUES

La proportion de chaque taxon dans un échantillon est exprimée en pour-cent. Chaque analyse est un spectre pollinique; une succession chronologique de spectres donne un diagramme.

Le spectre pollinique représente une image déformée de la végétation émettrice. Parmi les facteurs de distorsion qui entrent en jeu, les plus importants sont:

- la quantité très variable de pollen produite par chaque type de végétal,
- l'entomogamie ou l'anémogamie des fleurs,

-le type de transport et le milieu de sédimentation,
-la conservation variable des grains de pollen.

L'interprétation d'un spectre isolé reste donc aléatoire tandis que l'étude d'un diagramme pollinique nous informe sur les variations intervenues dans la flore et la végétation, la variation relative de chaque facteur de distorsion pouvant être perçue à la faveur de la multiplication des données. Deux types de diagrammes ont été construits: le diagramme détaillé et le diagramme synthétique.

11.2.1. Le diagramme détaillé

Le diagramme détaillé intègre tous les spectres polliniques d'une série et réunit tous les taxons reconnus (Fig. 4). Pour les grains de pollen, le pourcentage de chaque taxon a été calculé sur une somme de base qui comprend tous les grains de pollen (grains indéterminés et indéterminables inclus). Les pourcentages des spores ont été calculés sur la même somme de base augmentée des spores.

11.2.2. Le diagramme synthétique

Le diagramme synthétique a été construit en regroupant les taxons en neuf classes selon leurs affinités écologiques (Fig. 5). Il permet une visualisation rapide des variations survenues dans la flore pollinique dont la reconnaissance et la caractérisation reposent toutefois sur le diagramme pollinique détaillé. Les pourcentages sont calculés par rapport au total des grains de pollen, c'est-à-dire sur la même somme de base que celle utilisée pour la construction des diagrammes détaillés. Le diagramme synthétique ici construit s'inspire de ceux mis au point par Suc (1984) de manière à disposer d'un diagramme directement comparable à ceux d'autres auteurs qui ont suivi le même classement. Les critères de regroupement des taxons sont les suivants:

-Eléments méga-mésothermes et mésothermes demandant une humidité (climatique ou édaphique) élevée:

classe 1: Taxodiaceae, *Symplocos*, *Nyssa*.

classe 2: *Eucommia*, *Acer*, *Quercus*, *Carpinus*, *Ulmus*, *Zelkova*, *Ulmus-Zelkova*, *Celtis*, *Hedera*, Araliaceae, *Alnus*, Ericaceae, *Tilia*, *Platanus*, *Corylus*, *Salix*, *Ilex*, *Buxus*, *Fraxinus*, *Ligustrum*, *Lonicera*, *Fagus*, *Betula*, *Populus*, *Elaeagnus*, Hamamelidaceae, *Pterocarya*, *Carya*, *Juglans*, *Ostrya*, *Tsuga*, *Liquidambar*.

-Eléments méso-microthermes et microthermes vivant sous des conditions humides (éléments d'altitude):

classe 4: *Cedrus*

classe 5: *Abies* et *Picea*

-Eléments sans signification climatique en raison du niveau insuffisant de détermination, de leur trop grande spécialisation ou de leur vaste répartition:

classe 3: *Pinus* et Pinaceae indéterminables.

classe 6: *Asphodelus*, Liliaceae, Ranunculaceae, *Vitis*, Rosaceae, *Potamogeton*, *Typha*, *Myriophyllum*, Cupressaceae, grains indéterminés et indéterminables.

-Eléments de végétation ouverte, essentiellement xérophiiles:

classe 7: Xérophytes méditerranéennes (arbres et arbustes): *Quercus* type *ilex-coccifera*, *Olea*, *Phillyrea*, *Cistus*, *Pistacia*, *Coriaria myrtifolia*, *Ziziphus*.

classe 8: Herbes: *Helianthemum*, *Rumex*, *Cornus Centaurea*, Campanulaceae, Lamiaceae, *Scabiosa*, *Knautia*, *Succisa*, Dipsacaceae, Thymeleaceae, Apiaceae, Fabaceae, Asteraceae (Asteroideae et Chicorioideae), Poaceae, Brassicaceae, Amaranthaceae-Chenopodiaceae, *Linum*, Caryophyllaceae, *Armeria*, *Geranium*, *Erodium*, *Limonium*, *Plantago*, Cannabaceae, *Ribes*, *Polygonum*, Convolvulaceae, *Euphorbia*, Scrofulariaceae, Cyperaceae.

classe 9: Eléments steppiques: *Artemisia*, *Ephedra*, *Hippophaë*

11.2.3. Autres courbes

D'autres courbes ont été construites (Fig. 8) pour mieux visualiser les résultats obtenus. Elles illustrent:

- la richesse du sédiment en grains de pollen (concentration),
- la fréquence des grains indéterminables,
- le nombre de grains de pollen comptés par analyse,
- le nombre de taxons reconnus.

Pour le calcul de la concentration, la méthode de l'insertion de spores de *Lycopodium* pendant la préparation du sédiment a été utilisée (Stockmarr, 1971). Pour 10g de sédiment sec, 4 tablettes de *Lycopodium* ont été introduites; dans chaque tablette il y a 13.500 spores, cela fait 5.400 spores de *Lycopodium* par gramme de sédiment sec ("L"). Si "I" est le nombre de spores de *Lycopodium* comptées dans une lame et "S" le nombre total de pollen comptés dans la même lame, la concentration est donnée par la formule suivante: "S" x "L" / "I".

La courbe qui visualise la concentration du pollen dans le sédiment, montre des oscillations qui peuvent être corrélées aux cycles climatiques reconnus d'après l'analyse pollinique. Il est intéressant d'observer que les plus faibles valeurs de concentration se rencontrent au cours des périodes glaciaires. Au contraire, pendant les périodes interglaciaires les valeurs de concentration sont plus élevées.

La concentration pollinique dépend de plusieurs facteurs: la vitesse de sédimentation, le faciès, les phénomènes d'altération chimique et physique qui peuvent intervenir après le dépôt. L'altération

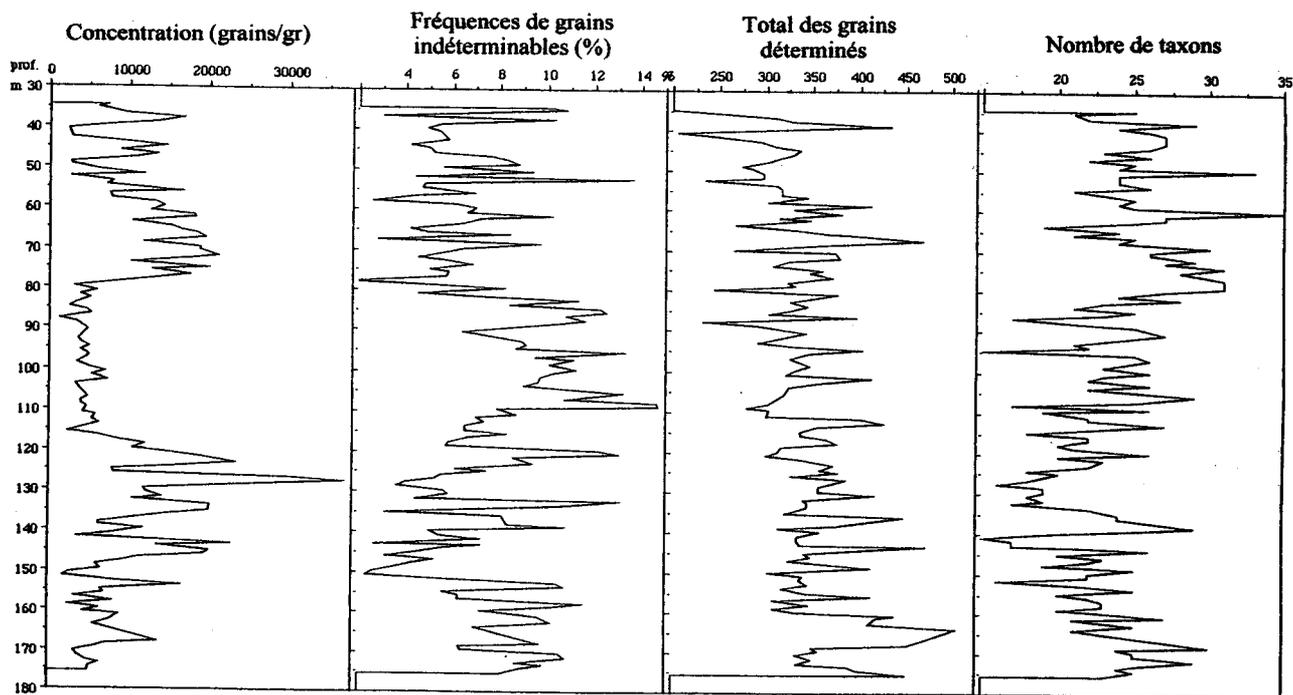


Figure 8. Autres courbes

intervient à deux niveaux dans nos résultats, d'une part dans la richesse en pollens (concentration), d'autre part dans l'état général des grains (conservation). La quantité des grains abimés (indéterminables) peut nous renseigner sur l'intensité des phénomènes d'altération. Il y a deux types d'altération, l'une chimique et biochimique qui opère une conservation différentielle du pollen, l'autre mécanique qui affecte tous les grains indifféremment (Leroy, 1990). L'altération chimique et biochimique est provoquée par l'action conjointe d'organismes vivants (champignons et bactéries) et de l'oxydation (pédogenèse, par exemple). Cette altération peut provoquer une conservation différentielle des grains en fonction du contenu en sporopollenine de l'exine (Havinga, 1984): il y a en effet une sur-représentation des grains plus résistants. L'altération mécanique affecte indifféremment tous les pollens: il y a abrasion physique du grain, fragmentation et usure. Cette altération peut être provoquée par l'érosion, le ruissellement, la remise en mouvement des grains par transport secondaire (Leroy, 1990). Certains milieux sont plus favorables à l'altération mécanique, en priorité il y a les milieux ouverts (steppes), ensuite les milieux à forte énergie (berges d'un lac).

La courbe qui visualise les variations de la fréquence des grains indéterminables montre, dans l'ensemble, des oscillations aussi corrélables aux cycles climatiques. En particulier, les valeurs plus importantes de fréquence caractérisent les périodes glaciaires (surtout le G2). Comme nous l'avons

observé plus haut, la fréquence des grains indéterminables nous renseigne sur l'état de conservation du pollen: si les grains sont mal conservés, ils sont plus probablement abimés et donc difficiles à déterminer. Nous pouvons donc remarquer que les périodes glaciaires sont caractérisées par de faibles valeurs de concentration et par de forts pourcentages de grains indéterminables.

En ce qui concerne les autres courbes, elles sont sûrement moins significatives. Le total du pollen subit de nombreuses oscillations et, dans l'ensemble, diminue légèrement vers le haut. La courbe du nombre de taxons reconnus montre les valeurs les plus élevées en correspondance de l'interglaciaire I2 où on avait remarqué une richesse floristique particulière. Des valeurs assez faibles caractérisent par contre le reste de la série, en particulier les périodes glaciaires où la diversité floristique est sans doute mineure.

11.3. LISTE FLORISTIQUE

Les échantillons analysés ont révélé une flore pollinique assez riche, composée de 90 taxons représentant 56 familles et 66 genres. Pour les spores les diagnoses n'ont pas été poussées au-delà d'un simple classement en spores monolètes et spores trilètes.

La nomenclature utilisée est celle de la Flora Europaea (Tutin *et al.*, 1964-1980).

GYMNOSPERMAE

familles:

genres:

Elaeagnaceae

*Elaeagnus**Hippophaë*

Cupressaceae

Ephedraceae

Pinaceae

*Ephedra**Abies**Cedrus**Picea**Pinus**Tsuga*type *Taxodium*

Ericaceae

Eucommiaceae

Eucommia

Euphorbiaceae

Euphorbia

Fabaceae (Papilionaceae)

Fagaceae

*Fagus**Quercus**Quercus* type *ilex-coccifera*

Geraniaceae

*Erodium**Geranium*

Taxodiaceae

Poaceae (Gramineae)

Juglandaceae

*Carya**Juglans**Pterocarya*

ANGIOSPERMAE

familles:

genres:

Haloragaceae

Myriophyllum

Aceraceae

Amaranthaceae-Chenopodiaceae

Anacardiaceae

Aquifoliaceae

Apiaceae (Umbelliferae)

Araliaceae

*Acer**Pistacia**Ilex*

Hamamelidaceae

*Liquidambar**Loropetalum**Parrotia persica*

Lamiaceae (Labiatae)

Liliaceae

*Asphodelus*Asteraceae Asteroideae
(Compositae Tubuliflorae)*Hedera*

Linaceae

Linum

Nyssaceae

Nyssa

Oleaceae

*Fraxinus**Ligustrum**Olea**Phillyrea*Asteraceae Chicorioideae
(Compositae Liguliflorae)*Artemisia**Centaurea*

Palmae

Plantaginaceae

Plantago

Betulaceae

*Alnus**Betula**Carpinus**Corylus**Ostrya*

Platanaceae

Platanus

Plumbaginaceae

Armeria

Polygonaceae

*Polygonum**Potamogeton*

Brassicaceae (Cruciferae)

Buxaceae

Buxus

Potamogetonaceae

Ranunculaceae

Rhamnaceae

Ziziphus

Campanulaceae

Cannabaceae

Caryophyllaceae

Cistaceae

*Cistus**Helianthemum*

Rosaceae

Salicaceae

*Populus**Salix*

Convolvulaceae

Coriariaceae

Cornaceae

Cyperaceae

Dipsacaceae

*Convolvulus**Coriaria mirtyfolia**Cornus*

Scrofulariaceae

Symplocaceae

Symplocos

Thymelaeaceae

Tiliaceae

Tilia

Typhaceae

Typha

Ulmaceae

*Celtis**Ulmus**Zelkova**Ulmus-Zelkova**Knautia**Scabiosa**Succisa*

Vitaceae

Vitis