

## BIOCÉNOSES PLÉISTOCÈNES DES SÉQUENCES LOESSIQUES DE VILLIERS-ADAM (Val d'Oise, France) : ÉTUDES MALACOLOGIQUE ET PALYNOLOGIQUE



Nicole LIMONDIN-LOZOUET\* et Agnès GAUTHIER\*

### RÉSUMÉ

Les séquences loessiques de Villiers-Adam ont livré des assemblages malacologiques dans des dépôts datés de la fin du Saalien et du Weichselien ainsi que des cortèges polliniques rapportés au Pléniglaciaire moyen du Weichselien. Les interprétations paléoenvironnementales et climatiques tirées des biocénoses observées sont en bonne adéquation avec celles déduites des données pédo-stratigraphiques. Les phases de loess calcaires à sédimentation rapide traduisent des conditions très froides, également soulignées par la faible diversité spécifique des cortèges malacologiques. Au sein de ces «faunes à *Pupilla*», la distribution d'espèces hygrophiles telles que *Succinea oblonga* rend compte des variations d'humidité, avec notamment des conditions plus arides à la fin du Saalien qu'au Pléniglaciaire supérieur. Par contraste, au Début-Glaciaire weichselien et pendant le Pléniglaciaire moyen, le développement de séquences pédologiques implique une sédimentation ralentie et des conditions climatiques moins rudes. Cette interprétation est corroborée par l'installation de malacofaunes plus riches et attestée au Pléniglaciaire moyen par la conservation de cortèges polliniques caractéristiques d'une végétation de type toundra.

**Mots-clés :** Bassin parisien, Loess, Pléistocène, Saalien, Weichselien, Malacologie, Palynologie.

### ABSTRACT

PLEISTOCENE BIOCENOSES FROM LOESS SEQUENCES AT VILLIERS-ADAM (Val d'Oise, France) : MALACOLOGICAL AND PALYNOLOGICAL STUDIES

Loessic sequences of Villiers-Adam have provided malacological assemblages from Late Saalian and Weichselian deposits as well as pollen contents from Weichselian Middle Pleniglacial levels. Palaeoenvironmental and climatic interpretations inferred from biocenoses reinforce those deduced after pedo-stratigraphic data. Fast sedimentation phases with calcareous loess imply very cold conditions as registered by impoverished malacological assemblages. Within these «*Pupilla* faunas», distribution of hygrophilous taxa such as *Succinea oblonga* indicate variations of humidity (Late Saalian drier than Weichselian Late Pleniglacial). By contrast the Weichselian Early Glacial and Middle Pleniglacial are characterised by slower sedimentation with development of soils sequences implying improvement of climatic conditions. This interpretation is strengthened by occurrence of richer molluscan faunas and furthermore by preservation of pollen indicative of tundra landscape during the Weichselian Middle Pleniglacial.

**Key-words :** Paris Basin, Loess, Pleistocene, Saalian, Weichselian, Malacology, Palynology.

### INTRODUCTION

Une importante série loessique du Pléistocène a été mise au jour entre 1995 et 1999 sur la commune de Villiers-Adam à environ 35 km au nord de Paris principalement sur les sites du Chamesson et du Petit Saule (Locht *et al.*, sous presse). Elle s'organise en trois séquences, partiellement emboîtées sur le versant, dont l'épaisseur cumulée atteint environ 19 m et qui couvre les trois derniers cycles glaciaire-interglaciaire (SIM 8-7, 6-5 et 4-1). La localisation et la présentation morphostratigraphique du site

sont développées dans l'article précédent (Antoine *et al.*, 2003), le présent travail s'attache à exposer les données concernant les biocénoses.

Dans les dépôts loessiques, la conservation des cortèges polliniques est très aléatoire et celle des assemblages malacologiques peut être variable selon la teneur en carbonate de calcium des sédiments et la topographie des sites (Ložek, 1990, 2001). Afin de tester la qualité des biocénoses préservées dans les dépôts des gisements de Villiers-Adam, des études préliminaires ont été menées conjointement pour les deux disciplines dans toutes les

\* CNRS-UMR 8591 - Laboratoire de Géographie physique, 1 place A. Briand, 92195 MEUDON Cedex, France.  
E-mail : limondin@cnrs-bellevue.fr ; agnes.gauthier@cnrs-bellevue.fr

unités stratigraphiques. Elles ont mis en évidence la présence d'assemblages malacologiques dans les loess carbonatés du Saalien ainsi que dans l'ensemble de la séquence weichselienne, tandis que les horizons Bt de sols bruns lessivés (intra-Saalien et Eemien), très décarbonatés, se sont révélés stériles. En parallèle les cortèges polliniques ne sont apparus représentatifs que dans les dépôts du Pléniglaciaire moyen. La série retenue comme la plus propice à l'étude des grains de pollens est celle du Petit Saule où les colonnes d'échantillonnages palynologique et malacologique ont été couplées (fig. 1 et Locht *et al.*, sous presse).

Le but de cet article est de présenter une synthèse des résultats obtenus concernant les successions environnementales et climatiques reconstituées par chacun de ces deux bio-indicateurs, puis de confronter et discuter les interprétations avancées sur le Pléniglaciaire moyen du Weichselien.

## I - ÉTUDE DES MALACOFANES

L'étude des malacofaunes de Villiers-Adam est basée sur un total de 121 échantillons, de 10 litres chacun, répartis sur 6 profils et pris en colonne continue suivant une maille de 10 centimètres d'épaisseur. La répartition des échantillons malacologiques, déjà détaillée par ailleurs (Locht *et al.*, sous presse), n'est reprise que globalement dans le présent article (fig. 1). De plus, pour la position stratigraphique des malacocénoses, des renvois plus précis font référence aux figures de l'article précédent (Antoine *et al.*, 2003 ce volume).

Les dépôts fossilifères sont les suivants :

- les loess carbonatés du Saalien (unités 16 et 17) observés au Chameçon (Antoine *et al.*, 2003 : fig. 4) ;
- le pédocomplexe de sols humifères du Début-Glaciaire weichselien, plus ou moins érodé et *a priori* peu propice à la conservation des malacofaunes (unités 12 à 10 incluant les niveaux archéologiques N2 et N1 ; Antoine *et al.*, 2003 : fig. 9) ;
- l'unité 9 de sable calcaire du Pléniglaciaire inférieur du Weichselien (Antoine *et al.*, 2003 : fig. 4) échantillonnée au Chameçon et au Petit-Saule ;
- la succession des unités 8 à 3 qui composent la série attribuée au Pléniglaciaire moyen du Weichselien, échantillonnée sur les deux sites ;
- l'unité 2 du Pléniglaciaire supérieur du Weichselien (Antoine *et al.*, 2003 : fig. 4), prélevée sur les deux gisements mais beaucoup plus dilatée au Petit Saule.

### A - LES MALACOFANES DU SAALIEN

#### Description des assemblages

La liste des mollusques recensés révèle des associations extrêmement peu diversifiées, avec seulement 5 espèces (tab. 1). Le taxon dominant *Pupilla muscorum*, caractéristique des milieux ouverts et secs, est actuellement répandu en Europe occidentale et centrale (Kerney *et al.*, 1983). Également très commun aujourd'hui, *Trichia hispida* est un mollusque mésophile qui peut se développer dans une large gamme de biotopes à l'exception des habitats extrêmement secs (Kerney *et al.*, 1983).

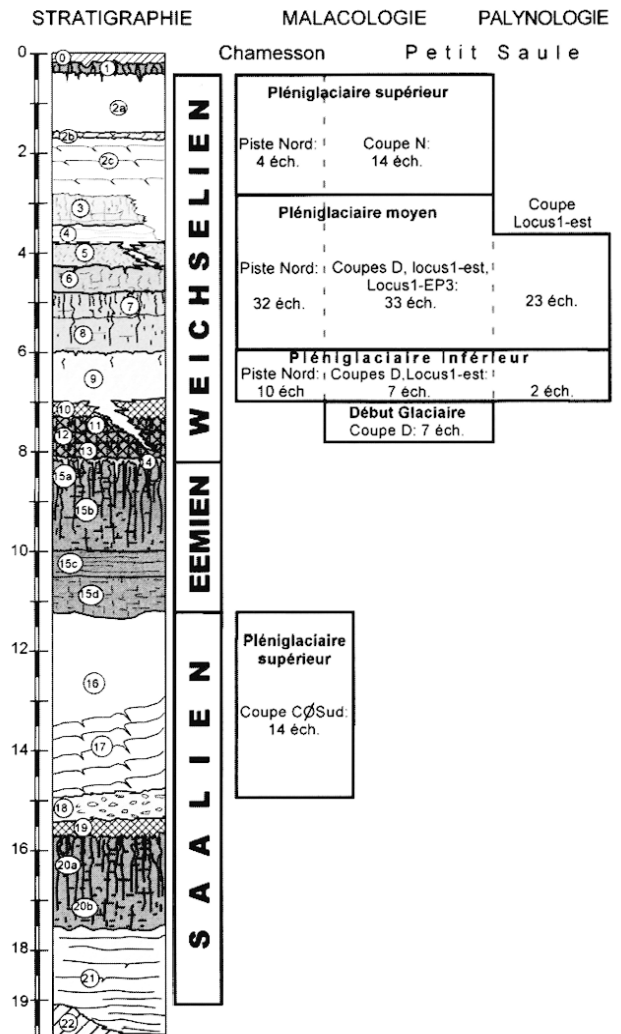


Fig. 1 : Stratigraphie synthétique des loess de Villiers-Adam (d'après P. Antoine) et répartition des échantillons malacologiques et palynologiques.

Fig. 1 : Location of malacological and palynological samples versus lithological units (after P. Antoine) at Villiers-Adam.

| Echantillons | <i>Pupilla muscorum</i> | <i>Trichia hispida</i> | Limaces | <i>Succinea oblonga</i> | <i>Lymnaea truncatula</i> | Effectifs | Classes d'abondance |
|--------------|-------------------------|------------------------|---------|-------------------------|---------------------------|-----------|---------------------|
| M14          | 202                     | 27                     | 15      |                         |                           | 244       | c                   |
| M13          | 325                     | 39                     | 25      |                         | 1                         | 390       |                     |
| M12          | 288                     | 28                     | 9       |                         |                           | 325       |                     |
| M11          | 168                     | 22                     | 7       |                         |                           | 197       |                     |
| M10          | 165                     | 16                     | 10      |                         |                           | 191       | b                   |
| M9           | 130                     | 19                     | 4       |                         |                           | 153       |                     |
| M8           | 167                     | 22                     | 9       |                         |                           | 198       |                     |
| M7           | 221                     | 22                     | 13      |                         |                           | 256       |                     |
| M6           | 194                     | 9                      | 12      |                         |                           | 215       | a                   |
| M5           | 85                      | 2                      | 6       |                         |                           | 93        |                     |
| M4           | 86                      | 3                      | 7       | 1                       |                           | 97        |                     |
| M3           | 112                     | 8                      | 3       |                         |                           | 123       |                     |
| M2           | 109                     | 6                      | 5       |                         |                           | 120       |                     |
| M1           | 72                      | 4                      | 3       |                         |                           | 79        |                     |

Tab. 1 : Liste des malacofaunes du Saalien, Villiers-Adam «Le Chameçon».

Tab. 1 : Saalian malacofaunas from «Le Chameçon» profile at Villiers-Adam.

Les limaces, qui sont également bien représentées, ne sont pas déterminables au rang spécifique. Leur présence est cependant indicatrice d'une humidité relative car elles n'offrent qu'une résistance limitée à la dessiccation. Les deux autres espèces de la liste, *Succinea oblonga*, taxon hygrophile, et *Lymnaea truncatula*, mollusque aquatique, présentent des occurrences très ponctuelles. La principale variation au sein de ces faunes porte sur les effectifs qui augmentent progressivement de la base vers le sommet (tab. 1). Les cinq premiers échantillons sont compris dans une classe d'abondance "a" de 0 à 150 individus ; la seconde division "b" rassemble des associations dont les effectifs sont compris entre 150 et 250 éléments ; enfin la classe "c" concerne les malacofaunes les plus riches, en sommet de séquence, qui peuvent compter jusqu'à près de 400 coquilles.

La pauvreté de ces peuplements en termes de diversité spécifique implique un milieu difficile à coloniser, auquel peu d'espèces de mollusques sont capables de s'adapter. Par ailleurs, la progression régulière des quantités d'individus laisse supposer une certaine stabilité des conditions environnementales qui permet aux malacofaunes de développer leurs populations.

Les associations à petit nombre d'espèces mais riches en individus sont caractéristiques des dépôts loessiques de périodes glaciaires (Ložek, 1964, 1990 ; Puisségur, 1976). Celles de la séquence saaliennne de Villiers-Adam correspondent au type "Association à *Pupilla*" caractérisé par la dominance du genre *Pupilla* (*P. muscorum*, *P. loessica*, *P. alpicola*, *P. sterri*) qui peut être accompagné par des proportions abondantes de *Trichia hispida* et de *Succinea oblonga*. Ces faunes sont typiques de la steppe loessique du Pléniglaciaire (Puisségur, 1976). Les faunes de Villiers-Adam présentent cependant deux différences importantes par rapport à l'association type. D'une part, le genre *Pupilla* n'est représenté que par une seule espèce, *P. muscorum*. Cet appauvrissement a déjà été souligné dans les séries loessiques du Bassin parisien par rapport à des séquences plus orientales d'Alsace ou de la région lyonnaise (Puisségur, 1976, 1978 ; Rousseau *et al.*, 1990). D'autre part, *S. oblonga* est absente. La défection de ce taxon très hygrophile (Kerney *et al.*, 1983) dans les cortèges pléniglaciaires du Chamesson suggère un milieu assez sec.

#### Analyse écologique des peuplements malacologiques Diversité spécifique

Les nombreuses études sur l'écologie des peuplements ont montré que la diversité spécifique augmente avec la complexité structurale des milieux (Barbault, 1995 ; Solem, 1984). Plus les milieux sont variés, plus les niches écologiques sont nombreuses et offrent des possibilités d'habitat à un nombre élevé d'espèces. Ainsi les zones à relief contrasté sont-elles des réservoirs de diversité biologique. A la différence des zones loessiques d'Europe centrale, voire d'Alsace et de la région lyonnaise, qui bénéficient de la proximité de massifs montagneux, le Bassin parisien est une aire géomorphologique monotone. Ceci explique que la faible diversité des malacofaunes loessiques s'accroît selon un gradient est-ouest. C'est en partant du même constat que s'organise la

réflexion sur l'émigration des faunes lors des refroidissements et sur la biogéographie des associations pléniglaciaires (Rousseau, 1989a ; Rousseau *et al.*, 1990). La pauvreté spécifique observée dans les malacofaunes de Villiers-Adam caractérise aussi toutes les successions malacologiques loessiques de l'Ouest de la France (Rousseau *et al.*, 1990) ainsi que celles des îles anglo-normandes (Rousseau et Keen, 1989) et de Grande-Bretagne (Kerney, 1971 ; Preece, 1990) et s'oppose aux faunes plus diversifiées récoltées dans les séquences loessiques d'Europe centrale (Ložek, 1972, 2001).

#### Richesse spécifique

De manière générale, la richesse spécifique des peuplements diminue lorsque la variabilité climatique saisonnière locale augmente (Barbault, 1995). En période glaciaire, les fluctuations de température sont le premier facteur qui régit la composition des faunes. Parmi les espèces de mollusques, certaines sont dites "eurythermes", pour qualifier leur large tolérance aux variations importantes de températures, par opposition aux espèces "sténothermes" qui exigent une température constante (Puisségur, 1976 ; Rousseau, 1989a). Des espèces telles que *P. muscorum*, *T. hispida* et *S. oblonga* sont eurythermes, *V. costata* peut également être classée dans cette catégorie mais à un degré moindre, son amplitude de tolérance étant moins grande. Les espèces majoritaires dans les associations saaliennes de Villiers-Adam sont des taxons résistants capables de supporter des températures extrêmes et des amplitudes importantes. Ceci confirme le caractère pléniglaciaire des conditions climatiques sous lesquelles se sont déposés les loess calcaires constituant les unités 16 et 17 (Antoine *et al.*, 2003). En ce qui concerne l'humidité, la présence extrêmement sporadique de taxons très hygrophiles (un seul exemplaire de *S. oblonga* dans l'échantillon M4, et une *Lymnaea truncatula* dans le prélèvement M13, voir tab. 1) plaide en faveur d'une certaine sécheresse. Cependant cette appréciation se doit d'être pondérée au regard du développement constant des limaces dans toutes les associations de la série. En effet, le manque de coquille externe limite considérablement la résistance des limaces à la dessiccation et elles sont absentes des sites très secs (Boycott, 1934). Par ailleurs, la présence de limaces dans les associations loessiques n'est pas rare. Elles semblent cependant être plus abondantes dans les séries de la zone atlantique, en Grande-Bretagne notamment (Kerney, 1971), qu'au sein des séquences plus continentales.

#### Evolution des effectifs

La seule variation notable dans les successions malacologiques saaliennes porte sur les effectifs. Le calcul de deux indices écologiques, la diversité et l'équitabilité (fig. 2), a été effectué afin d'apprécier l'impact de l'augmentation des effectifs sur la structure des peuplements (Daget, 1979 ; Barbault, 1995).

L'indice de diversité, ou indice de Shannon, varie entre des limites étroites (0,33 point d'amplitude), reflétant la grande homogénéité du peuplement malacologique tout au long de la série. L'indice d'équitabilité reste stable dans des valeurs peu élevées, ce qui indique la forte

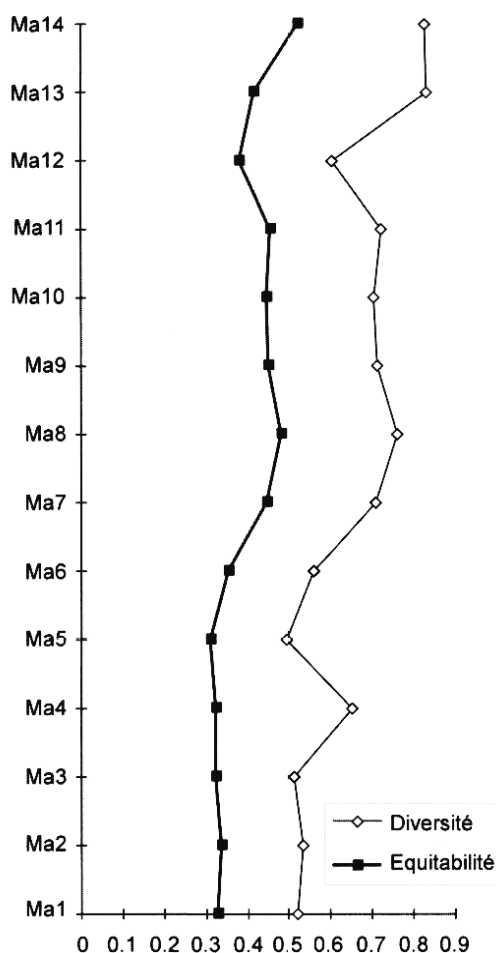


Fig. 2 : Courbes de variation des indices de diversité (I. de Shannon) et d'équitabilité des associations malacologiques du Saalien, Villiers-Adam «Le Chamesson».

Fig. 2 : Diversity (Shannon Index) and equitability curves of Saalian malacological assemblages from «Le Chamesson» profile at Villiers-Adam.

dominance d'une ou plusieurs espèces au sein des associations, ici *P. muscorum* (tab. 1). Le calcul de cet indice permet de démontrer quantitativement que l'augmentation progressive des effectifs ne fait pas varier le poids de cette espèce au sein des assemblages.

La constance de ces indices écologiques confirme l'interprétation d'une grande homogénéité du milieu et souligne qu'aucun changement majeur, environnemental ou climatique n'est intervenu au cours du dépôt de ces loess calcaires.

## B - LES SUCCESSIONS MALACOLOGIQUES DU WEICHSELIEN

### Conservation des assemblages et évolution des effectifs

Deux séries d'échantillons, correspondant aux sites du Petit-Saule et du Chamesson, ont été étudiées (fig. 3 et 4). Au sein des malacocénoses weichseliennes, deux taxons (*Cecilioides acicula* et *Helicella itala*) ont été écartés en tant qu'intrusifs des niveaux holocènes (Locht *et al.*, sous presse). Comme pour la série saalienne, les associations malacologiques du Weichselien sont peu diversifiées mais les effectifs fluctuent beaucoup. Ces oscillations, traduites sous forme de courbes (fig. 3 et 4), s'organisent en trois phases majeures.

Le premier ensemble, qui couvre les sols du début du Weichselien, le Pléniglaciaire inférieur et la première partie du Pléniglaciaire moyen (unités 12 à 7), est caractérisé par des malacofaunes dont les effectifs sont faibles à moyens (200 individus maximum). Ces déficits d'effectifs sont à mettre en relation avec la décarbonatation des dépôts liée aux pédogenèses (fig. 4 et Antoine *et al.*, 2003).

En revanche, dans le second ensemble qui concerne le Pléniglaciaire moyen à partir du sol de prairie arctique (unité 6), jusqu'à la base des dépôts du Pléniglaciaire supérieur (unité 3), les malacofaunes sont quantitativement bien développées.

Au sommet de la série du Petit-Saule, les faunes du Pléniglaciaire supérieur de la coupe N apparaissent très pauvres et forment le troisième ensemble (fig. 3). Si les taux de carbonate de calcium sont élevés dans ces niveaux, en revanche, ceux du carbone organique, liés au développement de la végétation, sont bas (Antoine *et al.*, 2003). Cette faible densité de la couverture végétale dont les mollusques sont dépendants pour leur alimentation et leur habitat influe directement sur l'expansion quantitative des peuplements malacologiques.

### Composition des peuplements

D'un point de vue général, les associations weichseliennes de Villiers-Adam sont, de la même manière que celles du Saalien, à rattacher au type «Association à *Pupilla*» caractéristique des milieux de steppe loessique. *P. muscorum*, *T. hispida* et les limaces sont bien représentées dans toutes les unités. La distribution de *S. oblonga* est intéressante et permet de définir deux biozones. Dans la zone A, qui s'étend du Début Glaciaire (unités 12 à 10) jusqu'à l'unité 8 incluse, l'espèce est sporadique voire absente sur les deux séries (fig. 3 et 4). Dans la zone B, juste avant le sol de type arctique (sommet de l'unité 7 et unité 6), *S. oblonga* devient constante et présente ensuite deux pics de développement, l'un dans le gley (unité 5) sur le site du Chamesson, l'autre à la base des dépôts du Pléniglaciaire supérieur sur les deux séries (fig. 3 et 4). *S. oblonga* est un mollusque de milieux humides que l'on trouve aujourd'hui dans des habitats à végétation épars (zone inondable des rivières, marécages). Elle est caractéristique des surfaces dénudées et boueuses. A la limite septentrionale de sa répartition actuelle (Iles britanniques et sud de la Scandinavie), l'espèce est locale, mais elle est commune dans le reste de l'Europe (Kerney *et al.*, 1983). L'occurrence et la fréquence de cette espèce hygrophile sont des indicateurs des fluctuations des conditions d'humidité sur le site de Villiers-Adam.

Les taxons dominants des assemblages du Weichselien sont eurythermes. Le cortège secondaire des associations est composé d'espèces moins résistantes aux forts contrastes thermiques, dont l'apparition peut signaler des phases de changement de températures. Toutefois, l'occurrence des espèces sténothermes dépasse rarement l'individu unique. Parmi ce cortège secondaire, seule *V. costata* a parfois des fréquences un peu plus élevées, mais, comme signalé précédemment, cette espèce est admise dans le groupe des eurythermes. Il faut sans doute

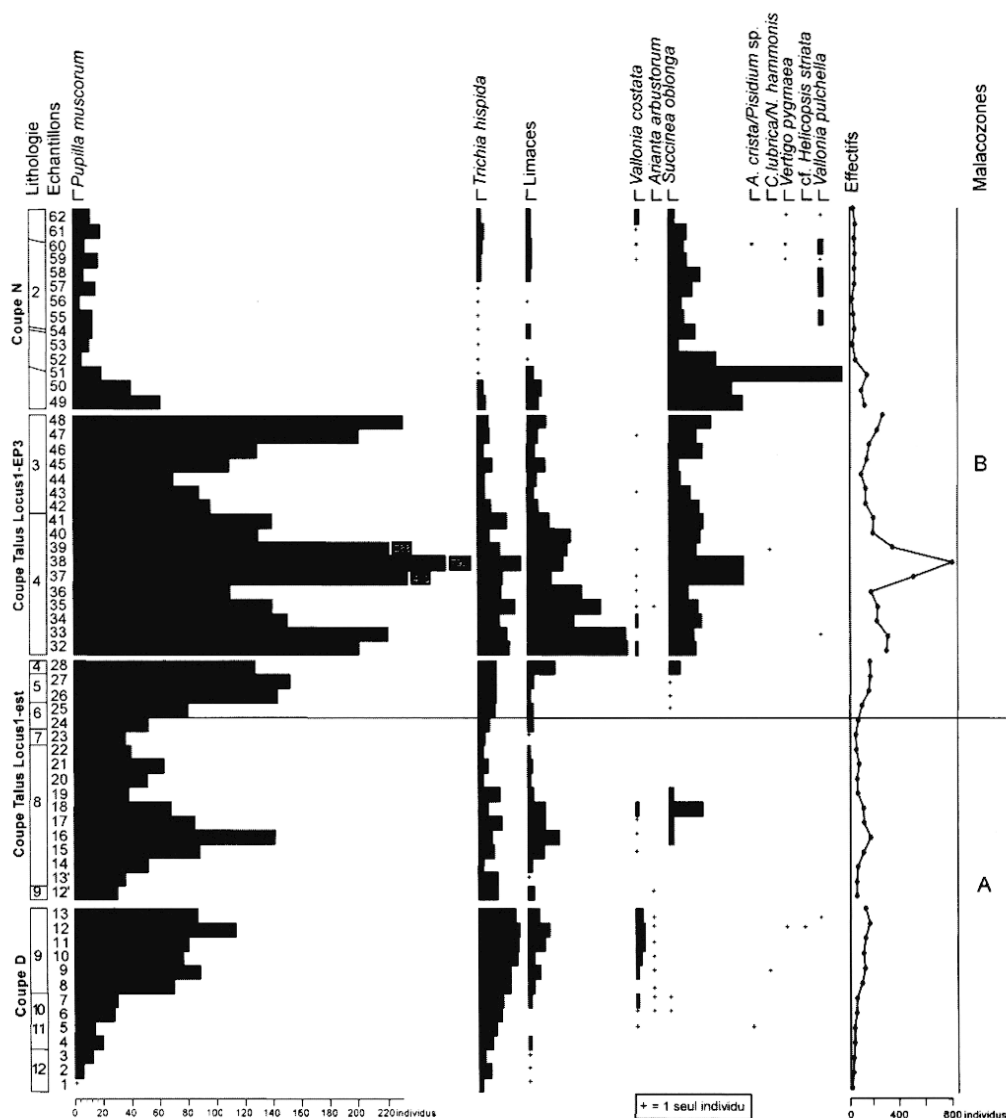


Fig. 3 : Diagramme malacologique de la séquence Weichselienne du «Petit Saule» à Villiers-Adam.

Fig. 3 : Malacological diagram from the Weichselian «Petit Saule» sequence at Villiers-Adam.

relier la présence de ces taxons moins résistants aux variations thermiques à des épisodes au cours desquels les écarts de températures sont de moindre amplitude plutôt qu'à des réchauffements au sens strict même si l'on sait par ailleurs que ces réchauffements ont eu lieu comme en témoignent certains enregistrements glaciaires (Dansgaard *et al.*, 1993) et continentaux (Antoine *et al.*, 2001). Les cortèges les plus diversifiés d'espèces secondaires sont observés à la base de la série du Petit-Saule (Début Glaciaire et Pléniglaciaire inférieur) et à son sommet pendant le Pléniglaciaire supérieur. Durant le Pléniglaciaire moyen, seule *V. costata* subsiste de manière sporadique. Sur la coupe du Chamesson, le cortège secondaire est encore plus pauvre et ne compte que deux taxons (*V. costata* et *Vertigo pygmaea*) qui apparaissent aux transitions Pléniglaciaire inférieur/moyen et Pléniglaciaire moyen/supérieur.

#### C - VARIATIONS DES PARAMÈTRES CLIMATIQUES EXPRIMÉES PAR LES MALACOFAUNES

Les données malacologiques de Villiers-Adam ont été traitées par analyse factorielle des correspondances afin d'obtenir une quantification relative des paramètres climatiques (Rousseau, 1987, 1990).

L'analyse factorielle a porté sur les 121 prélèvements et 11 espèces (les espèces aquatiques, *Artemia crista*, *Lymnaea truncatula* et *Pisidium sp.* n'ont pas été prises en compte, leur présence, très ponctuelle, pouvant être accidentelle). La contribution à l'inertie totale du nuage du premier plan factoriel est élevée (45,9 %) et trois pôles apparaissent, bien caractérisés, sur le premier plan factoriel (fig. 5). Sur l'axe 1 s'opposent un taxon franchement hygrophile, *S. oblonga*, et une espèce mésophile, *T. hispida*, qui définissent ainsi un gradient d'humidité. Vers le pôle positif de l'axe 2 se regroupent des taxons sténothermes auxquels s'ajoute *V. costata* dont le caractère eurytherme peu accusé a déjà été signalé. Aucune espèce ni prélèvement ne présente de valeur supérieure à la moyenne théorique des contributions relatives à l'inertie pour le pôle négatif de l'axe 2. Cependant, tous les taxons eurythermes sont situés dans la partie négative de cet axe (fig. 5). Ainsi, le deuxième axe peut-il être interprété comme représentatif d'une certaine variabilité des températures.

La projection des prélèvements sur le premier plan factoriel est décomposée en 9 schémas représentant chacun une unité stratigraphique (fig. 6). Ces projections permettent d'apprécier la cohérence des données malacologiques recueillies au Chamesson et au Petit-Saule, les

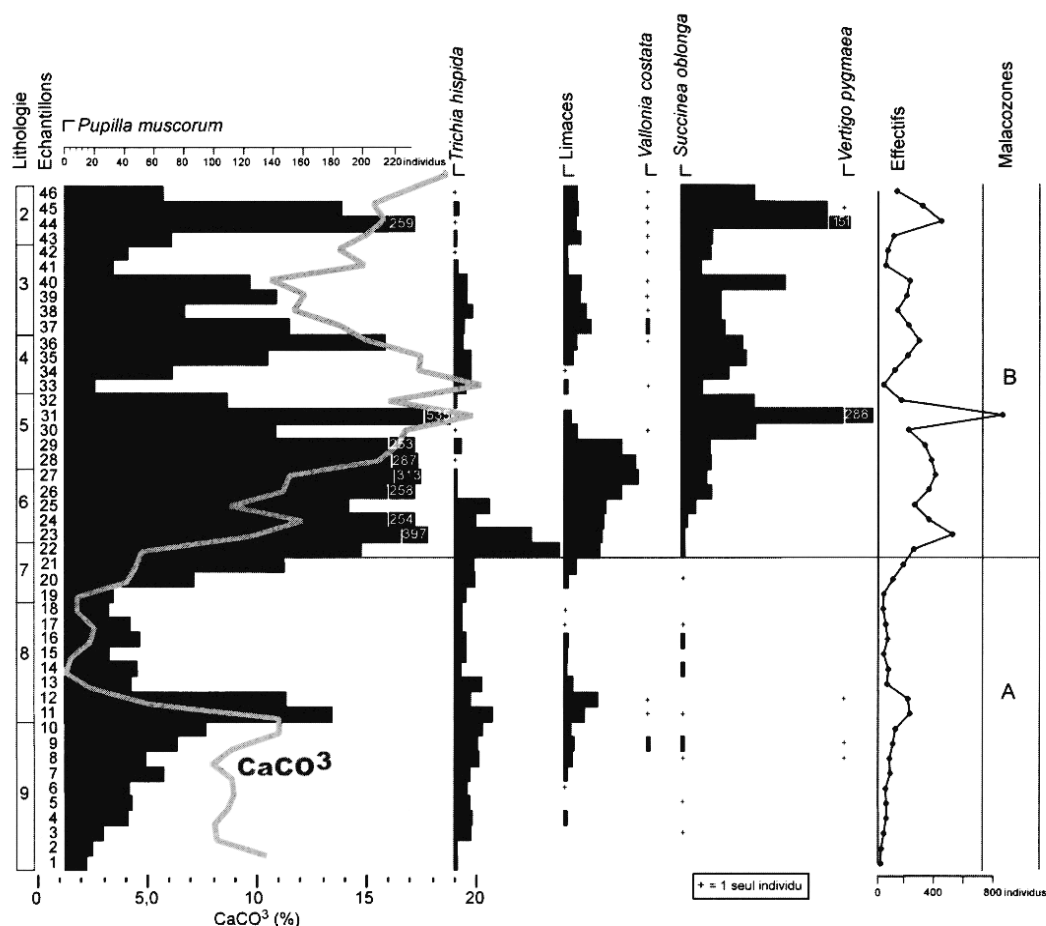


Fig. 4 : Diagramme malacologique de la séquence Weichselienne du «Chamesson» à Villiers-Adam et courbe de  $\text{CaCO}_3$  d'après Antoine *et al.* (2003).

Fig 4 : Malacological diagram from the Weichselian Chamesson sequence at Villiers-Adam and variations of  $\text{CaCO}_3$  values after Antoine *et al.* (2003).

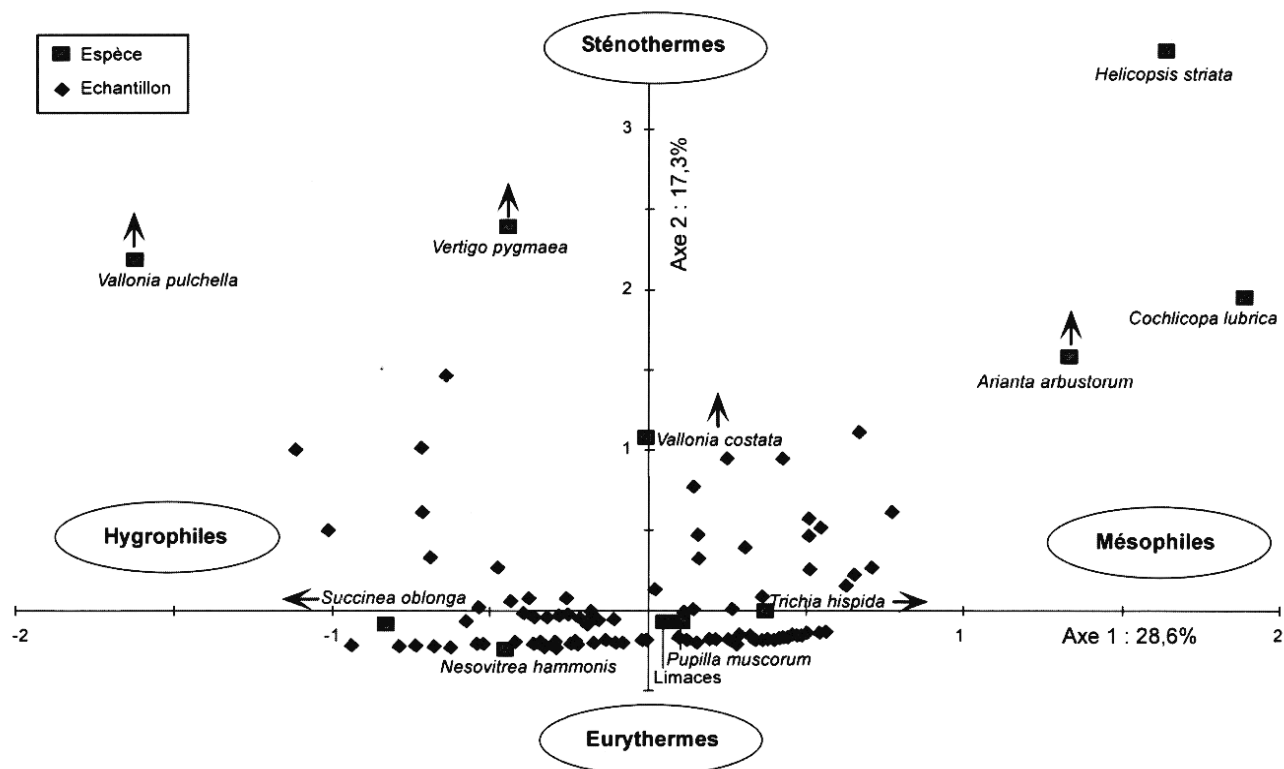


Fig. 5 : Projection des espèces et des prélèvements des malacofaunes de Villiers-Adam sur le premier plan factoriel. Les flèches matérialisent les plus fortes contributions relatives des espèces aux axes.

Fig. 5: Correspondance analysis of the Villiers-Adam malacofaunas. Both species and assemblages are plotted on the first factor plane, arrows indicate high contributions of species to both axes.

ensembles de prélèvements des deux sites se recoupant. Seul le nuage de l'unité 5 (fig. 6F) montre une différence entre les deux gisements qui porte sur le gradient d'humidité. Au Chameçon, les malacofaunes enregistrent des conditions nettement plus humides qu'au Petit-Saule. Cependant, il faut souligner que sur ce dernier site, le gley est peu épais (20 cm) et n'a fait l'objet que de deux échantillons.

Pour apprécier correctement les oscillations climatiques traduites par les associations malacologiques de Villiers-Adam, il convient de préciser certaines données.

L'axe 1, qui apparaît bien caractérisé sur ses deux pôles par des espèces et par des assemblages, exprime des variations relatives de l'humidité. Cependant, il semble intéressant de souligner que, entre les deux types d'associations glaciaires définies par J.-J. Puisségur (1976) pour nos régions, celui auquel se rapportent les faunes de Villiers-Adam «associations à *Pupilla*» correspond au faciès le plus sec. Les malacofaunes de phase plus froide et plus humide sont dites «associations à *Columella*». J.-J. Puisségur (1976) a signalé que dans le Bassin parisien, l'espèce *Columella columella* est plus rare que dans l'Est, et a invoqué le caractère moins continental du climat pour expliquer cette distribution. L'influence atlantique, en réduisant les écarts de températures, limite l'extension de plusieurs taxons et provoque l'appauvrissement spécifique des associations. Cependant *C. columella* a été recensée dans des séries très occidentales en Angleterre (Kerney, 1971 ; Preece, 1990 ; Rousseau et Keen, 1989) et en Bretagne (Rousseau *et al.*, 1990). Sa présence est alors interprétée comme un signe de conditions environnementales particulières propres au gisement. Ainsi son absence à Villiers-Adam peut-elle être considérée comme significative de conditions moins humides dans le cadre de comparaisons inter-sites.

L'axe 2 n'est bien caractérisé que sur son pôle positif, par certains mollusques sténothermes. Si les eurythermes se retrouvent très logiquement dans la partie négative de cet axe, il n'en demeure pas moins qu'aucune espèce ni association ne présente de contribution relative élevée à l'inertie de l'axe. Le poids des taxons et des assemblages de phase froide n'est pas pris en compte par l'analyse factorielle. Ainsi, les variations observées à Villiers-Adam d'après les données de l'axe 2 doivent être comprises comme exprimant la différence entre des phases durant lesquelles les conditions de température oscillent et des phases sans changement des conditions de température plutôt que comme des contrastes absolus de réchauffement/refroidissement.

Les variations des paramètres climatiques sont comparées aux résultats obtenus sur les cortèges malacologiques du site d'Achenheim (Puisségur, 1978 ; Rousseau, 1987, 1989b ; Rousseau et Puisségur, 1990).

A Villiers-Adam et Achenheim, la phase finale du stade 6 est un épisode de sécheresse et de températures stables. A Achenheim, les malacofaunes sont significatives d'un refroidissement marqué (Rousseau et Puisségur, 1990). Cette interprétation peut également être proposée pour les associations de la coupe saaliennne de Villiers-Adam qui ne comportent aucune espèce sténotherme et apparaissent caractéristiques d'une phase de Pléniglaciaire.

Au cours du Weichselien à Villiers-Adam, une augmentation régulière de l'humidité pendant le Pléniglaciaire moyen est enregistrée à partir du sol de prairie arctique (unité 6). Dans les dépôts correspondants au Pléniglaciaire supérieur, l'humidité reste importante, mais les fluctuations de ce paramètre sont plus rapides et contrastées. Des phases d'oscillations des températures marquent les transitions Début Glaciaire/Pléniglaciaire inférieur, puis Pléniglaciaire inférieur/Pléniglaciaire moyen ainsi que le Pléniglaciaire supérieur.

La stabilité des températures au cours du Pléniglaciaire moyen est bien traduite par les successions malacologiques des deux localités. En revanche, cette phase apparaît plus sèche sur le site d'Achenheim (Rousseau et Puisségur, 1990). A Villiers-Adam, l'augmentation de l'humidité, qui repose sur la distribution de l'espèce hygrophile *S. oblonga* et se trouve corroborée par les données palynologiques, a certainement une valeur locale. Cependant, les données sur le Bassin parisien sont encore insuffisantes pour déterminer si ce phénomène a une extension régionale.

Enfin, le système oscillant complexe, qui est une caractéristique climatique majeure du stade 2 mise en évidence à Achenheim (Rousseau, 1987, 1989 ; Rousseau et Puisségur, 1990), est également bien perçu par les successions malacologiques de Villiers-Adam.

## II - ÉTUDE POLLINIQUE

### A - MÉTHODOLOGIE

Pour l'analyse palynologique, 25 échantillons ont été prélevés avec une maille de 5 à 10 cm dans les niveaux pléniglaciaire moyen du Petit Saule. Pour chacun, 10 à 20 grammes de sédiment ont subi un traitement chimique classique (Faegri et Iversen, 1989) suivi d'une flottation en liqueur dense. La lecture des lames au microscope a été réalisée à l'objectif 16 et toutes les déterminations ont été effectuées à l'objectif 100. Pour chaque niveau analysé, 100 grains en dehors du taxon dominant et au moins 20 taxons différents ont été comptés, cette dernière condition n'ayant été obtenue que pour sept prélèvements.

L'estimation de la concentration sporo-pollinique (grains par gramme de sédiment) a été calculée pour chaque échantillon selon la méthode volumétrique (Cour, 1974) préférée à celle des marqueurs en raison de sa plus grande fiabilité (Goeury, 1988).

En raison de la forte représentation des Asteraceae type fenestré, les diagrammes détaillés et synthétiques ont été construits à partir de deux sommes de base, l'une présentant tout le contenu pollinique des échantillons (fig. 7), l'autre où les Asteraceae type fenestré en ont été exclues (fig. 8).

Le classement des taxons choisi pour le diagramme détaillé suit l'ordre alphabétique des familles (Gymnospermes, Angiospermes arbres, Angiospermes herbacées) et à l'intérieur de celles-ci des genres. Cette représentation la moins interprétative a été préférée en raison de l'altération du contenu pollinique.

Une première interprétation du diagramme détaillé est réalisée avec le diagramme synthétique qui est basé sur le regroupement de taxons polliniques d'écologie similaire

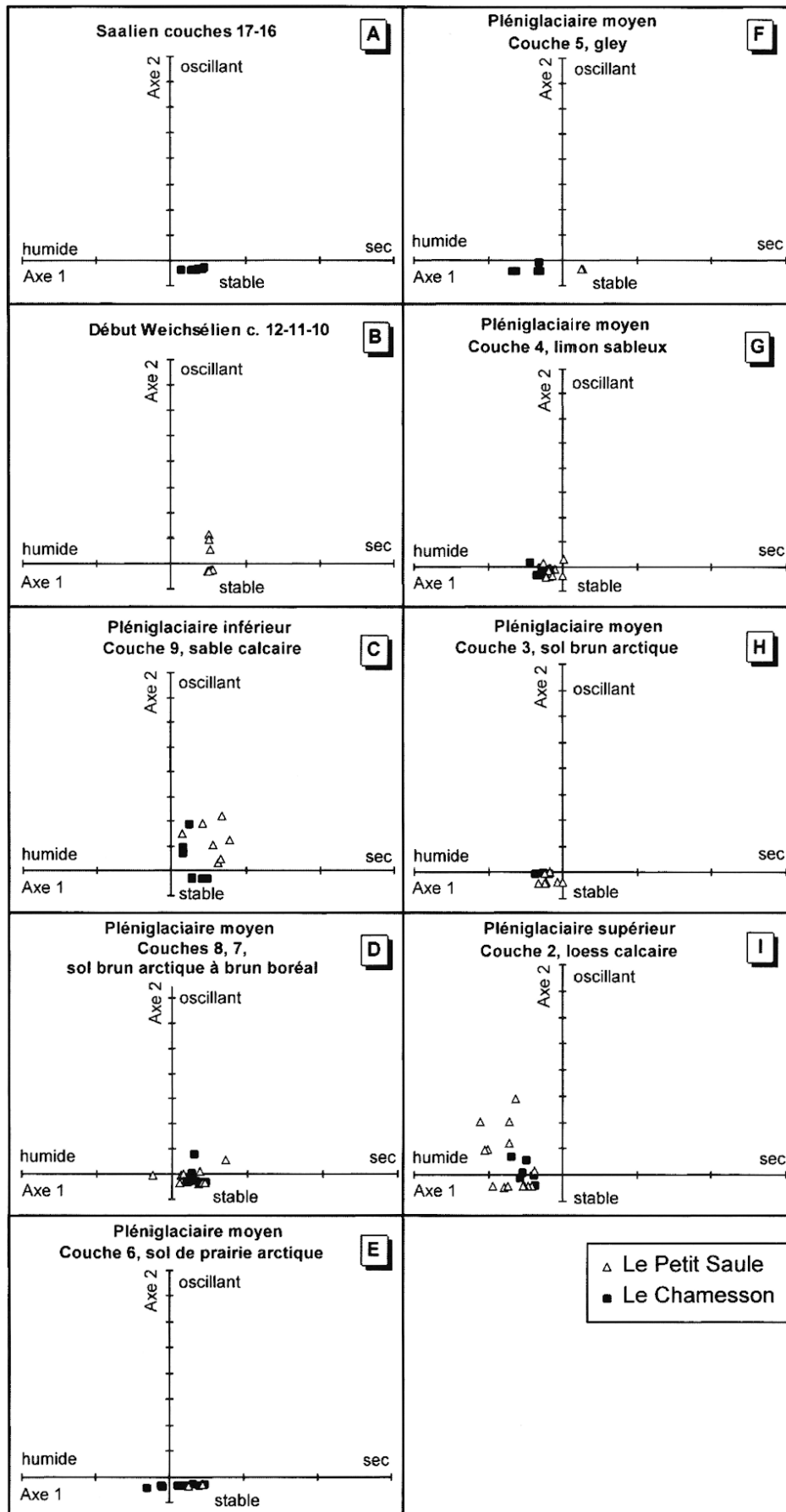


**Fig. 6 : Répartition des prélèvements dans le premier plan factoriel. Les triangles correspondent à la série du «Petit Saule», les carrés à celle du «Chamesson».**

*Fig. 6 : Plot of the assemblages on the first factor plane. «Petit Saule» samples are shown by triangles and «Chamesson» samples by squares.*

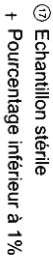
[illegible]

Les pourcentages de chaque taxon pollinique ont été calculés à partir de la Somme de Base (PA + PNA). Les taxons remaniés notés \* ont été exclus de la Somme de Base du diagramme synthétique. Les pourcentages de PA total, PNA total, différentes Filicales et varia ont été obtenus en utilisant le Nombre Total (PA + PNA + Filicales + varia). Le Nombre Total est toujours supérieur à 300 sporomorphes et 100 grains de pollen au moins ont été comptés en plus du taxon dominant.

Pollen percentages are calculated using the Main Pollen Sum ( $AP + NAP$ ). The reworked taxa noted with \* have been excluded from the MPS on the synthetic diagram. Percentages of total AP, total NAP, different spores and varia have been obtained using the Total Number ( $MPS + \text{spores} + \text{varia}$ ). The TN is always higher than 300 and at least 100 pollen grains, excluding dominant taxa, were counted.

 *Alnus, Betula, Corylus, Quercus, Fraxinus, Pteranotus, Populus, Salix*  
 **PINACEAE, Pinus**  
 **APIACEAE, BORRAGINACEAE, BRASSICACEAE, CAMPANULACEAE, CYPERACEAE, ERICACEAE, Euphorbia, Mercutialis, FABACEAE, Geranium, LAMIACEAE, LILIACEAE, NYMPHAEACEAE, Plantago, Polygonum, Rumex, RANUNCULACEAE, Thalictrum, ROSACEAE, Filipendula, Sangusorba minor, Sangusorba officinalis, RUBIACEAE, SCROPHULARIACEAE, Sparganium-Typha, Typha latifolia, URTICACEAE, VALERIANACEAE**  
 **ASTERACEAE grains echinulati, ASTERACEAE grains fenestrate, A. artemisia, Centaurea, CARYOPHYLLACEAE, CHENOPODIACEAE, Helianthemum, Juniperus, POACEAE**

### DIAGRAMME SYNTHETIQUE



**æ ă 100.**

*Asteraceae fenestrate* type were excluded from both the MPS and the TN. The MPS without *Asteraceae fenestrate* type is always higher than 100.

-  **Pteridaceae**, *Populus*, *Saxif.*
-  **APNOCEAE**, *Pinus*
-  **AMARACEAE**, *Rubus*; **BRASSICACEAE**,  
**CAMPANULACEAE**, *Oxycaryaceae*; **EUPHORBACEAE**,  
*Euphorbia*, *Moronechella*; **FABACEAE**, *Glycyrrhiza*,  
LILIACEAE; LILIACEAE, *Nymphaeaceae*.
- Phanerog.** **Polypodiaceae**, *Pinus*; **RANUNCULACEAE**,  
*Tritaricum*; **ROSACEAE**, *Rosipendula*, *Sanguisorba*  
minor, *Sanguisorba officinalis*; **RUBIACEAE**,  
**SOROPHYLLABACEAE**, *Soroporum*; **Type II**, *Type*  
*latifolia*, **URTICACEAE**, **VALERIANACEAE**.
-  **ASTERACEAE**, grains *benthamia*, *Asterias*,  
*Centaurea*, **CARYOPHYLLACEAE**,  
**CHEMOPODICEAE**, *Helianthemum*, *Juncopsis*.

en quatre ensembles. Le groupe 1 (arbres et arbustes tempérés) ne tient pas compte des besoins édaphiques des différents taxons. Le groupe 2 formé par *Pinus* permet de visualiser une possible sur-représentation de ce taxon, très bon producteur et disperseur pollinique. Dans le groupe 3 (herbacées ubiquistes ou sans signification) ont été intégrés, en raison de leurs faibles taux ne permettant pas de les distinguer dans un autre groupe, des taxons aquatiques (*Nymphaeaceae*, *Sparganium-Typha* et *Typha latifolia*) et de milieux humides (*Cyperaceae*, *Filipendula*). Enfin, les *Poaceae* ont été jointes au groupe 4 (herbacées et gymnospermes xérophiles et héliophiles).

De plus, afin d'aider à la compréhension des spectres polliniques et à leur interprétation en terme de végétation et de climat, les données sont également présentées dans un diagramme partiel des concentrations (fig. 9), où seuls les principaux taxons sont présentés. Les faibles fréquences absolues ne permettant pas l'interprétation des courbes des concentrations polliniques, ce diagramme a été utilisé comme élément de comparaison avec le diagramme détaillé. La confrontation des deux données a facilité l'interprétation de l'enregistrement pollinique en permettant de vérifier si les variations des fréquences relatives sont réelles ou dues à des aléas statistiques et de mieux percevoir l'évolution des différents taxons masquée par la sur-représentation des *Asteraceae* type fenestré. Par ailleurs, l'évolution des courbes de concentration sporo-pollinique peut indiquer des variations de la densité du couvert végétal (Van Campo, 1984 ; Follieri *et al.*, 1988).

## B - RÉSULTATS

### Conservation et concentration

La conservation pollinique au Petit Saule est très médiocre. La concentration sporo-pollinique est très

basse, inférieure à 1.000 grains par gramme de sédiment. La moyenne des fréquences absolues se situe autour de 210 grains par gramme de sédiment.

Les spectres polliniques se caractérisent par une sur-représentation des *Asteraceae* à grains fenestrés. Ce constat, conjugué à la mauvaise concentration, indique qu'une altération a affecté le contenu sporo-pollinique des sédiments (Couteaux, 1977 ; Morzadec-Kerfourn, 1977 ; Reille, 1978 ; Hall, 1981).

Par ailleurs, le long de la séquence, du pollen frais (non comptabilisé dans les spectres polliniques) a été rencontré, signalant des pollutions actuelles, phénomène également mis en évidence par l'étude des malacofaunes. De plus, des notations de taxons anté-quaternaires, probablement éocènes (*Gruas-Cavagnetto*, 1968 et 1977) tels que *Juglandaceae*, *Engelhardia*, *Myricaceae*, sont régulièrement enregistrées témoignant de reprises de terrains tertiaires.

Les faibles fréquences absolues des sédiments, l'altération du contenu sporo-pollinique, la conservation différentielle des palynomorphes indiquent que les données apportées par les spectres polliniques sur la flore, la végétation et le climat seront amputées d'une partie des informations. Une grande prudence pour l'interprétation des spectres polliniques s'impose donc.

### Analyse

La flore déterminée dans les 24 spectres comprend 50 taxons polliniques correspondant à 36 familles de Gymnospermes et d'Angiospermes. Les déterminations ont été faites à des rangs systématiques différents dont 24 au niveau de la famille, 22 au niveau du genre et 3 au niveau de l'espèce. 5 taxons ont été distingués dans les Ptéridophytes. Ils correspondent à 4 types polliniques et à 1 famille. La majorité des spores trilètes ornées semble s'apparenter au taxon *Cryptogramma crispa*. Cette attribution

Villiers-Adam "Le Petit Saule" (Val d'Oise, 90 m)

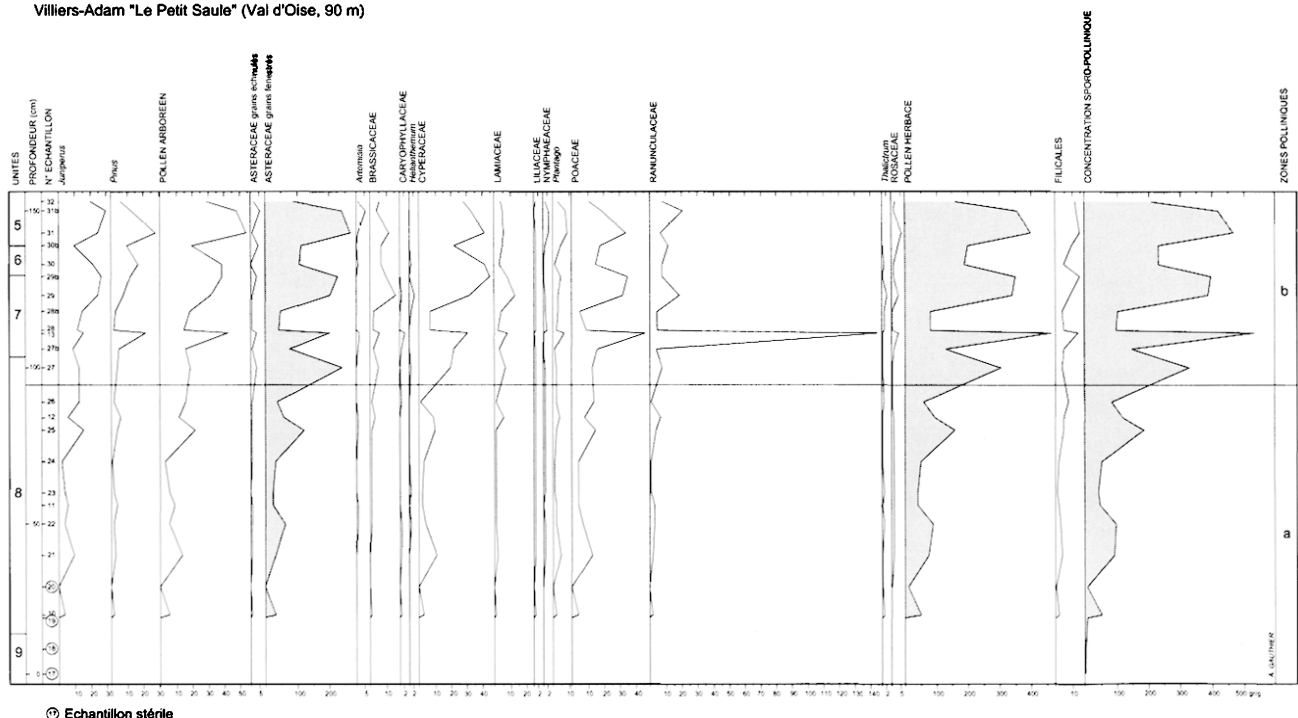


Fig. 9 : Diagramme partiel des concentrations de la séquence Pléniglaciaire moyen du «Petit Saule» à Villiers-Adam.  
Fig. 9: Pollen concentration diagram with selected taxa of the Middle Pleniglacial sequence of «Le Petit Saule» at Villiers-Adam.

se base sur des comparaisons avec des clichés photographiques (Moore *et al.*, 1991 ; Reille, 1992), mais par prudence, il n'a pas été dissocié des spores trilètes ornées dans les diagrammes détaillés.

Le diagramme pollinique (fig. 7) présente une grande homogénéité, qui se caractérise par :

- la rareté du pollen arboréen, principalement constitué par *Juniperus* et *Pinus*,
- la prépondérance des herbacées, dominées largement par les Asteraceae de type fenestré et dans une moindre mesure par les Poaceae et Cyperaceae,
- la présence faible mais continue de *Artemisia*, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, *Helianthemum*, *Thalictrum*,
- la constance des taux faibles des Filicales,
- une augmentation de la base au sommet de la concentration totale.

La comparaison des différentes représentations graphiques (fig. 7 à 9) a facilité le découpage de la séquence en deux zones polliniques d'après les fluctuations d'au moins deux courbes de taxons importants du point de vue écologique ou dynamique (Birks et Birks, 1980 ; Beaulieu *et al.*, 1985).

#### Zone pollinique a

Cette zone correspond aux 13 échantillons inférieurs. La concentration sporo-pollinique est très faible, oscillant entre 50 et 200 grains par gramme de sédiment. Le nombre de taxons polliniques se situe entre 17 et 21 (fig. 7 et 9).

Les pourcentages bas du PA (Pollen Arboréen) relativement constants ne dépassent pas 20 %. Les taxons arboréens sont représentés par *Juniperus* (4-17 %) et *Pinus* (2-4 %). Des occurrences irrégulières de *Alnus*, *Betula*, *Populus* et *Salix* sont enregistrées. Ce dernier taxon n'est plus signalé au-delà de l'échantillon 24. Les notations sporadiques de Juglandaceae, *Engelhardia*, Myricaceae sont à mettre en relation avec une reprise de sédiments éocènes tandis que celles de *Quercus* sp., *Platanus* et *Fraxinus* semblent plus témoigner d'une perturbation sub-actuelle ou d'un apport lointain extra-régional que d'une reprise des sédiments antérieurs déposés lors d'une période tempérée, les tests palynologiques ayant montré leur stérilité.

Parmi les herbacées (PNA (Pollen Non Arboréen) entre 72 et 93 %), les Asteraceae de type fenestré sont dominantes (42-68 %). Les Poaceae (6-18 %), Cyperaceae (1-12 %), Ranunculaceae (1-4 %), *Plantago* (1-5 %) et Lamiaceae (1-2 %) sont également bien représentées. Des occurrences régulières de Asteraceae type échinulé, Brassicaceae, Liliaceae, Nymphaeaceae, Rosaceae sont enregistrées. *Artemisia*, Caryophyllaceae, *Helianthemum*, *Thalictrum* se signalent par des notations discontinues.

La courbe des fréquences des Filicales est régulière et principalement due aux valeurs des spores de Monolètes.

Le diagramme synthétique (fig. 7) montre clairement la dominance du groupe des xérophiles-héliophiles et Poaceae sur les autres herbacées. Les deux autres groupes sont pratiquement inexistantes.

#### Zone pollinique b

Cette zone correspond aux 12 échantillons supérieurs (fig. 7). La concentration sporo-pollinique montre une

augmentation générale, aussi bien du pollen arboréen que du pollen herbacé, se situant entre 100 et 530 grains par gramme de sédiment (fig. 9). Le nombre de taxons n'est pas très élevé (entre 14 et 23).

Le PNA toujours important (77-93 %) est dominé par les Asteraceae type fenestré (40-75 %). Les courbes des pourcentages des Cyperaceae et Poaceae s'inversent par rapport à la zone a (les premières ayant une meilleure représentation que les secondes). Les taux des Asteraceae type échinulé, Brassicaceae, Lamiaceae, *Plantago*, Ranunculaceae, Rosaceae sont en légère augmentation. Les Caryophyllaceae, Fabaceae, Liliaceae, Nymphaeaceae, *Thalictrum*, Rubiaceae, Urticaceae montrent des notations régulières. Des occurrences discontinues de *Centaurea*, Campanulaceae, Ericaceae, *Polygonum*, *Rumex*, *Filipendula*, taxons absents de la zone a, sont enregistrées dans cette zone. Le diagramme réalisé en excluant les Asteraceae type fenestré (fig. 8) et le diagramme des concentrations (fig. 9) montrent clairement que cette zone correspond à une diversification et une augmentation des herbacées.

Le taux de PA reste très faible (6-16 % du nombre total). Les fréquences de *Pinus* sont en légère hausse (1-7 %) tandis que celles de *Juniperus* sont stables. Des notations continues de *Betula* et *Populus* sont enregistrées. Des remaniements (tertiaire et actuel) sont toujours signalés par des grains isolés de Juglandaceae, *Engelhardia*, Myricaceae et *Quercus*.

Les taux des Filicales sont constants par rapport à ceux de la zone a. Toutefois, les fréquences relatives des spores monolètes ont diminué alors que celles des Trilètes sont en augmentation. Parmi ces dernières, il faut remarquer les notations régulières des Trilètes grains ornés, dont la majorité semblent s'apparenter à *Cryptogramma crispa*.

Le diagramme synthétique (fig. 7) souligne la meilleure représentation des herbacées ubiquistes vis-à-vis du groupe des xérophiles-héliophiles et Poaceae. Les deux autres groupes restent à leurs taux précédents.

#### Reconstitution de la végétation

Du point de vue biogéographique, les sites de Villiers-Adam se trouvent dans le domaine atlantique de la région euro-sibérienne (Ozenda, 1964).

L'étude de la représentation pollinique actuelle de chaque taxon particulier et des différentes formations végétales permet d'interpréter les zones polliniques en termes de végétation (Heim, 1970 ; Beaulieu, 1977 ; Huntley et Birks, 1983 ; Jolly, 1994).

Les valeurs du PNA très élevées dans les deux zones polliniques reflètent une formation ouverte, composée principalement de taxons héliophiles et xérophiles : Asteraceae type fenestré dominant largement, accompagnés de Poaceae, Cyperaceae, *Plantago*, *Artemisia*, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, Asteraceae type échinulé, *Helianthemum*, *Thalictrum*, auxquels s'ajoutent *Juniperus* et d'autres herbacées à caractère ubiquiste telles que Brassicaceae, Lamiaceae, Liliaceae, Ranunculaceae.

La composition de cette formation appelle plusieurs remarques.

La faible concentration sporo-pollinique de la zone a qui couvre pratiquement l'unité 8, souligne sa pauvreté

floristique. Dans cette zone, l'augmentation des concentrations totales conjointe à la hausse des fréquences relatives et absolues de *Juniperus* (fig. 7 et 9) témoignent d'un meilleur développement de ce taxon. Un changement se manifeste au passage des unités 8-7 par une nouvelle augmentation de la concentration (fig. 9). Il indique un couvert végétal plus dense et une végétation floristiquement plus riche que précédemment.

La forte dominance des Asteraceae type fenestré est due, en grande partie, à une conservation différentielle, les données sur les végétations actuelles formées de nombreuses composées ne permettant pas d'obtenir des pourcentages très élevés de ce taxon (Bottema, 1975). Toutefois, des pollinies dans plusieurs spectres signalent la présence locale de ce taxon.

Le diagramme pollinique (fig. 7) montre une courbe assez sporadique du taxon steppique *Artemisia*. Cette rareté d'*Artemisia* dans des sédiments pléniglaciaires, à la différence de ce qui est observé durant le Tardiglaciaire où cette essence connaît un essor fulgurant, a déjà été soulignée par de nombreux auteurs (Beaulieu et Reille, 1984 ; Ruffaldi, 1995 ; Hoek, 2001) comme illustrant des conditions climatiques sévères.

La majorité des grains de *Plantago* déterminés sont de type operculé et correspond probablement aux espèces steppiques, *P. lagopus* et/ou *P. argentea* (Fournier, 1977 ; Reille, 1992).

Dans la zone pollinique b, un pic de Ranunculaceae (28 %) est enregistré (fig. 7). Une étude microscopique et une comparaison avec des grains actuels permet de penser qu'elles correspondent, pour leur très grande majorité, à des *Ranunculus* de la série *Batrachium* qui ne comprend que des espèces aquatiques ou de marais (Fournier, 1977). Le caractère isolé de ce pic implique que des conditions édaphiques particulières, strictement locales, ont favorisé l'essor de ces Ranunculaceae. Cet essor brutal de Ranunculaceae, également remarqué au cours du Weichsélien ancien et du Pléniglaciaire moyen et supérieur dans différents sites des Pays-Bas (Kolstrup et Wijmstra, 1977 ; Kolstrup, 1980) ou du nord de la Belgique (Haest *et al.*, 1986), a été interprété comme indicateur d'une humidité édaphique plutôt que climatique. De même, ce phénomène, fréquent dans le Massif Central et les Pyrénées au cours du Dryas ancien et du Dryas récent, témoigne de la pureté et de la température très basse de l'eau et a une signification strictement locale (Beaulieu *et al.*, 1982, 1985 ; Reille *et al.*, 1985 ; Reille, 1990).

La zone pollinique b est caractérisée par la présence continue de *Polygonum* et de spores trilètes, probablement *Cryptogramma crispa*, absentes de la zone pollinique a. Certaines espèces de *Polygonum* (comme *P. viviparum*, *P. alpinum*) et *Cryptogramma crispa* sont des plantes arctico-alpines (Fournier, 1977 ; Fitter *et al.*, 1991).

L'unité stratigraphique 5 coïncide avec une nette augmentation de la courbe de concentration des Nymphaeaceae. L'accumulation d'eau et une assez longue stagnation nécessaire à la formation d'un gley de toundra (Pissart, 1987 ; Huetz de Lempis, 1994) semblent pouvoir expliquer le développement local de ces plantes.

Les spectres polliniques du Petit Saule traduisent une

végétation ouverte dominée par les Asteraceae type fenestré, Poaceae et Cyperaceae associés à des taxons xérophiiles (*Artemisia*, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae), héliophiles (Asteraceae type échinulé, *Helianthemum*, *Thalictrum*) et ubiquistes (Brassicaceae, Lamiaceae, *Plantago*, Ranunculaceae, Rosaceae). Seul, *Juniperus*, avec des taux constants autour de 10 %, peut être considéré comme le représentant régional de la végétation ligneuse, les fréquences de *Pinus* ne pouvant correspondre qu'à des apports lointains.

Cette composition floristique diffère de celle des steppes continentales, où *Pinus*, Poaceae et *Artemisia* prédominent (Ozenda, 1964 ; Elhaï, 1968). Les spectres polliniques obtenus sont difficilement comparables à ceux traduisant des steppes méditerranéennes, formées principalement d'*Artemisia* et de Poaceae (Suc, 1984), ou des pelouses montagnardes, où Poaceae, plantes xérophiiles et une grande richesse floristique d'ubiquistes sont associées à *Pinus* (Ablin, 1991). Le paysage asylvatique semble plus s'apparenter aux toundras nordiques très peu arbustives à Poaceae, Cyperaceae et rares *Artemisia*, accompagnés de *Juniperus*, *Betula*, *Salix* formant des buissons d'arbustes nains (Elhaï, 1968 ; Huetz de Lempis, 1994 ; Ozenda, 1994). Ce type de formation végétale peut se développer sous des conditions climatiques périglaciaires. Des spectres semblables à ceux de Villiers-Adam ont été enregistrés dans la tourbière du Moura au Pays Basque avec Asteraceae type fenestré associées à des Poaceae et Cyperaceae, suivies de Caryophyllaceae, Chenopodiaceae, *Thalictrum*, et présence de deux espèces arctico-alpines, *Polygonum* cf. *viviparum* et *Cryptogramma crispa* (Oldfield, 1964). Ces spectres ont également été interprétés comme traduisant une végétation de type toundra.

Les dépôts du Pléniglaciaire moyen de Villiers-Adam montrent la présence d'une végétation très ouverte de type toundra nordique. La dominance de taxons héliophiles, l'absence d'arbres mésophiles, la faible représentation de *Pinus*, indiquent des températures faibles. Si ces données polliniques ne permettent pas de définir une phase interstadiaire au cours du Pléniglaciaire, elles illustrent probablement une modification environnementale par rapport à l'unité 9 du Pléniglaciaire inférieur et à l'unité 2 du Pléniglaciaire supérieur, stériles en pollen. La stabilité de la végétation sur la séquence étudiée ne permet pas d'entrevoir de variations climatiques ; en revanche, la densification du couvert végétal associée à une diversification de la flore est perçue à partir de l'unité 7 et deux événements témoignant d'une humidité locale sont signalés dans les unités 7 et 5.

### III - COMPARAISON DES DONNÉES PALYNOLOGIQUES ET MALACOLOGIQUES

La comparaison des données palynologiques et malacologiques concerne le Pléniglaciaire moyen du Weichsélien échantillonné conjointement sur la coupe Talus Locus1-est du «Petit-Saule».

Les courbes des effectifs malacologiques et des concentrations absolues de grains de pollens (fig. 10) indiquent une mauvaise conservation à la base de la séquence

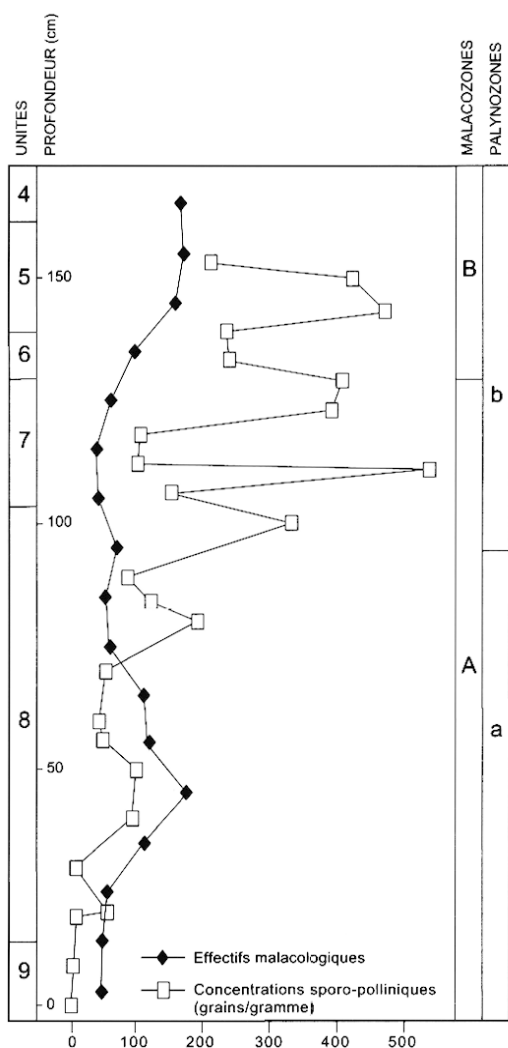


Fig. 10 : Comparaison des courbes malacologiques et palynologiques pour la séquence Pléniglaciaire moyen du «Petit Saule» à Villiers-Adam.

Fig. 10 : Comparison of malacological and palynological curves from the Middle Pleniglacial sequence of «Le Petit Saule» at Villiers-Adam.

(sommet de l'unité 9) qui tend à s'améliorer vers le sommet. Dans le détail, l'échantillonnage palynologique, beaucoup plus serré, enregistre des variations que l'espacement régulier des prélèvements malacologiques (tous les 10 centimètres) ne permet pas d'observer.

La distinction entre les deux palynozones (fig. 10) est basée sur une diversification des herbacées qui, conjuguée à l'augmentation des concentrations, révèle un couvert végétal plus dense au cours de la zone b. De plus, cette zone est caractérisée par deux épisodes durant lesquels des herbacées de milieux humides se développent. Ces phases rendent compte d'une humidité locale plutôt que climatique et sont identifiées respectivement dans les unités 7 (sol brun arctique) et 5 (gley). Les malacozones A et B (fig. 10) sont différenciées par la distribution de l'espèce hygrophile *S. oblonga*. Son développement dans la zone B, à partir de l'unité 7, témoigne d'une augmentation de l'humidité locale. Elle présente un pic plus important dans l'unité 5. Par ailleurs, il est intéressant de mettre en parallèle la densification du couvert végétal avec l'augmentation des effectifs malacologiques, les populations

de mollusques étant très dépendantes de la végétation pour leur habitat et leur nourriture.

Les deux enregistreurs s'accordent sur la perception d'une humidité croissante à partir de l'unité 7 et qui devient particulièrement accusée dans le gley.

Du point de vue environnemental, les cortèges polliniques et malacologiques soulignent l'ouverture et l'homogénéité du milieu. Toutefois, l'analyse palynologique définit le paysage comme une toundra très peu arbustive (type à Cyperaceae et Poaceae dominantes) et l'étude malacologique comme une steppe loessique. Cette apparente divergence s'explique par l'ordre de grandeur de l'échelle d'observation des deux disciplines qui est exprimée par une terminologie différente.

Les malacocénoses rendent compte des conditions environnementales au niveau du sol. Les associations dites de «steppe loessique» (Ložek, 1990, 2001) indiquent des milieux très ouverts (grands espaces herbacés) et relativement secs. L'analyse des cortèges polliniques est en accord avec l'interprétation malacologique mais permet de préciser les composants de la couverture végétale régionale. Dans le cas de Villiers-Adam, la présence de quelques arbrisseaux nains parmi les graminées et les cypéracées est identifiée. En biogéographie, cette association de végétaux est classée dans les formations de toundra (Ozenda, 1994). Sur les spectres de Villiers-Adam la présence de cette végétation arbustive est cependant sporadique et n'a donc pas d'incidence sur la nature du sol et par conséquent sur la composition des peuplements malacologiques.

## CONCLUSION

Villiers-Adam est le premier site du Bassin parisien où il a été possible d'étudier des successions de malacofaunes loessiques en continu sur une phase longue du Pléistocène. De plus, le Pléniglaciaire moyen est une période pour laquelle très peu de données palynologiques étaient disponibles en France septentrionale (Marcy et al., 1993).

L'analyse de la structure des populations de mollusques a montré que globalement le paysage est très ouvert, de type steppique, et change peu. Au Saalien, le milieu est sec et les faunes témoignent, par leur pauvreté spécifique, de la rigueur climatique et par leur extrême monotonie, de la permanence des conditions environnementales. Au début du Weichselien, pendant une phase couvrant le complexe initial de paléosols et la base des dépôts du Pléniglaciaire inférieur, les associations malacologiques sont plus riches en espèces, même si l'occurrence des nouveaux taxons reste très sporadique, témoignant ainsi de températures plus variables. Au Pléniglaciaire moyen l'organisation de la végétation correspond à une formation largement herbacée où les taxons héliophiles et xérophiles prédominent. Elle s'apparente aux toundras nordiques à Poaceae et Cyperaceae accompagnées de *Juniperus* et de rares *Betula*, *Salix*, *Artemisia* et reflète un climat froid. Par ailleurs, deux épisodes de développement de l'humidité locale sont mis en évidence par les cortèges polliniques au sommet de la séquence et sont corrélés avec le sommet du premier sol de prairie arctique (unité 7) et

le gley (unité 5). De même les malacofaunes indiquent l'évolution régulière des conditions locales vers une nette humidification et des températures monotones. Le Pléni-glaciaire supérieur, en revanche, est caractérisé d'après l'évolution des malacocénoses par un système climatique oscillant.

La comparaison des successions malacologiques de Villiers-Adam et d'Achenheim en Alsace fait ressortir la bonne convergence des données sur l'évolution des paramètres climatiques. Les températures sont cependant moins bien enregistrées par les malacofaunes de Villiers-Adam qui rendent compte des phases d'oscillations plutôt que des contrastes. Ceci est peut-être lié à la pauvreté spécifique des associations, caractéristique de la zone loessique occidentale. Plus vers l'est, les réservoirs biologiques que sont les zones montagneuses fournissent des faunes beaucoup plus diversifiées, même en période glaciaire, qui permettent d'enregistrer plus finement toutes les composantes environnementales et climatiques ainsi que leurs variations. Malgré cette réserve, la succession de Villiers-Adam, par son ampleur constitue un référentiel important pour le Bassin parisien et ouvre des possibilités de comparaison inter-régionale.

## REMERCIEMENTS

L'étude des séquences pléistocènes de Villiers-Adam a été réalisée au cours de l'opération Francilienne Nord - liaison Cergy-Roissy (LCR) coordonnée par François Gentili (INRAP-Ile de France), Franck Suméra (Service départemental d'Archéologie du Val d'Oise) et Jean-Marc Gouédo (Service régional de l'archéologie d'Ile de France). Nous remercions le Conseil Général du Val d'Oise qui a financé cette étude, le service archéologique du Val d'Oise pour son accueil et son soutien logistique et administratif, et la DDE du Val d'Oise pour l'accès au terrain et aux moyens nécessaires à sa réalisation. Nous sommes redevables à Pierre Antoine, Jean-Jacques Bahain et Jean-Luc Lochet de leur soutien pour la réalisation de cet article. Nous remercions M. Clet et D.D. Rousseau pour leurs critiques et commentaires du manuscrit.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABLIN, D., 1991** - Analyse pollinique des dépôts lacustres de Ceyssac, Plio-Pléistocène du Velay (Massif Central, France). *Cahiers de Micropaléontologie*, N.S., 6, 21-38.
- ANTOINE, P., ROUSSEAU, D.D., ZÖLLER, L., LANG, A., MUNAUT, A.V., HATTE, C. & FONTUGNE, M., 2001** - High-resolution record of the last Interglacial-glacial cycle in the Nussloch loess-paleosol sequences, Upper Rhine Area, Germany. *Quaternary International*, 76/77, 211-229.
- ANTOINE, P., BAHAIN, J.J., DEBENHAM, N., FRECHEN, M., GAUTHIER, A., HAESAERTS, P., HATTE, C., LIMONDIN-LOZOUET, N., LOCHT, J.L., RAYMOND, P. & ROUSSEAU, D.D., 2003** - Nouvelles données sur le Pléistocène du Nord du Bassin Parisien : les séquences loessiques de Villiers-Adam (Val d'Oise, France). *Quaternaire*, ce volume.
- BARBAULT, R., 1995** - *Ecologie des peuplements. Structure et dynamique de la biodiversité*. Masson, Paris, 273 p.
- BEAULIEU, J.-L. DE., 1977** - Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des Alpes méridionales françaises. Thèse, Univ. d'Aix-Marseille III, 358 p. et annexes.
- BEAULIEU, J.-L. DE, PONS, A. & REILLE, M., 1982** - Recherches pollenanalytiques sur l'histoire de la végétation de la bordure Nord du Massif du Cantal (Massif Central, France). *Pollen et Spores*, 24, 251-300.
- BEAULIEU, J.L. DE & REILLE, M., 1984** - A Long Upper Pleistocene pollen record from Les Echets, near Lyon, France. *Boreas*, 13, 111-132.
- BEAULIEU, J.L. DE, PONS, A. & REILLE, M., 1985** - Recherches pollenanalytiques sur l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des Monts de l'Aubrac (Massif Central, France). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 44, 37-80.
- BIRKS, H.J.B. & BIRKS, H.H., 1980** - *Quaternary palaeoecology*. Londres, Ed. E. Arnold, 289 p.
- BOTTEMA, S., 1975** - The Interpretation of pollen spectra from pre-historic settlements (with special attention to Liguliflorae). *Palaeohistoria*, 17, 18-35.
- BOYCOTT, A.E., 1934** - The habitats of land Mollusca in Britain. *The Journal of Ecology*, 22(1), 1-38.
- COUR, P., 1974** - Nouvelles techniques de détection des flux et des retombées polliniques : étude de la sédimentation des pollens et des spores à la surface du sol. *Pollen et Spores*, 16, 103-141.
- COUTEAUX, M., 1977** - A Propos de l'interprétation des analyses polliniques de sédiments minéraux, principalement archéologiques. Approche écologique de l'Homme fossile, Supplément au Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire, Paris, 259-276.
- DAGET, J., 1979** - *Les modèles mathématiques en Ecologie*. Collection d'Ecologie, 8, 2e ed., Masson, Paris, 172 p.
- DANSGAARD, W., JOHNSEN, S.J., CLAUSEN, H.B., DAHLJENSEN, D., GUNDESTRUP, N.S., HAMMER, C.U., HVIDBERG, C.S., STEFFENSEN, J.P., SVEINBJÖRNSDÓTTIR, A.E., JOUZEL, J. & BOND, G., 1993** - Evidence for a general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature*, 364, 218-220.
- ELHAÏ, H., 1968** - *Biogéographie*. Paris, Ed. A. Colin, Collection U, 406 p.
- FAEGRI, K. & IVERSEN, J., 1989** - *Textbook of pollen analysis*. IV<sup>e</sup> edition by K. Faegri, P. Emiljaland, K. Krzywinski, Ltd J. Wiley et Sons, Chichester, New-York, Brisbane, Toronto, Singapore, 328 p.
- FITTER, R., FITTER, A. & FARRER, A., 1991** - *Guide des Graminées, Carex, Joncs, Fougères*. Ed. Delachaux et Niestlé, 256 p.
- FOLLIERI, M., MAGRI, D. & SADORI, L., 1988** - 250,000-year pollen record from valle di Castiglione (Roma). *Pollen et Spores*, 30, 329-356.
- FOURNIER, P., 1977** - *Les Quatre flores de France*. Paris, Ed. Lechevalier, T.I : texte, 1105 p., T.II : atlas, 308 p.
- GOEURY, C., 1988** - Acquisition, gestion et représentation des données de l'analyse pollinique sur micro-ordinateur. *Institut français de Pondichéry, Travaux de la Section Scientifique et Technique*, XXV, 405-416.
- GRUAS-CAVAGNETTO, C., 1968** - Etude palynologique des divers gisements du Sparnacien du Bassin Parisien. *Mémoire de la Société Géologique de France*, N.S., 47, 4, Mém. n°110, 144 p.
- GRUAS-CAVAGNETTO, C., 1977** - Etude palynologique de l'Eocène du Bassin anglo-parisien. *Mémoire de la Société Géologique de France*, N.S., T. 56, Mém. n°131, 64 p.
- HALL, S.A., 1981** - Deteriorated pollen grains and the interpretation of quaternary pollen diagrams. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 32, 193-206.
- HAEST, R., MUNAUT, A.V., HUYSMANS, L., GULLENTOPS, F. & MOOK, W.G., 1986** - La Stratigraphie de Beerse-Dam (Belgique). *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire*, 25-26, 158-167.
- HEIM, J., 1970** - *Les Relations entre les spectres polliniques récents et la végétation actuelle en Europe occidentale*, Liège, Ed. Derouaux, 200 p.
- HOEK, W.Z., 2001** - Vegetation response to the ~ 14.7 and ~ 11.5 ka cal. BP climate transitions : is vegetation lagging climate ? *Global and Planetary Change*, 30, 103-115.

- HUETZ DE LEMPS, A., 1994** - *Les Paysages végétaux du globe*. Paris, Ed. Masson, 2ème Ed., 182 p.
- HUNTLEY, B. & BIRKS, H.J.B., 1983** - *An Atlas of past and present pollenmaps for Europe : 0-13.000 B.P. years ago*. Cambridge, University Press, Vol. I, 667 p., Vol. II, annexes.
- JOLLY, M.C., 1994** - *Variations holocènes de la limite supérieure de la forêt sur les hauts versants du Cantal d'après l'analyse pollinique*. Paris, Travaux du Laboratoire de Géographie Physique, Université Paris 7, 138 p.
- KERNEY, M.P., 1971** - A Middle Weichselian deposit at Halling, Kent. *Proceedings of the Geologists' Association*, **82**(1), 1-11.
- KERNEY, M.P., CAMERON, R.A.D. & JUNGBLUTH, J.H., 1983** - *Die Landschnecken Nord-und Mitteleuropas*. Paul Parey, Hamburg und Berlin, 384 p.
- KOLSTRUP, E. & WIJMSTRA, T.A., 1977** - A Palynological investigation of the Moershoofd, Hengelo and Denekamp Interstadials in Netherlands. *Geologische Mijnbouw*, **56**, 85-102.
- KOLSTRUP, E., 1980** - Climate and stratigraphy in Northwestern Europe between 30.000 B.P. and 13.000 B.P., with special reference to the Netherlands. *Mededelingen Rijks Geologische Dienst*, **32**, 181-253.
- LOCHT, J.-L., ANTOINE, P., BAHAIN, J.-J., DWRILA, G., RAYMOND, P., LIMONDIN-LOZOUET, N., GAUTHIER, A., DEBENHAM, N., FRECHEN, M., ROUSSEAU, D.-D., HATTÉ, C., HAESAERTS, P. & METSDAGH, H. (sous-presses)** - Le Gisement paléolithique moyen et les séquences pléistocènes de Villiers-Adam (Val d'Oise, France) : Chronostratigraphie, Environnement et Implantations humaines, *GALLIA Préhistoire*.
- LOŽEK, V., 1964** - *Quartärmollusken des Tschechoslowakei*. Akademie der Wissenschaften, Prague, 374 p.
- LOŽEK, V., 1972** - Le loess et les formations assimilées : corrélations entre l'Europe Centrale et la France par la faune de mollusques. In : *Proceedings of the eighth Inqua Congress, Paris 1969, Etudes sur le Quaternaire dans le monde*, 579-606.
- LOŽEK, V., 1990** - Molluscs in loess, their paleoecological significance and role in geochronology. Principles and methods. *Quaternary International*, **7/8**, 71-79.
- LOŽEK, V., 2001** - Molluscan fauna from the loess series of Bohemia and Moravia. *Quaternary International*, **76/77**, 141-156.
- MARCY, J.-L., AUGUSTE, P., FONTUGNE, M., MUNAUT, A.V. & VAN VLIET-LANOE, B., 1993** - Le Gisement moustérien d'Hénin-sur-Cojeul (Pas-de-Calais). *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, **90**, 251-256.
- MOORE, P.D., WEBB, J.A. & COLLISON, M.E., 1991** - *Pollen analysis*. Second Edition, Blackwell Scientific Publications, 216 p.
- MORZADEC-KERFOURN, M.T., 1977** - Remarques concernant la corrosion des grains de pollen dans les sédiments soumis à l'altération. In H. Laville & J. Renault-Miskovsky : *Approche écologique de l'Homme fossile. Supplément au Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire*, **47**, Paris, 51-52.
- OLDFIELD, F., 1964** - Late-Quaternary deposits at Le Moura, Biarritz, South-West France. *The New Phytologist*, **63**, 374-409.
- OZENDA, P., 1964** - *Biogéographie végétale*. Paris, Ed. Doin, coll. Biologie, 369 p.
- OZENDA, P., 1994** - *Végétation du continent européen*. Ed. Delachaux et Niestlé, 271 p.
- PISSART, A., 1987** - *Géomorphologie Périglaciaire, textes et leçons de la chaire Franco belge*. Laboratoire de Géomorphologie et de Géologie du Quaternaire, Université de Liège, 135 p.
- PREECE, R.C., 1990** - The molluscan fauna of Late Devensian loess from Reculver, Kent. *Journal of Conchology*, **33**, 295-297.
- PUISSÉGUR, J.J., 1976** - *Mollusques continentaux quaternaires de Bourgogne*. Mémoire Géologique Université de Dijon, **3**, Doin, Paris, 241 p.
- PUISSÉGUR, J.J., 1978** - Les mollusques des séries loessiques à Achenheim. *Recherches Géographiques à Strasbourg*, **7**, 55-76.
- REILLE, M., 1978** - A Propos de la disparition du pollen dans certains sédiments minéraux. *Annales des Mines Belgique*, **6**, 707-712.
- REILLE, M., BEAULIEU, J.-L. DE & PONS, A., 1985** - Recherches pollenanalytiques sur l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation du Cézallier, de la Planèze de Saint-Flour et de la Margeride (Massif-Central, France). *Pollen et Spores*, **27**, 209-270.
- REILLE, M., 1990** - La Tourbière de La Borde (Pyrénées orientales, France) : un site clé pour l'étude du Tardiglaciaire sud-européen. *Compte-Rendus de l'Académie des Sciences Paris*, **310** (II), 823-829.
- REILLE, M., 1992** - *Pollen et spores d'Europe et d'Afrique du Nord*. Marseille, Laboratoire de Botanique Historique et Palynologie, 520 p.
- ROUSSEAU, D.D., 1987** - Paleoclimatology of the Achenheim series (Middle and upper Pleistocene, Alsace, France). A malacological analysis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **59**, 293-314.
- ROUSSEAU, D.D., 1989a** - Réponses des malacofaunes terrestres quaternaires aux contraintes climatiques en Europe septentrionale. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **69**, 113-124.
- ROUSSEAU, D.D., 1989b** - Estimation quantitative des paléotempératures hivernales en Alsace depuis 340 000 ans à partir de l'analyse des associations malacologiques. *Compte Rendu de l'Académie des Sciences Paris*, **309**(II), 1623-1628.
- ROUSSEAU, D.D., 1990** - Statistical analyses of loess molluscs for paleoecological reconstructions. *Quaternary International*, **7/8**, 81-89.
- ROUSSEAU, D.D. & KEEN, D.H., 1989** - Malacological records from the Upper Pleistocene at Portelet (Jersey, Channel Islands) : comparisons with western and central Europe. *Boreas*, **18**, 61-66.
- ROUSSEAU, D.D. & PUISSÉGUR, J.J., 1990** - A 350,000-year climatic record from the loess sequence of Achenheim, Alsace, France. *Boreas*, **19**, 203-216.
- ROUSSEAU, D.D., PUISSÉGUR, J.J. & LAUTRIDOU, J.P., 1990** - Biogeography of the Pleistocene pleniglacial malacofaunas in Europe. Stratigraphic and climatic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **80**, 7-23.
- RUFFALDI, P., 1995** - La Fin du Pléniglaciaire dans le Jura méridional à partir des analyses palynologiques du lac de Cerin (Ain, France). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, **320** (IIa), 1117-1123.
- SOLEM, A., 1984** - A world model of land snail diversity and abundance. In A. Solem & A.C. van Bruggen (eds) : *World-wide snails. Biogeographical studies on non-marine Mollusca*. Brill & Backhuys, Leiden, 6-22.
- SUC, J.P., 1984** - Origin and evolution of the Mediterranean vegetation and climate in Europe. *Nature*, **307** (5950), 429-432.
- VAN CAMPO, M., 1984** - Relations entre la végétation de l'Europe et les températures de surface océaniques après le dernier maximum glaciaire. *Pollen et Spores*, **26**, 497-518.