

302

Variabilité des enregistrements polliniques en montagne et reconstitutions paléoécologiques

Fernand David
Université Aix-Marseille III
Freddy Damblon
Institut Royal des Sciences Naturelles, Bruxelles
Geneviève Farjanel
Bureau Recherche Géologique et Minière-Service Géologique National, Orléans
Etienne Juvigné, Maurice Strel
Université de Liège
Fernand Berthier
Agence régionale BRGM 32, Annecy

RESUME

L'étude pollinique de 5 sites autour d'Annecy (Lac d'Annecy 450 m, Poisy 490 m, Les Rondets 940 m, Bouttecul 1200 m, Plateau des Glières 1500 m) montre les variations des enregistrements polliniques dans une zone géographique restreinte.

Deux types de comparaisons ont été faites: l'une sur deux sites proches (Annecy/Poisy) aux caractéristiques des bassins versants différentes dans un même étage de végétation et l'autre sur quatre sites (Poisy, Rondets, Bouttecul, Glières) aux caractéristiques des bassins versants semblables dans différents étages de végétation.

La première comparaison montre le meilleur enregistrement des taxons à forte dispersion pollinique (Pinus, Quercus, Abies, Juglans) dans un site de grande taille avec apports fluviaux. La représentation forte de taxons tels que Fraxinus et Ulmus, voire Alnus glutinosa/incana après 6000 BP dans un site de plus petite taille, sans apports fluviaux, indique la localisation de ces taxons en bordure de marais. En revanche la bonne représentation de Tilia dans les deux sites malgré sa faible diffusion pollinique signifie une extension remarquable des tilleuls à l'échelle régionale. Le second pic significatif d'Abies dans le site de grande taille non enregistré dans le site de petite taille marque la différence d'origine des apports polliniques.

La comparaison de petits sites étagés montre le diachronisme de la colonisation végétale en fonction de l'altitude. Au début de l'Holocène, les bouleaux et les pins colonisent les niveaux inférieurs à 1500 m. A partir de 9000 BP, Corylus, Quercus, Ulmus, Tilia dominent le paysage jusqu'à cette altitude. La représentation de Corylus décroît avec l'altitude et les pins subsistent au dessus de 1500 m. A partir de 8000 BP, la progression des sapins est enregistrée à tous les étages. Cette progression est stoppée dès 5900 BP dans l'étage collinéen où se développent des formations végétales proches des formations actuelles. Plus haut le sapin se maintient jusqu'à la forte progression de l'épicéa vers 4000BP. Fraxinus et Alnus sont mieux représentés dans l'étage collinéen, Tilia dans l'étage montagnard jusqu'à 1200 m. Au diachronisme lié à l'effet de l'altitude

sur l'installation des végétaux se surimpose l'amplitude variable de l'action anthropique dès environ 6000 BP.

MOTS-CLÉS: analyse pollinique, Alpes septentrionales françaises, Tardiglaciaire, holocène

ABSTRACT
VARIABILITY OF POLLEN RECORDS IN MOUNTAIN AREAS AND PALEOECOLOGICAL RECONSTRUCTIONS

Pollen study of five sedimentary sequences cored in the vicinity of Annecy (Lac d'Annecy 450 m, Poisy 490 m, Les Rondets 940 m, Bouttecul 1200 m, Plateau des Glières 1500 m) shows the variability of pollen records in a small geographical area. Two comparisons display the multiple parameters affecting pollen records. The comparison Lac d'Annecy/Poisy concerns a great site with tributary and a small endoreic site at the same altitudinal belt, whereas the comparison Poisy, Rondets, Bouttecul, Glières concerns similar endoreic sites at different altitudinal belts.

The first comparison illustrates the best record of easily wind dispersed taxa (Pinus, Quercus, Abies, Juglans) in the great site. The best record of Fraxinus, Ulmus, even Alnus glutinosa/incana after 6000 BP in the small site reflects the location of those taxa around the site. In the two sites, high Tilia values, a poorly wind dispersed taxon, indicate the large regional distribution of the trees. The difference in the pollen source area recruitment linked to basin characteristics is confirmed by Abies curve which shows in the great site a second peak not recorded at the small one. This constitutes a first impediment to the climatic translation of pollen record in montaneous areas characterized by high local variations.

The second comparison of small basin at different elevation illustrates the vegetation cover expansion out of phase at higher altitudes. At the first step of the Holocene, Betula and Pinus colonized belt below 1500 m. Around and after 9000 BP Corylus, Quercus, Ulmus, Tilia extended up to 1500 m. An altitudinal gradient is clearly evidenced by Corylus values decreasing with the altitude. Pinus is then present above 1500 m. On and after 8000 BP Abies is recorded at each site. Abies spread has been stopped at 5900 BP at the lowest site where a vegetation cover similar to the present one has developed. At higher altitude Abies expanded until the large development of Picea around 4000 BP. Fraxinus and Alnus percentages are higher at hill belt and Tilia at montane belt up to 1200 m. From about 6000 BP the effects of the different human uses at different altitudes have been added to those altitudinal gradients.

KEY WORDS: pollen analysis, Northern French alps, Late Glacial, Holocene

INTRODUCTION

L'utilisation des données polliniques à des fins de reconstitutions paléoenvironnementales implique que le contenu pollinique des sédiments reflète fidèlement la composition et l'évolution du couvert végétal (Walker & Lowe, 1990). Ce postulat de base a motivé de nombreuses études pour comprendre les variations de représentation pollinique afin de dévelop-

per des modèles appropriés de relation pollen/végétation utilisables notamment pour des reconstitutions paléoclimatiques. Il a été démontré en plaine que:

1° pour un taxon donné, l'aire d'origine du pollen est liée positivement à la taille du lac (Tauber, 1965, 1977; Jacobson & Bradshaw, 1981; Bradshaw & Webb, 1985; Prentice,

- 1985; Jackson, 1990);
- 2° l'aire d'origine varie d'un taxon à l'autre en fonction de ses capacités de dispersion liées à sa taille (Jackson, 1990) en accord avec les modèles théoriques (Tauber, 1965; Kabailiene, 1969; Prentice, 1985);
- 3° la distribution spatiale des populations influe à la fois sur la taille de l'aire de recrutement du pollen et sur la représentation pollinique (Fagerlind, 1952; Oldfield, 1970; Jackson, 1990; Punning & Koff, 1997). Ces questions sont accrues pour les milieux de montagne qui constituent une grande part de la surface du continent européen (fig.1). De nombreuses études ont en effet montré le mélange des apports polliniques provenant de différents étages (Barthélémy & Jolly, 1989; David, 1993b, 1995). Ainsi dans une région à l'orographie contrastée, le bassin sédimentaire regroupe sur une zone restreinte différents étages de végétation dont les équivalents en termes de répartition latitudinale de biomes se développent sur plusieurs milliers de kilomètres (Ozenda, 1975, 1985).

Du point de vue dynamique de la végétation, il a été également démontré que l'altitude pouvait entraîner un net diachronisme dans la colonisation végétale des différents niveaux altitudinaux dans une zone restreinte (David, 1993b).

Ce caractère couplé au transport en altitude du pollen a pu entraîner l'interprétation erronée des spectres polliniques de sites pris isolément tant du point de vue couverture végétale que du point de vue palynostratigraphique (David, 2001).

De plus, le mélange de pollen caractérisant différents stades d'évolution du couvert végétal en liaison avec l'altitude est accentué par le drainage du bassin versant par les tributaires qui peuvent contribuer à une surreprésentation des taxons des ripisylves (Pennington, 1979).

Une méthodologie impliquant l'étude simultanée de sites étagés dans des zones écologiques homogènes a permis de mettre en évidence de telles distorsions et de les interpréter (David, 1993b, 1995).

Les résultats présentés ici illustrent le rapport complexe entre le couvert végétal et sa traduction dans les spectres polliniques obtenus en milieu de montagne. Deux types de comparaison sont proposés pour analyser les biais dans les rapports entre les enregistrements polliniques et la couverture végétale:

- a. une première comparaison est faite sur des séquences de deux sites proches dans un même étage de végétation. Ils ont des caractéristiques différentes, l'un est grand avec tributaires et l'autre est petit sans tributaire. Cette comparaison met en évidence les variations d'enregistrements liées aux caractéristiques morphométriques des bassins.
- b. une seconde comparaison des séquences issues de bassins fermés aux dimensions restreintes dans les différents étages de végétation de la région met en évidence la zonation du couvert végétal en fonction de l'altitude et le transport pollinique. Elle souligne le mélange du pollen des différents niveaux altitudinaux dans le flux pollinique régional.

LOCALISATION DES SITES (FIG.1)

- L'essentiel du bassin du lac d'Annecy (Haute-Savoie), est localisé dans le domaine externe des Alpes du nord. Ce grand lac français de 26,5 km² est situé entre les massifs des Bornes et des Bauges et résulte du comblement du lac de retrait glaciaire dont les limites atteignaient la côte 460 m. De nombreux tributaires drainent son bas-

sin versant de 278 km². Les apports des tributaires ont été considérablement réduits pendant l'holocène après l'encaissement du Fier qui draine les Bornes.

- Le marais de Poisly résultant du comblement d'un ancien lac en bassin fermé de 0,5 ha est situé à 7 km au nord d'Annecy.



Figure 1. Localisation de la zone d'étude.

Les principales divisions écologiques des Alpes occidentales ont été simplifiées d'après Ozenda P. (1985).

La limite des cols (ligne A) marque la limite géographique entre le domaine sec des Alpes du sud et le domaine humide des Alpes du nord. Les influences océaniques de l'ouest induisent une séparation en zones externe, intermédiaire et interne dans chaque domaine.

A- Limite entre Alpes septentrionales et Alpes méridionales

B- Limite entre zone externe et intermédiaire

C- Limite entre zone intermédiaire et interne

* Aire étudiée

Trois des quatre étages de végétation définis dans la région (Richard, 1973) occupent le bassin versant actuel du lac d'Annecy, bassin dont l'altitude maximale est inférieure à 1700 m. L'étage collinéen jusqu'à 700 m est fortement anthropisé. La végétation non perturbée est constituée de forêts décidues à dominance d'aulne, de chêne et de noisetier. Les deux sites, Annecy et Poisy sont donc dans l'étage collinéen.

- L'étage montagnard (700 m-1500 m) est dominé par les forêts de hêtre et de sapin qui entourent actuellement les sites de Rondets (940 m) et de Bouttecul (1200 m). L'épicéa et les pins caractérisent l'étage subalpin (1500 m-2100 m) bien que les landes et les pelouses y soient largement répandues sous l'effet du pâturage. Le site des Glières (1500 m) est à la base de cet étage.

METHODES

Le site de forage du lac d'Annecy a été implanté à 700 m au droit de la rive de Veyrier du lac. Trois sondages par carottier à piston ont été forés par 57 m d'eau et ont atteint des passées morainiques à la côte 100,74 m. Le sédiment est un silt argilo-carbonaté à lamines d'épaisseur variable. Une description précise du sédiment est donnée in Beck *et al.* (1996).

Les sondages des autres sites ont été réalisés par carottier russe de 8 cm de diamètre. 173 niveaux pour Annecy, 126 pour Poisy, 82 pour Rondets, 46 pour

Glières et 104 pour Bouttecul ont été prélevés et traités selon la méthode utilisée décrite par J. Clerc (1988). Un minimum de 350 grains a été compté en excluant hydrophytes, ptéridophytes et cypéracées de la somme pollinique.

Le diagramme pollinique a été élaboré à l'aide du programme GpalWin (Goeyry, 1997). Les datations AMS de la séquence d'Annecy ont été réalisées par le BRGM sur macrorestes prélevés au cours de l'échantillonnage et publiées in David *et al.* (2001).

RESULTATS

COMPARAISON DE DEUX SITES D'UN MÊME ÉTAGE (COMPARAISON DES DIAGRAMMES SIMPLIFIÉS D'ANNECY ET POISY) (fig 2).

Dès le Tardiglaciaire, les différences majeures de représentation pollinique concernent *Hippophae*, *Salix*, *Cyperaceae*, *Poaceae* et *Betula*. *Betula* est mieux représenté à Poisy (zone 3, 12 700-12 000 BP).

Les autres taxons, *Artemisia*, *Juniperus* et *Pinus* présentent des taux semblables dans les deux sites avec des minima plus faibles pour *Pinus* à Poisy (zones 4, 5, 12 000-10 000 BP).

Ainsi pendant le Dryas récent (zone 5), les pourcentages des pins baissent d'une dizaine d'unités à Poisy, alors qu'ils baissent de 50 % à Annecy.

On note la présence d'éléments remaniés dans les deux séquences (*Picea*, par

exemple) mais ceux ci sont enregistrés plus longtemps à Annecy jusqu'à la progression de *Pinus* (zone 3, 12 000 BP). A Poisy, ils sont notés avant l'augmentation de *Juniperus* (zone 1, 13 000 BP).

Pendant l'Holocène (zones 6 à 11), *Pinus*, *Quercus*, *Abies*, *Juglans* et dans une moindre mesure *Picea* sont mieux représentés à Annecy. *Corylus*, *Fraxinus*, *Ulmus* et *Alnus glutinosa/incana* sont mieux représentés à Poisy. Seul *Tilia* présente les mêmes pourcentages dans les deux sites.

Après 6000 BP (zone 10), *Abies* présente des fluctuations non décelables à Poisy.

La diminution d'*Abies* est corrélée à l'augmentation des taux de *Fagus* dans les deux sites, mais à Annecy un second pic d'*Abies*, postérieur à 4000 BP, suivant le pic de *Fagus* n'est pas visible à Poisy. A Poisy, les taux de *Fagus* restent plus élevés qu'à Annecy.

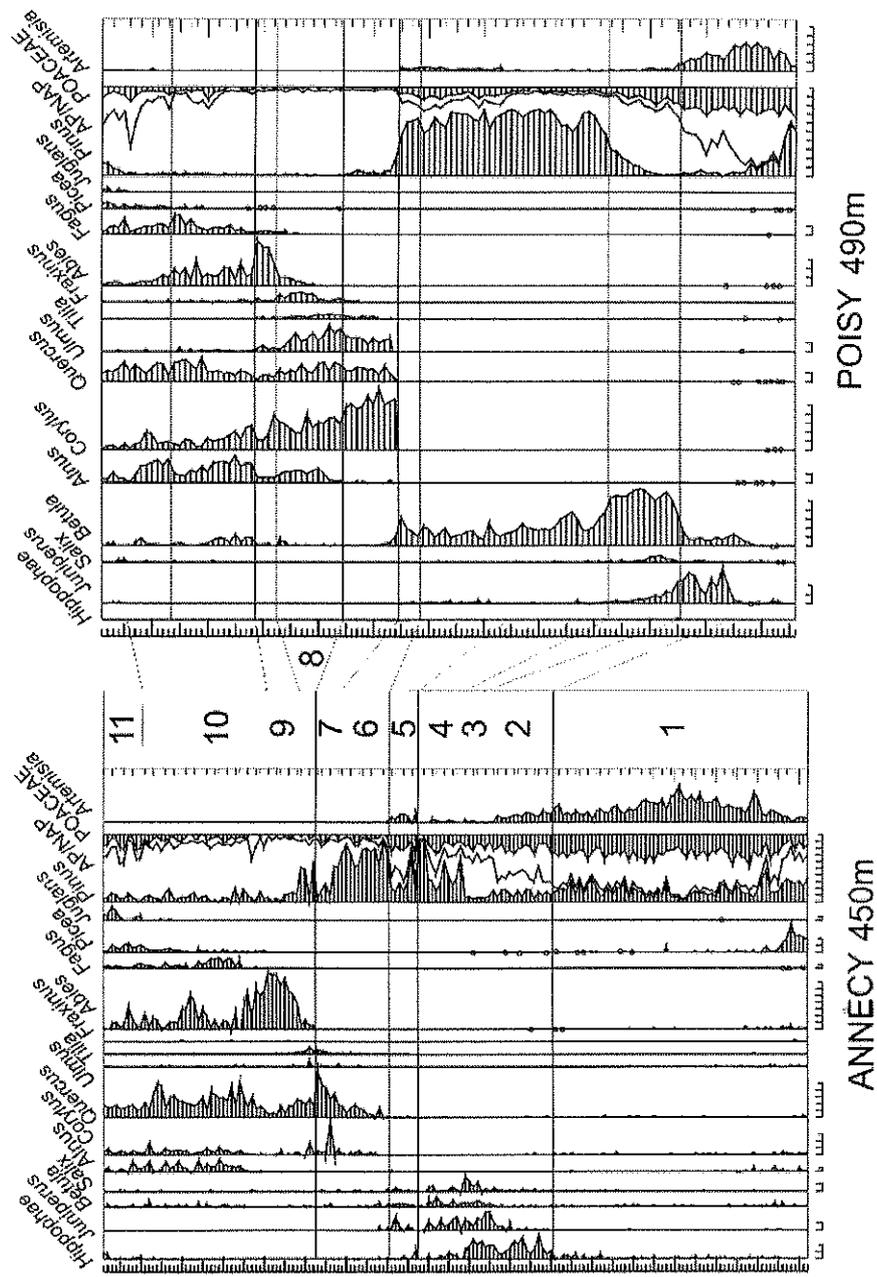


Figure 2. Comparaison des diagrammes polliniques simplifiés du lac d'Annecy (450 m) et du marais de Poisy (490 m). Analyses F. David.

COMPARAISON DE SITES ÉTAGÉS (DIAGRAMMES SIMPLIFIÉS DE POISY, 490 m, fig. 2, DES RONDETS, 940 m, fig. 3, DE BOUTTECUL, 1200 m, fig. 4, DU PLATEAU DES GLIÈRES, 1500 m, fig. 5)

Au Tardiglaciaire (fig. 2, 3, 4), *Poaceae*, *Artemisia*, *Juniperus*, *Betula* et *Pinus* présentent des fluctuations identiques. Cependant les taux de *Betula* sont plus élevés aux basses altitudes, Poisy (490 m, 60 %), Rondets (940 m, 50 %), Bouttecul (1200 m, 35 %) et les taux d'*Artemisia* et *Poaceae* plus élevés à Rondets et Bouttecul au Dryas récent (zone 5).

Au Préboréal (fig. 2, 3, 4, zone 6) *Betula* et *Pinus* sont bien représentés à basse altitude entre 490 m et 1200 m. *Pinus uncinata/sylvestris* dominant seuls les assemblages polliniques à 1500 m (fig. 5, zone 1), avant la progression des bouleaux.

La période boréale est marquée par la dominance de *Corylus* aux étages collinéen et montagnard (70% à 490 m, fig. 2, zone 7; 50 % à 940 m, fig. 3, zone 7; 37 %

à 1200 m; fig. 4, zone 7). *Pinus uncinata/sylvestris* dominant encore à 1500 m (fig. 5, zone 2), en première moitié de période avant que les taux de *Corylus* atteignent leurs maxima de 20 %.

Les taux de *Corylus* chutent pendant l'Atlantique (fig. 2, 3, 4, zone 8; fig. 5, zone 3) avec le développement de la chênaie dans les étages collinéen et montagnard. Parmi les éléments de la chênaie, *Tilia* est mieux représenté à 940 m (fig. 3, zone 8) et à 1200 m (fig. 4, zone 8).

La progression d'*Abies*, sensible à tous les étages (fig. 2, 3, 4, zone 9; fig. 5, zone 4), est stoppée vers 5900 BP dans l'étage collinéen (fig. 2, zone 10) alors qu'elle se prolonge jusqu'à la forte croissance de *Picea* autour de 4000 BP à 1500 m (fig. 5, zone 6).

Vers 5900 BP, l'augmentation d'*Alnus* notée dans tous les étages est plus forte dans l'étage collinéen (fig. 2, zone 10). La progression de *Fagus* est plus marquée à 1200 m (fig. 4, zone 10). La substitution d'*Abies* par *Picea* vers 4000 BP est bien visible à 1500 m (fig. 5, zone 6).

DISCUSSION

APPORT DES TRIBUTAIRES

Les différences de représentation pollinique entre les deux séquences de l'étage collinéen peuvent être attribuées à plusieurs facteurs liés aux caractéristiques du bassin sédimentaire. Le lac d'Annecy est un grand lac recevant des tributaires, le marais de Poisy aux dimensions plus modestes ne reçoit pas de tributaire.

La première trace de l'apport des tributaires se retrouve dans les occurrences de nombreux taxons mésothermophiles dans la séquence d'Annecy avant l'installation des pinèdes (fig. 2, zones 1, 2, 3). Les taxons mésophiles issus de remaniements sont également enregistrés à Poisy mais dans ce site, ils disparaissent dès l'établissement d'un couvert végétal limitant le lessivage des sols (zone 2). La persistance de ces taxons pendant la période glaciaire ne peut être envisagée en raison de l'enregistrement différé d'une courbe continue d'*Abies* et *Picea* au milieu de l'Holocène. De nombreuses études ont souligné l'abondance d'éléments remaniés à la base des enregistrements sédimentaires, (voir entre autres Richard *et al.*, 1991). Dans le bassin du lac d'Annecy, les traces de *Picea* proviennent de lignites datées du Würm moyen (Brun, 1995) alors que celles d'*Abies* indiquent des sédiments plus anciens encore (Brun & Hanss, 1987). La meilleure représentation d'*Hippophae*, *Salix*, *Cyperaceae*, *Poaceae* à Annecy traduit le développement des communautés de ripisylves drainées par le Fier vers le lac. De même, l'amplitude plus grande des fluctuations de *Pinus* à Annecy (zones 4, 5, 6) avec des minima plus marqués pendant les phases de détérioration climatique (Dryas récent, zone 5) doivent être liées à l'activité des tributaires. Une chute des concentrations polliniques notée pendant ces périodes traduit une activité plus grande des tributaires (David *et al.*, 2000, 2001) et la faible baisse des taux à Poisy traduit le maintien des pinèdes de l'étage collinéen

dans les Alpes françaises du nord (David, 1993a, b). La grande proximité des sites ne permet pas d'envisager une différence d'état du couvert végétal environnant. Ainsi, à l'Holocène, autour de 4000 BP, la présence d'un second pic d'*Abies* à Annecy, non enregistré à Poisy, (zone 10) illustre à la fois l'apport fluvial du Fier qui a drainé différents étages de végétation et la différence d'évolution du couvert dans ces étages.

RÔLE DE LA TAILLE DES BASSINS SÉDIMÉNTAIRES

La meilleure représentation des taxons à forte dispersion (*Pinus*, *Quercus*, *Abies*, *Juglans*) pendant l'Holocène dans la séquence d'Annecy confirme le meilleur enregistrement du transport lointain dans un site de grande taille. En revanche, pendant le Tardiglaciaire les taux élevés de *Betula* à Poisy (fig. 2, zone 3) indiquent que le bouleau était un élément prédominant de la végétation locale alors que sa représentation à Annecy est faible.

De même, la meilleure représentation de *Fraxinus*, *Ulmus* et *Alnus glutinosa/incana* à Poisy pendant l'Holocène (fig. 2, zone 7 à 10) indique que ces taxons sont bien présents dans l'étage collinéen, alors que leur représentation à Annecy est discrète. Leur localisation préférentielle en bordure de marais peut expliquer qu'ils n'ont qu'une faible représentation dans le flux régional.

La représentation similaire de *Tilia* dans les deux sites pendant l'Atlantique (fig. 2, zone 8) traduit au contraire un développement régional de ce taxon semi-anémophile, faible producteur au delà des marges littorales des sites humides du domaine externe.

La bonne représentation de *Juniperus* dans les deux sites au Tardiglaciaire (fig. 2, zones 3 et 4) confirme la répartition assez large de ce taxon pionnier dans les paysages plus ouverts du Tardiglaciaire.

RÉPARTITION ALTITUDINALE DE LA VÉGÉTATION

L'analyse de la différence de composition des assemblages polliniques entre petits sites étagés permet de déterminer les essences dominantes dans chaque étage de végétation et/ou les diachronismes d'installation.

Plusieurs indices traduisent la dynamique de colonisation du bouleau liée à l'altitude (David, 1993b; David & Barbero, 1995):

- la diminution des maxima de *Betula* en altitude au Tardiglaciaire (fig. 2, 3, 4, zone 3; Poisy 60 %, Rondets 50 %, Bouttecul 35 %);
- la meilleure représentation de *Betula* au Préboréal à basse altitude 490 m, 940 m et 1200 m (fig. 2, 3, 4, zone 6);
- la progression plus tardive des taux de *Betula* à 1500 m alors que *Pinus uncinata/sylvestris* dominait seul les assemblages polliniques (fig. 5, zone 2).

Cette dynamique est confirmée par les valeurs plus élevées en altitude des herbacées (*Artemisia* et *Poaceae*) pendant

le Dryas récent (fig. 2, 3, 4, zone 5; Poisy 25 %, Rondets 45 %, Bouttecul 40 %).

La diminution des maxima de *Corylus* en altitude pendant le Boréal (fig. 2, 3, 4, zone 7; Poisy 70 %, Rondets 50 %, Bouttecul 35 %) traduit elle aussi une zonation altitudinale du couvert végétal.

Les peuplements d'*Abies* de l'étage collinéen (Poisy, fig. 2, zone 9) au début de l'Atlantique sont remplacés vers 6000 BP par des peuplements diversifiés dominés par *Alnus* et *Quercus* (fig. 2, zone 10) alors qu'ils persistent longuement avec *Fagus* jusqu'au développement de *Picea* au dessus de 1200 m (fig. 5, zone 6).

L'enregistrement de *Picea* est plus précoce qu'en Vanoise (David *et al.*, 2000). Il traduit la migration de ce taxon vers le Sud des Alpes occidentales. Ce dernier point caractéristique à l'échelle des Alpes françaises du nord illustre la période de latence entre un climat favorable à l'installation d'une espèce et l'installation différée de cette espèce en raison de ses voies migratoires (Elias & Wilkinson, 1985).

CONCLUSION

En se limitant à une zone écologique restreinte, ici le domaine externe des Alpes françaises du nord, la confrontation des données a montré comment la zonation altitudinale de la végétation liée au relief contrasté se retrouvait dans la composition des spectres polliniques.

Une part importante du flux pollinique régional est constituée du mélange de taxons de différents niveaux altitudinaux avec une prédominance de taxons à forte dispersion (Jackson, 1990).

La comparaison de sites aux caractéristiques morphométriques proches (de petites dimensions et sans tributaires) dans les différents niveaux altitudinaux d'une zone écologique restreinte paraît le seul moyen d'évaluer la part de flux régional dans l'enregistrement et de ce fait la marge d'erreur associée à une reconstitution paléoclimatique. L'efficacité de cette méthode a déjà été prouvée en permettant la réinterprétation des forts pourcentages de pins dans l'étage subalpin des

Alpes occidentales pendant le Tardiglaciaire et la réévaluation à la baisse de la limite supérieure des arbres pendant cette période (David, 1993a, 1995).

De plus la présence de tributaires accentue la représentation des taxons de ripisylves et dans le cas de bassins versants à relief important contribue au mélange de taxons provenant de niveaux altitudinaux différents. La marge d'erreur liée à l'ampleur de ce paramètre est quasi-impossible à évaluer sans s'appuyer sur un référentiel de petits sites. L'activité des tributaires s'accompagne également de l'incorporation de taxons remaniés plus sensibles pendant les phases pionnières de la végétation quand les sols sont peu développés. La présence de taxons mésophiles pendant les phases froides posent le problème de la validité de tels spectres pour un usage paléoclimatique. De ce point de vue, l'étude d'un site tel que le lac d'Annecy doit être envisagée dans le cadre d'une confrontation des résultats de

l'ensemble des sites du bassin versant. Ceci est considérable en termes de reconstitution des paléopaysages et doit être testé pour définir les marges d'erreur d'une reconstitution paléoclimatique.

Cette méthode par comparaison permet également de contrôler la validité des définitions chronostratigraphiques lorsque ces définitions sont basées sur des taxons à grande dispersion tels que les pins par exemple. Ainsi certains niveaux attribués à de l'Allerød ou à du Préboréal dans des sites de basse altitude se sont avérés être du Dryas récent. En effet les pinèdes se

sont maintenues à basse altitude pendant les phases de détérioration climatique jusqu'à au moins 700 m dans les Alpes du nord (David, 1993b).

La reconstitution paléoclimatique à partir des données polliniques de zones montagneuses nécessite plus de précautions qu'en zone de plaine. Il semble plus fiable, si l'on veut quantifier raisonnablement les marges d'erreur, que l'on utilise des données obtenues à partir de sites préalablement sélectionnés dans ce but. L'utilisation de données anciennes de sites isolés implique de très grandes précautions.

BIBLIOGRAPHIE

- BARTHELEMY L. & JOLLY M.C. (1989), «Milieux de montagne et palynologie», *Acta biologica montana IX*, pp. 325-332.
- BECK C., MANALT F., CHAPRON E., VAN RENSBERGEN P. & DE BATIST M. (1996), «Enhanced seismicity in the early post-glacial period: evidence from the Post -Würm sediments of lake Annecy, northwestern Alps», *J. Geodyn.*, 22, pp. 155-171.
- BRADSHAW R.H.W. & WEBB T. III. (1985), «Relationships between contemporary pollen and vegetation data from Wisconsin and Michigan, USA», *Ecology*, 66, pp. 721-737.
- BRUN A. & HANSS C. (1987), «Die spätpleistozänen Schieferkohlen im SW des Lac d'Annecy (französische N-Alpen)», *N. J. Geol. Paläont., Mh. H.* 3, pp. 129-145.
- BRUN A. (1995), «Contribution palynologique à l'étude des sédiments du Pléistocène supérieur de la cluse d'Annecy (Haute Savoie)», *Quaternaire*, 6, pp. 3-12.
- CLERC J. (1988), *Recherches pollenanalytiques sur la paléoécologie tardiglaciaire et holocène du Bas-Dauphiné*, Thèse es Sciences, Aix-Marseille III, 179 p.
- DAVID F. (1993a), «Extension tardiglaciaire des pins dans les Alpes du Nord», *C.R. Acad. Sci. Paris, t. 317, Série II*, pp. 123-129.
- DAVID F. (1993b), «Altitudinal variation in the response of the vegetation to Late-glacial climatic events in the northern French Alps», *New Phytologist*, 125, pp. 203-220.
- DAVID F. (1995), «Vegetation dynamics in the northern French Alps», *Historical Biology*, 9, pp. 269-295.
- DAVID F. (2001) «Le Tardiglaciaire des Etelles: instabilité climatique et dynamique de la végétation», *C.R. Acad. Sci. Paris*, 324, pp. 373-380.
- DAVID F. & BARBERO M. (1995), «De l'histoire du genre *Betula* dans les Alpes françaises du nord», *Review of Palaeobotany and Palynology*, 89, pp. 455-467.
- DAVID F., FARJANEL G. & JOLLY M.P. (2000), «Enregistrement de l'histoire de la végétation tardiglaciaire et holocène dans un grand lac: Le lac d'Annecy (France)», *Revue de Géographie physique et Quaternaire*, vol. 54, 1, pp. 89-101.
- DAVID F., FARJANEL G. & JOLLY M.P. (2001), «Palyno- and Chronostratigraphy of a long sequence from Lac d'Annecy (northern outer Alps)», *Journal of Palaeolimnology*, 25, pp. 259-269.
- ELIAS S.A., WILKINSON B. (1985), «Lateglacial and Holocene environments of a lake on the Central Swiss Plateau. Fossil assemblages of Coleoptera and Trichoptera at Lobsigensee», *Dissertationes Botanicae*, 87, pp. 127-170.
- FAGERLIND F. (1952), «The real significance of pollen diagrams», *Bot. Not.*, 105, pp. 185-224.
- GOEURY C. (1997), *GpalWin: gestion, traitement et représentation des données de la paléoécologie*, XV^e symposium de l'A.P.L.F., Lyon, 31 p.
- JACKSON S.T. (1990), «Pollen source

area and representation in small lakes of the northeastern United States», *Rev. Palaeobot. Palynol.*, 63, pp. 53-76.

• JACOBSON G.L., Jr & BRADSHAW R.W.H. (1981), «The selection of sites for palaeovegetational studies», *Quat. Res.*, 16, pp. 80-96.

• KABAILIENE M.V. (1969), «On formation of pollen spectra and restoration of vegetation», *Minist. Geol. SSR, Inst. Geol. (Vilnyus), Trans.*, 11, pp. 1-148.

• OLDFIELD F. (1970), «Some aspects of scale and complexity in pollen-analytical based palaeoecology», *Pollen et spores*, 12, pp. 163-171.

• OZENDA P. (1975), «Sur les étages de végétation dans les montagnes du bassin méditerranéen», Grenoble, *Doc. Cartogr. Ecol.*, 16, pp. 1-32.

• OZENDA P. (1985), *La végétation de la chaîne alpine dans l'espace montagnard européen*, Masson, 331 p.

• PENNINGTON W. (1979), «The origin of pollen in lake sediments. An enclosed lake compared with receiving in flow streams», *New Phytologist*, 83, pp. 189-213.

• PRENTICE I.C. (1985), «Pollen representation, source area, and basin size, toward a unified theory of pollen analy-

sis», *Quat. Res.*, 23, pp. 76-86.

• PUNNING J.M. & KOFF T. (1997), «The landscape factor in the formation of pollen records in lake sediments», *Journal of paleolimnology*, 18, pp. 33-44.

• RICHARD L. (1973), «Carte écologique des Alpes au 1/50,000. Feuille d'Annecy-Ugine (XXXIV-31)», *Documents de Cartographie Ecologique*, Grenoble, XII, pp. 17-48.

• RICHARD P.J.H., BOUCHARD M.A. & GANGLOFF P. (1991), «The significance of pollen-rich inorganic lake sediments in the Cratère du Nouveau-Québec area, Ungava, Canada», *Boreas*, 20, pp. 135-150.

• TAUBER H. (1965), «Differential pollen dispersion and the interpretation of pollen diagrams», *Dan. Geol. Unders., Raeckke* 2, 89, pp. 1-69.

• TAUBER H. (1977), «Investigations of aerial pollen transport in a forested region», *Dan. Bot. Ark.*, 32, pp. 1-121.

• WALKER M.J.C. & LOWE J.J. (1990), «Reconstructing the environmental history of the Last Glacial-Interglacial transition: evidence from the Isle of Skye. Inner Hebrides, Scotland», *Quaternary Science Reviews*, 9, pp. 15-49.

F. David

Université Aix-Marseille III, F-13545 Aix-en-Provence cedex 4 (France)
fernand.david@club-internet.fr

F. Damblon

Institut Royal des Sciences Naturelles, B-1000 Bruxelles (Belgium)
Freddy.Damblon@sciencesnaturelles.be

G. Farjanel

Bureau Recherche Géologique et Minière-Service Géologique National
BP 6009, 45060 Orléans Cédex (France)

E. Juvigné, M. Streel

Université de Liège, B-4000 Liège 1 (Belgium)

EJuvigne@ulg.ac.be

Maurice.Streel@ulg.ac.be

F. Berthier

Agence régionale BRGM 32, rue Dupanloup, 74000 Annecy (France)

manuscrit déposé en avril 2006; révisé en juillet 2006