

Enregistrement de l'histoire de la végétation tardiglaciaire et holocène dans un grand lac : le lac d'Annecy (France)

Lateglacial and Holocene vegetation history as recorded in a large lake: Lac d'Annecy, France.

Aufzeichnung der Vegetation im Spätglazial und im Holozän in einem großen See: der See von Annecy (Frankreich)

Fernand David, Geneviève Farjanel et Marie-Pierre Jolly

Volume 54, numéro 1, 2000

URI : <https://id.erudit.org/iderudit/004783ar>

DOI : <https://doi.org/10.7202/004783ar>

[Aller au sommaire du numéro](#)

Éditeur(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (imprimé)

1492-143X (numérique)

[Découvrir la revue](#)

Citer cet article

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). *Géographie physique et Quaternaire*, 54(1), 91-103. <https://doi.org/10.7202/004783ar>

Résumé de l'article

L'étude conjointe du pollen, des palynofaciès et du phytoplancton d'une séquence de 44 m de long extraite du lac d'Annecy montre les changements majeurs de végétation et de sédimentation organique dans un grand lac des préAlpes du nord françaises depuis la dernière glaciation. La chronologie est établie par comparaison avec les régions voisines et seize dates SMA. La composition des assemblages polliniques reflète des processus sédimentaires particuliers (tri sélectif, remaniements). Ainsi la présence à la base de la séquence d'éléments remaniés plus anciens que Saint-Germain II réduit la possibilité de dater la fin de la glaciation par des macrorestes végétaux dans ce bassin. Les palynofaciès montrent que cinq changements majeurs dans l'apport de matière organique dans le lac correspondent aux grands changements de végétation régionale. L'épisode glaciaire final est caractérisé par une longue séquence faiblement organique. L'expansion des arbustes autour de 13 000 BP est marquée par une augmentation nette de matière organique dans les sédiments. L'établissement de Pinus marque une période de fortes fluctuations des taux de matière organique entre 12 500 et 10 000 BP. La progression des feuillus à l'Holocène concorde avec l'apport de matière plus structurée. Les taux les plus élevés d'éléments ligneux et planctoniques sont atteints pendant l'établissement des forêts de sapins à l'Atlantique. Ces taux se maintiennent pendant les premiers déboisements après 6000 BP. Après 2000 BP le phytoplancton décroît fortement alors que la réduction des éléments ligneux est moins prononcée.

ENREGISTREMENT DE L'HISTOIRE DE LA VÉGÉTATION TARDIGLACIAIRE ET HOLOCÈNE DANS UN GRAND LAC : LE LAC D'ANNECY (FRANCE)

Fernand DAVID*, Geneviève FARJANEL et Marie-Pierre JOLLY, premier auteur : Laboratoire de Botanique historique et Palynologie, URA CNRS, Faculté des Sciences et Techniques Saint-Jérôme, 13397 Marseille cedex 13, France ; deuxième auteure : Bureau de Recherche géologique et minière, Service géologique national, B.P. 6009, 45060 Orléans cedex, France ; troisième auteure : 2, rue de Vintué, 91580 Étretch, France.

RÉSUMÉ L'étude conjointe du pollen, des palynofaciès et du phytoplancton d'une séquence de 44 m de long extraite du lac d'Annecy montre les changements majeurs de végétation et de sédimentation organique dans un grand lac des préalpes du nord françaises depuis la dernière glaciation. La chronologie est établie par comparaison avec les régions voisines et seize dates SMA. La composition des assemblages polliniques reflète des processus sédimentaires particuliers (tri sélectif, remaniements). Ainsi la présence à la base de la séquence d'éléments remaniés plus anciens que Saint-Germain II réduit la possibilité de dater la fin de la glaciation par des macrorestes végétaux dans ce bassin. Les palynofaciès montrent que cinq changements majeurs dans l'apport de matière organique dans le lac correspondent aux grands changements de végétation régionale. L'épisode glaciaire final est caractérisé par une longue séquence faiblement organique. L'expansion des arbustes autour de 13 000 BP est marquée par une augmentation nette de matière organique dans les sédiments. L'établissement de *Pinus* marque une période de fortes fluctuations des taux de matière organique entre 12 500 et 10 000 BP. La progression des feuillus à l'Holocène concorde avec l'apport de matière plus structurée. Les taux les plus élevés d'éléments ligneux et planctoniques sont atteints pendant l'établissement des forêts de sapins à l'Atlantique. Ces taux se maintiennent pendant les premiers déboisements après 6000 BP. Après 2000 BP le phytoplancton décroît fortement alors que la réduction des éléments ligneux est moins prononcée.

ABSTRACT *Lateglacial and Holocene vegetation history as recorded in a large lake: Lac d'Annecy, France.* The pollen, palynofacies and phytoplankton study of a 44 m long core from in Lac d'Annecy reveals the major vegetation changes and related organic sedimentation recorded in a large lake of the french northern alpine foreland since the last glaciation. The chronology is based on a comparison with adjacent areas and sixteen AMS dates. Depositional processes, including selective sorting and sediment reworking are reflected in the composition of pollen assemblages. The basal *Picea* pollen assemblage zone corresponds to reworked material attributed to pré-St-Germain II time and makes the age of the termination of the last glaciation by dating macroremains, questionable. The palynofacies indicate five major changes in the supply of organic matter in the lake, corresponding to major changes in the regional vegetation. The last glacial maximum was characterized by a long poorly organic sequence. The spread of shrubs around 13 000 BP was marked by a clear increase of organic matter in the sediments. The spread of *Pinus* corresponded to high fluctuations of the organic matter supply to the lake between 12 500 and 10 000 BP. The Holocene spread of deciduous trees supplied more structured organic matter to the lake. The highest content of woody and planktonic elements content was reached with the *Abies* forests during the Atlantic period. This high organic content was maintained during the first anthropogenic deforestation after 6000 BP. After 2000 BP a strong decrease of phytoplankton is noted, whereas the decrease of woody elements is less pronounced.

ZUSAMMENFASSUNG *Aufzeichnung der Vegetation im Spätglazial und im Holozän in einem großen See : der See von Annecy (Frankreich).* die gleichzeitige Untersuchung des Pollens, der Palynofazies und des Phytoplanktons eines 44 m langen Bohrkerns, der dem See von Annecy entnommen wurde, zeigt die wichtigsten Wechsel der Vegetation und der organischen Ablagerung seit der letzten Vereisung in einem See des französischen nördlichen Voralpenlands. Die Chronologie stützt sich auf Vergleiche mit den benachbarten Gebieten und auf 16 AMS-Daten (Massenspektrometrie). Die Komposition der Pollen-Einheiten spiegelt besondere Sedimentationsprozesse (selektive Sortierung, Umarbeitung). So verringert das Vorkommen von umgearbeiteten Elementen, die älter als Saint-Germain II sind, an der Basis des Kerns die Möglichkeit, das Ende der Vereisung durch Pflanzen-Makroreste in diesem Becken zu datieren. Die Palynofazies zeigen fünf Hauptwechsel in der Zuführung organischen Materials in den See, die den großen regionalen Vegetationswechseln entsprechen. Das letzte glaziale Maximum zeichnet sich durch eine lange schwach organische Sequenz aus. Die Verbreitung der Büsche um 13 000 v.u.Z. ist durch eine klare Zunahme organischen Materials in den Sedimenten charakterisiert. Die Ausdehnung von *Pinus* markiert eine Periode starker Schwankungen des Anteils organischen Materials zwischen 12 500 und 10 000 v.u.Z. Der Ausbreitung von Laubbäumen im Holozän entspricht die Zunahme mehr strukturierten Materials. Die höchsten Raten an Holz- und Plankton-Elementen werden während der Etablierung der Tannenwälder in der atlantischen Periode erreicht. Diese Raten bleiben konstant während der ersten Entwaldungen nach 6000 v.u.Z. Nach 2000 v.u.Z. nimmt das Phytoplankton stark ab, wohingegen die Abnahme von Holzelementen weniger stark ist.

INTRODUCTION

La position du lac d'Annecy en limite d'extension du dernier maximum glaciaire dans les Alpes du Nord permet d'envisager l'enregistrement des premières phases de la déglaciation dont la chronologie reste un problème irrésolu dans cette partie des Alpes (Evin *et al.*, 1994). Cela a motivé la constitution d'un programme pluridisciplinaire d'étude de l'évolution d'un grand lac et de son bassin versant dans les Alpes du Nord sur une longue période et notamment de l'impact d'un large spectre de perturbations, allant de la déglaciation et ses effets sur les paysages jusqu'aux transformations anthropiques de l'environnement. En effet, de nombreuses traces de phases d'occupation humaine ont été mises en évidence en bordure du lac et dans la région, et la signature de l'utilisation de l'espace par l'homme a été démontrée dans les sédiments de la période historique (Higgit *et al.*, 1991).

Les résultats présentés dans cet article illustrent le bien fondé d'une étude conjointe du pollen, des palynofaciès et du plancton pour analyser l'évolution des rapports entre la sédimentation dans le lac et le couvert végétal de son bassin versant. En effet si l'analyse pollinique constitue un outil privilégié de description de l'évolution de la végétation, les caractéristiques particulières du lac d'Annecy, c'est-à-dire la grande taille du bassin sédimentaire et la présence de tributaires dont la contribution a pu varier avec le temps, impliquent une réflexion sur la signification des enregistrements polliniques au premier rang de laquelle figure l'origine du pollen recruté. La taille du lac (26,5 km²) implique une forte contribution de la composante régionale de la pluie pollinique (Jacobson et Bradshaw, 1981). Or il faut rappeler que le bassin versant du lac d'Annecy présente une topographie contrastée impliquant l'incorporation de la pluie pollinique de plusieurs étages de végétation en plus de celle de l'étage du lac (étage collinéen). La présence de tributaires accentue la complexité de ce mélange en modifiant les contributions polliniques dépendant de la seule taille du lac (Pennington, 1973, 1979).

Des informations complémentaires sur la matière organique sédimentée apparaissent nécessaires pour traduire le diagramme pollinique en ce qui a trait aux rapports entre la sédimentation organique dans le lac et l'état de la végétation dans son bassin versant. De ce point de vue, l'étude de la structure de la matière organique dans les échantillons utilisés pour les comptages polliniques définissant des « palynofaciès » (Correia et Péniguel, 1975) est un outil efficace de discrimination rapide de la composante organique du sédiment provenant du bassin versant et de celle produite dans le lac évaluée également par comptage du plancton d'eau douce.

Ainsi l'analyse conjointe du pollen, des palynofaciès et du plancton d'eau douce paraît suffisante pour définir les modalités d'enregistrement des principales étapes de l'histoire de la végétation régionale dans le lac depuis le dernier maximum glaciaire et les conséquences réelles de ces étapes sur la sédimentation et l'activité biologique dans le lac. La discussion est axée principalement sur la complémentarité

des analyses effectuées. La comparaison des différentes données montre qu'un nombre restreint d'étapes de la végétation modifie l'apport de matière organique en provenance du bassin versant et que le couplage entre ces apports et l'activité biologique du lac dépend fortement de l'activité des tributaires.

La chronologie des principales étapes de l'histoire de la végétation est basée sur la comparaison avec les données de sites proches (Amman et Lotter, 1989 ; Beaulieu *et al.*, 1994 ; David, 1993 ; Gaillard, 1984 ; Wegmüller, 1977), plus seize dates SMA de macrorestes végétaux terrestres (David *et al.*, soumis) (fig. 2). Une brève comparaison avec la chronologie établie dans un massif situé à 100 km au sud d'Annecy (David, 1993 a et b) (fig. 6) est apparue nécessaire ici pour souligner les particularités de la sédimentation dans le lac d'Annecy mises en évidence par des différences flagrantes de composition des spectres polliniques, bien que l'analyse fine de ces différences ait motivé une étude complémentaire de sites plus proches (David *et al.*, en préparation). Il est en effet indispensable de comparer des sites non seulement d'altitude équivalente mais également situés dans des zones écologiques semblables pour définir l'amplitude des variations locales des enregistrements polliniques avant de passer à la comparaison entre différentes zones écologiques (David, 1993 a et b). Si la chronologie ne constitue pas le sujet principal de cet article, les remaniements mis en évidence par notre étude à la base de la séquence ont nécessité une discussion sur les possibilités de datation du retrait du glacier dans cette zone et sur la valeur des datations SMA de macrorestes végétaux de la base de la séquence.

DESCRIPTION DU SITE

Le lac d'Annecy (lat. 45° 48' N ; long. 6° 8' E - 6° 14' E) et son bassin de drainage reposent sur les séries mésozoïques des Préalpes françaises (fig. 1). Le lac occupe le nord de la cluse qui sépare les massifs préalpins des Bornes au nord-ouest, des Bauges au sud-ouest. L'altitude du lac est de 445 m, sa surface actuelle est de 26,5 km² et la surface du bassin de drainage est constituée au trois quarts par le massif des Bauges 251 km². Le lac de retrait glaciaire würmien occupait une surface de 70 km² et, grâce aux apports du Fier, drainait une surface de 740 km² (Nicoud et Manalt, 1994). La capture du Fier entre 6000 et 5000 BP (F. Manalt, communication orale) marque une diminution du rôle du massif des Bornes qui constituait alors les trois quarts du bassin versant.

Trois des quatre étages de végétation définis dans la région (Richard, 1973) occupent le bassin versant actuel 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. L'étage montagnard (700 m – 1500 m) est dominé par les forêts de hêtre et de sapin. 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.

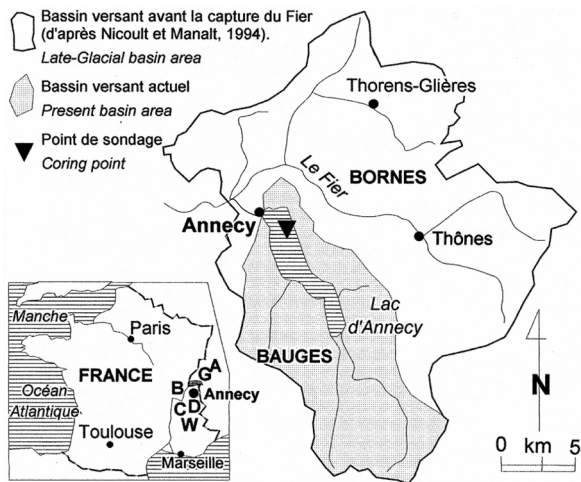


FIGURE 1. Localisation du site. A, B, C, D, G, W, indiquent les zones étudiées par Amman et Lotter, 1989 ; Beaulieu *et al.*, 1994 ; David, 1993b ; Gaillard, 1984 et Wegmüller, 1977. Le site des Ételles est dans la zone D.

Site location. A, B, C, D, G, W, indicate studied areas by Amman et Lotter, 1989 ; Beaulieu *et al.*, 1994 ; David, 1993b ; Gaillard, 1984 and Wegmüller, 1977. Les Ételles is situated in area D.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

En 1993, trois sondages ont été réalisés côte à côte sous 57 m d'eau à partir d'une barge pour extraire les 43 m de séquences reposant sur des passées morainiques à la cote -100,74 m. Les puits ont été réalisés à l'aide du matériel de sondage (barge et carottiers) de l'Université d'Aix-Marseille III (LBHP - URA/CNRS 1162). Le sédiment carotté est un silt argilo-carbonaté à lamines d'épaisseur variable. Une description précise du sédiment est donnée dans Beck *et al.*, (1996).

DONNÉES SAISIES

Les 173 niveaux prélevés ont été traités selon la méthode utilisée au Laboratoire de Botanique historique et Palynologie (Clerc, 1988). Toutefois, il faut rappeler que la pauvreté du sédiment en pollen, extrême dans les deux tiers inférieurs de la carotte représentant la période tardiglaciaire, a nécessité une étape supplémentaire de concentration du pollen par filtration sur 10 µm en fin d'opération. Dans ces niveaux les moins riches la somme pollinique n'excède pas 200 grains alors qu'un minimum de 350 grains a été compté dans les autres. Les concentrations absolues ont été évaluées par adjonction de tablettes de lycopodes (Stockmarr, 1971). Des comptages de phytoplancton d'eau douce et de remaniement mésozoïque ont été effectués sur 90 des niveaux précédents. Ces éléments ne sont pas considérés dans la somme de base des comptages pour la construction du diagramme pollinique ni les spores et le pollen de plantes aquatiques. Les pourcentages du phytoplancton d'eau douce et du remaniement mésozoïque ont été calculés par rapport au nombre total de tous les constituants de la microflore.

L'étude des palynofaciès a porté sur 116 niveaux après traitement HCl et HF qui ne détruisent ni la matière organique ni la pyrite éliminée seulement par HNO₃. Pour les

comptages semi-quantitatifs de la matière organique cinq classes ont été retenues d'après la classification de Correia et Péniguel (1975) : MOAp (matière organique amorphe pulvérulente), MOAa (matière organique amorphe en amas), MOV (matière organique cellulaire), MOX (débris charbonneux, MOT (vaisseaux de bois). La taille des éléments figurés (fragments de bois, cuticules, fragments charbonneux) varie notablement d'un échantillon à l'autre et parfois dans un même échantillon.

Les datations absolues ont été réalisées et interprétées au Bureau de Recherches géologiques et minières par J. Casanova sur des macrorestes prélevés pendant la collecte d'échantillons pour les différents intervenants. Seules les datations concernant la période holocène sont publiées (David *et al.*, 1995). Huit nouvelles datations SMA de la période tardiglaciaire sur macrorestes végétaux terrestres dans le site des Ételles (David *et al.*, en prép.) ont également permis d'affiner la correspondance établie entre les zones polliniques des différents étages de végétation des Alpes françaises du Nord et le reste des Alpes (David 1993b).

RÉSULTATS

PALYNOFACIÈS ET STRATIGRAPHIE POLLINIQUE

Afin d'éviter toute confusion, nous utiliserons le terme biozone pour zone d'assemblage pollinique (Gaillard, 1984) et nous réserverons le terme zone aux subdivisions basées sur l'analyse des palynofaciès. La figure 2 présente un diagramme pollinique simplifié. Seize biozones ont été identifiées. La figure 5 compare l'évolution des concentrations polliniques totales et celle du phytoplancton. D'après les palynofaciès, la série peut être scindée en sept zones (fig. 3) dont la relation avec les biozones est présentée au tableau I. Nous présentons conjointement ci-dessous les caractères succinets ayant motivé la zonation :

Zone 1 : 9670 - 9150 cm (~biozone 1). La matière organique pulvérulente est associée à des débris charbonneux opaques et à des débris ligneux. Les assemblages polliniques sont caractérisés par le mélange de taxons arboréens dont certains sont mésophiles (*Pinus*, *Picea*, *Ulmus*, *Quercus*, *Alnus*, *Abies*, *Tilia*) et d'herbacées dominées par les steppiques (*Artemisia*, *Chenopodiaceae*) et les Poaceae.

Zone 2 : 9150 - 8876 cm (~biozone 2). On observe une réduction des débris organisés présents sous la forme de très petits débris libéro-ligneux. Les spectres polliniques sont dominés par les taxons steppiques (*Artemisia* 40 %, *Chenopodiaceae* 10 %, *Helianthemum*, *Caryophyllaceae*) et les Poaceae (30 %). Les taux des Filicales monolètes, de *Pinus* et *Picea* diminuent ainsi que les valeurs minimales de concentration absolue (~200 grains/g).

Zone 3 : 8876 - 7226 cm (~B = biozone 2 et partie biozone 3). La matière organique est rare. L'observation au MEB de la fraction inférieure à 10 µm montre de nombreux petits cristaux souvent automorphes : pyrite, rutile et zircon abondants, quelques cristaux de barytine, de nombreux silicates Fe et Al en baguettes allongées (tourmaline, staurotide), et des silicates en feuillets (mica). Cet assemblage

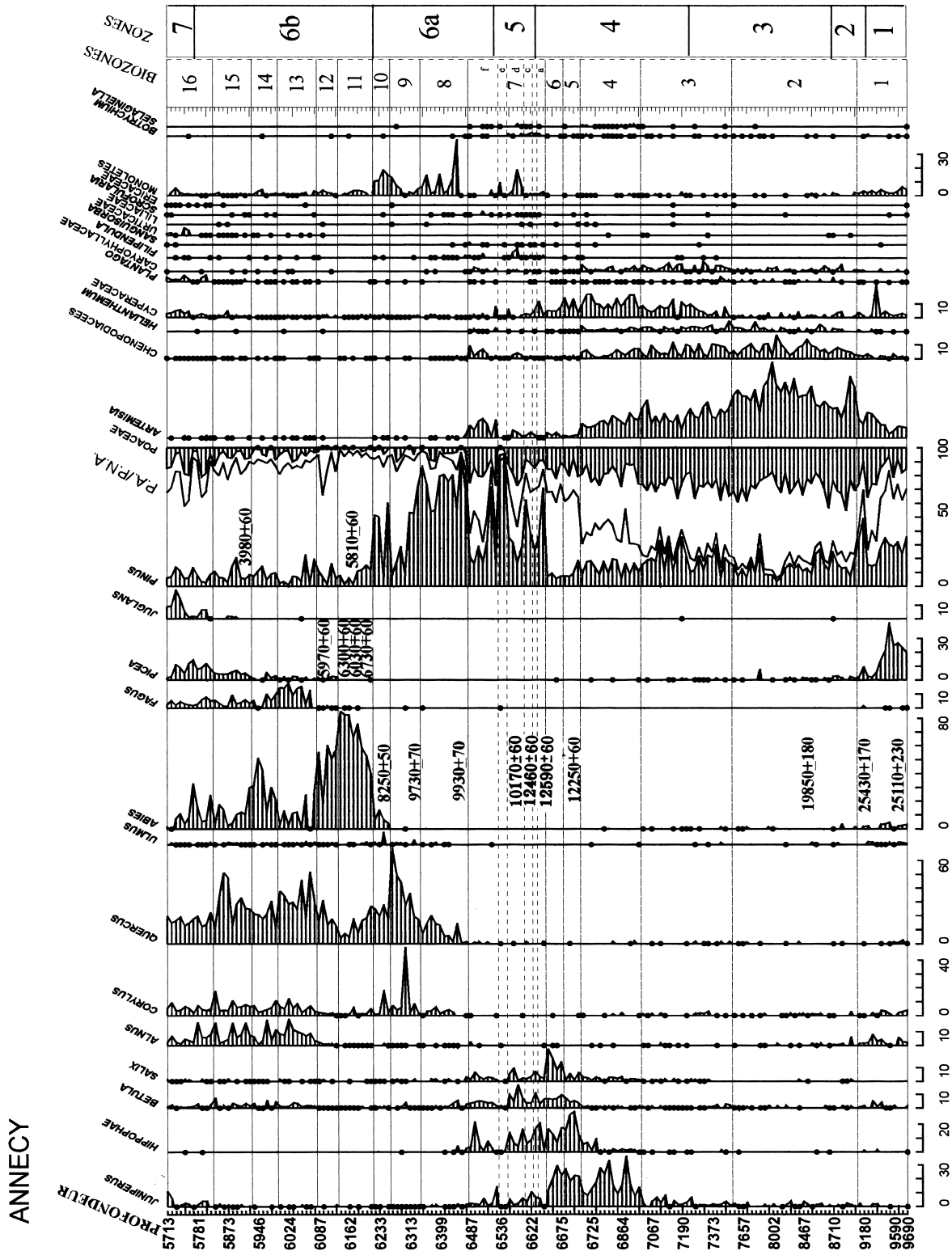


FIGURE 2. Diagramme pollinique simplifié montrant les variations de fréquences relatives des principaux taxons terrestres. La représentation équidistante des spectres permet de mieux visualiser les changements postglaciaires quand les taux de sédimentation sont les plus faibles. Analyse : F. David et M. P. Jolly.

Summary pollen diagram showing relative changes of the most important terrestrial taxa. The equal spacing between spectra shows at best the rapid postglacial changes. Analysis by F. David and M. P. Jolly.

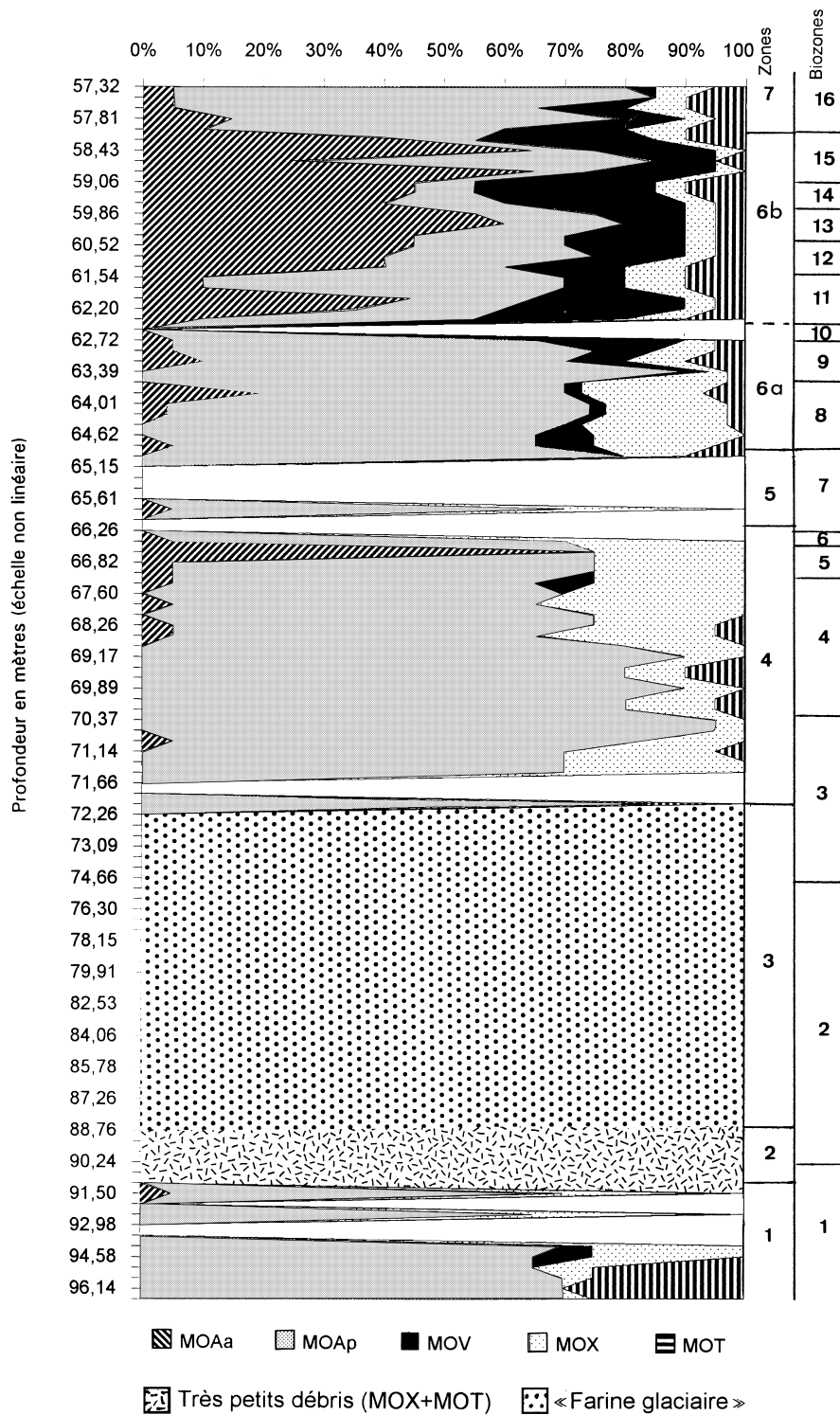


FIGURE 3. Palynofaciès (analyse de G. Farjanel). MOAp = matière organique amorphe pulvérulente ; MOAa = matière organique amorphe en amas ; MOV = matière organique cellulaire (spores, pollen, cuticules, épidermes...) ; MOX = débris charbonneux opaques ; MOT = vaisseaux de bois identifiâbles. La pauvreté des zones 2 et 3 en matière organique n'a pas permis l'estimation des taux des différents constituants. Échelle non linéaire.

Palynofacies (analysis by G. Farjanel). MOAp = Amorphous organic matter; MOAa = Lumpy amorphous organic matter; MOV = Tissue fragments; MOX = Coaly debris; MOT = Structured woody fragments. The organic matter content of zones 2 and 3 is not high enough to define the percentages of each constituent. Non linear scale.

TABLEAU I

Comparaison des différentes zonations de la séquence d'Annecy d'après le phytoplancton, les palynofaciès et le pollen. Les principales caractéristiques de chaque subdivisions sont notées. Cinq étapes résument l'histoire de la végétation régionale.

< 10 %	7	réduction MOAa et MOV	16	JUGLANS	PICEA, QUERCUS	forte anthrop.
10-20 %	6b	augmentation MOAa et MOV	15	QUERCUS	FAGUS, ALNUS	anthropisation
> 20 %			14	ABIES	QUERCUS	
			13	QUERCUS	FAGUS, ALNUS	
			12	ABIES	Fagus, Picea	
11			Fagus			
5-10 %	6a	MOAp + (MOX, MOV, MOT, MOAa)	10	QUERCUS	+ Tilia, Abies	forêts tempérées
			9		+ Corylus	
			8	+ Quercus		
			7f	+ NAP		
> 10 % < 20 %	5	fortes variations	7e	PINUS	PINUS	«Taïga »
			7d		+ NAP	
			7c		PINUS	
			7b		+ NAP	
			7a		PINUS	
> 5 % < 10 %	4	(MOV, MOAa) + MOAp + (MOT)	6	JUNIPERUS	+ Salix	« Toundra-steppe » boisée
			5		+ Hippophae	
			4		+ Artemesia	
	3	3	ARTEMISIA	+ Cyperaceae		
		2		+ Chenopodiaceae		
< 2 %		MO rare				
> 10 %	2	indéetectable				« Toundra-Steppe »
15-2 %	1	MOAp + (MOT, MOV)	1	PINUS	PICEA, NAP	

caractérise la « farine glaciaire ». La rareté de la matière organique peut être corrélée avec les valeurs minimales des concentrations polliniques absolues totales (~200 grains/g). Le cortège de steppiques varie peu et les taux des Poaceae (30-40 %) sont constants. La biozone 3 marque une chute de moitié des taux d'*Artemisia* (20 %) et une progression des taux de Cyperaceae.

Zone 4 : 7226 - 6626 cm (~biozones 3-6). La matière organique abondante est surtout représentée par de la matière amorphe pulvérulente. Les éléments figurés MOX et MOT sont assez bien représentés. Les concentrations polliniques absolues augmentent de façon importante (600 - 1100 grains/g) ainsi que les taux des arbustes, *Juniperus* (biozone 4), *Salix* (biozone 5) et *Hippophae* (biozone 6). Le cortège d'herbacées est modifié. Parmi les steppiques, la réduction des Chenopodiaceae et des Caryophyllaceae (biozones 5 et 6) est la plus importante alors que l'on a noté la progression des Cyperaceae (biozone 3) et l'apparition des *Filipendula*, *Sanguisorba minor*, *Centaurea*, *Selaginella*, Liliaceae et Scrophulariaceae.

Zone 5 : 6626 - 6515 cm (~biozone 7). Bon nombre de niveaux sont dépourvus de matière organique et riches en pyritosphères. Les concentrations polliniques absolues présentent également de fortes fluctuations (5000 - 500 grains/g) que l'on retrouve dans les taux de *Pinus*. Les Filicales monolètes et *Botrychium* apparaissent dès le début de la période. On dénombre trois phases de dérive importante des pourcentages de *Pinus* (7b,d,f) dont la dernière (6528 - 6487 cm) peut être attribuée au *Dryas* récent. On y observe un sursaut ultime des *Artemisia*.

Zone 6 : 6515 - 5770 cm (~biozones 8-15). La courbe de matière organique cellulaire (MOV) démarre. Ces tissus végétaux sont parfois de grande taille. Ils deviennent abondants à partir de 6272 cm avec des taux pouvant atteindre 30 %. Ils sont associés à des débris charbonneux (MOX) dans l'intervalle 6499 - 6330 cm et des vaisseaux de bois (MOT) au-dessus. MOV, principalement, mais également MOX et MOT présentent des éléments de grande taille traduisant un transport peu important. Conjointement les valeurs élevées de matière organique amorphe en amas (MOAa) peuvent être corrélées avec l'explosion du plancton d'eau douce (fig. 4). La forte représentation de la MOAa passant de 5-10 % à 10-65 % dans la partie supérieure motive une sous-division à 6231 cm à la fin de la zone pollinique 10 (fig. 2) quand *Abies* progresse fortement. Les zones 8 à 10 marquent le début de l'Holocène avec l'apparition progressive de *Quercus*, *Corylus*, *Ulmus*, *Tilia* (biozones 8 et 9) puis *Abies* (biozones 10). Les concentrations polliniques absolues progressent au tout début de l'Holocène (8000 grains/g), mais se stabilisent à des valeurs inférieures avec la progression de *Quercus* (4000 grains/g). À partir de la zone pollinique 11, les principaux taxons arboréens sont établis dans la région et l'on assiste à une modification de leurs rapports en fonction de l'activité humaine (biozones 12 à 15). Des signes clairs d'anthropisation (augmentation des Poaceae et *Artemisia*, présence de *Plantago*, Urticaceae et Céréales), caractérisent la fin de la biozone 12 et surtout le début de la

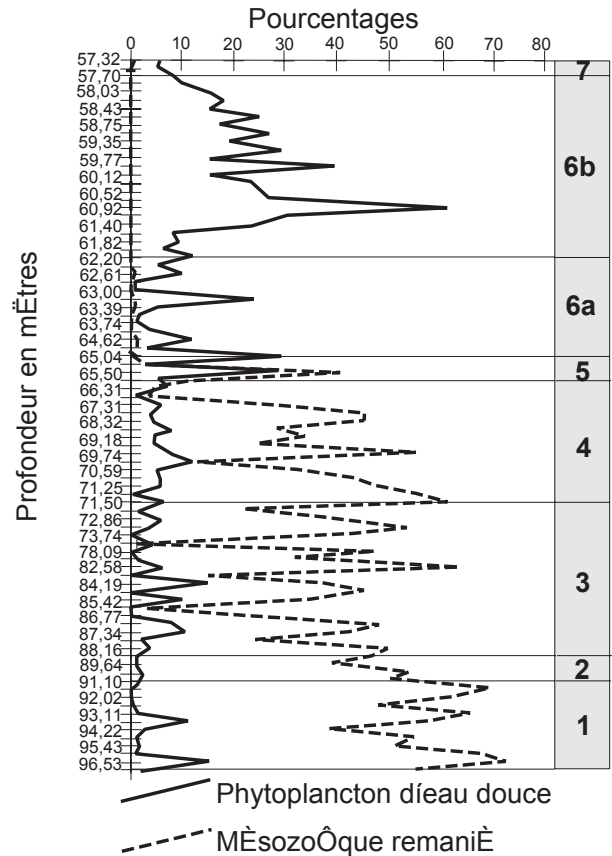


FIGURE 4. Phytoplancton et remaniement mésozoïque (échelle non linéaire). Analyse : G. Farjanel et M. P. Jolly.

Phytoplankton and mesozoic elements. (non linear scale). Analysis by G. Farjanel and M. P. Jolly.

zone 13. Les concentrations absolues totales fluctuent autour de leurs valeurs maximales (25 000-70 000 grains/g).

Zone 7 : 5770 - 5732 cm (~biozone 16). Matière organique amorphe en amas et éléments figurés diminuent traduisant ainsi une diminution des apports du bassin versant. Les concentrations polliniques totales décroissent considérablement et régulièrement (30 000 - 5000 grains/g). Cette dernière zone pollinique est caractérisée par une très forte anthropisation soulignée par la présence régulière et forte de *Juglans* (20 %) l'augmentation des taux de *Picea* (15 %) et une progression importante des herbacées (*Plantago*, Urticaceae, Ericaceae...).

PHYTOPLANKTON

Le phytoplancton est représenté principalement par des zygématacées (*Mougeotia*, *Debarya*, *Zygnema*) (fig. 4 et 5). Il est très abondant (> 20 %) dans la partie supérieure du sondage à partir de 6140 cm quand *Abies* décroît et *Fagus* progresse. Une première progression de cette ampleur se note dès le Tardiglaciaire vers 6550 cm. Cependant, les fluctuations notées à cette période restent grandes et les valeurs stagnent autour de 10 % pendant le début de l'Holocène.

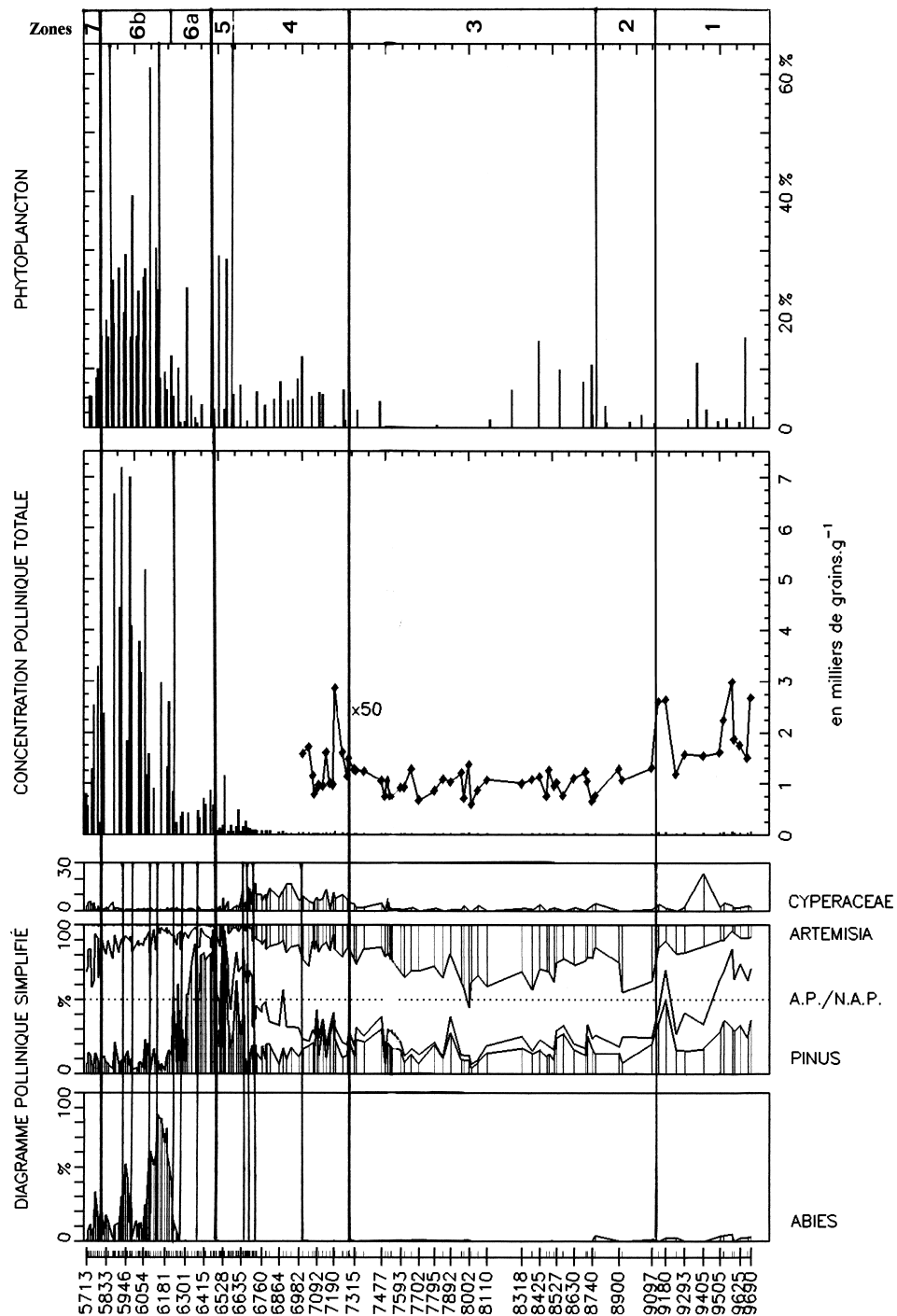


FIGURE 5. Évolution comparée du pollen et du phytoplancton. Le phytoplancton se développe plus tôt (8740 cm) que la végétation terrestre dont les concentrations polliniques totales augmentent avec les Cyperaceae (7300 cm). L'augmentation forte des concentrations polliniques correspond à l'arrivée d'*Abies* (6261 cm). Les concentrations polliniques maximales et les taux maximaux de plancton sont enregistrés avec la rétraction des sapinières (6075 cm). Leur décroissance correspond avec la culture du noyer. (5803 cm). Échelle non linéaire.

Comparison between the phytoplankton content and the spread of terrestrial plants. The increase of phytoplankton occurs earlier (8740 cm) than the terrestrial plants. The first increase of total pollen concentration corresponds to the spread of Cyperaceae (7300 cm). The strong increase of total pollen concentration occurs during the *Abies* expansion (6261 cm). The highest pollen concentration and phytoplankton percentages are recorded after the *Abies* maximum (6075). Their decrease corresponds to the *Juglans* expansion. Non linear scale.

DISCUSSION

COMPOSITION DES ASSEMBLAGES POLLINIQUES ET MODALITÉS DE DÉPÔT

Avant de caractériser les principales étapes de l'histoire de la végétation dans le bassin du lac d'Annecy grâce à l'étude conjointe du pollen, des palynofaciès et du plancton, il est nécessaire de relever l'originalité de la composition des assemblages polliniques observés dans cette séquence. Si l'on compare les spectres d'Annecy avec ceux des régions voisines (David, 1993a ; Gaillard, 1984 ; Wegmüller, 1977) et plus particulièrement ceux dans les sites d'altitude équivalente (David, 1995) (fig. 6), on note à Annecy une bonne représentation des taxons dont la capacité de dispersion est grande : *Pinus*, *Quercus*, *Abies*, *Juglans* (Heim, 1970.). Quelques taxons de ripisilves sont également abondants (*Hippophae*, *Salix*, Cyperaceae). À l'inverse, certains taxons apparaissent faiblement représentés (*Betula*, *Corylus*, *Ulmus*). Il faut noter, cependant que les études palynologiques citées en référence ont été menées sur de petits sites sans tributaires dans lesquels le dépôt s'est réalisé en mode calme. L'hypothèse d'un mode de dépôt perturbé, d'une forte activité mécanique liée aux courants sous-lacustres et d'une dilution des éléments organiques due à l'abondance des apports détritiques évoquée dans l'étude conjointe des diatomées (Druart, 1994) trouve une confirmation dans la faiblesse des concentrations polliniques absolues et dans la présence d'éléments mésozoïques remaniés (fig. 4). Ces derniers sont abondants à la base du sondage (72 %) et deviennent très rares dans la partie supérieure après 12 000 BP. La courbe des fréquences de *Picea* illustre également ce phénomène de remaniement. Les notations de ce taxon cessent avec la montée des taux de *Pinus* (fig. 2, biozone 7). Il faut considérer que ces apports d'éléments hérités n'ont jamais cessé dans le lac d'Annecy. C'est ainsi qu'il faut interpréter les notations isolées de *Fagus* pendant le Dryas récent (6528 cm, fig. 2) ou de *Juglans* pendant l'Holocène (6054 cm, fig. 2).

En raison de l'influence des paramètres locaux sur la composition des spectres polliniques mise en évidence par l'étude de sites régulièrement étagés dans une aire restreinte (David, 1993), la détermination du rôle précis de la taille du site et de la présence de tributaires (Pennington, 1973 ; 1979) en dehors de toute autre influence nécessite l'étude de nouvelles séquences dans des sites très proches d'Annecy (David *et al.*, en préparation).

Toutefois, malgré ces particularités de composition des spectres polliniques, les principales étapes de recolonisation végétale enregistrées à Annecy sont représentatives de l'histoire régionale de la végétation des Alpes du Nord-Ouest (Amman et Lotter, 1989 ; Beaulieu et Reille, 1984 ; David, 1993a ; Gaillard, 1984 ; Wegmüller, 1977).

DATATION ET CHRONOLOGIE

Bien que la chronologie absolue ne constitue pas le but de cette présentation, la mise en évidence de l'importance de certains processus sédimentaires particuliers dans la zone étudiée nous amène à poser des questions sur une éventuelle datation absolue de la base de la séquence à partir de macrorestes végétaux, voire du pollen. En effet, les éléments figurés

récoltés ont toutes les chances d'être remaniés comme semble l'attester des stomates de *Picea* déterminés dans ces niveaux. Or, nous ne connaissons aucun niveau à *Picea* d'âge récent, ni dans les affleurements régionaux (Brun, 1995) ni dans la longue séquence proche des Échets (Beaulieu et Reille, 1984). De tels niveaux sont attribués au Saint-Germain II, mais la présence d'*Abies* semblerait même indiquer des affleurements plus anciens que les derniers niveaux à *Picea*. Par conséquent l'incertitude ne sera pas levée par la datation absolue quant à l'intervalle entre le début de la sédimentation et la fin du dernier maximum glaciaire qui est estimé en d'autres régions autour de 15 000 BP (Beaulieu *et al.*, 1983, p. 54). La montée de *Juniperus* du début de la biozone 4 (fig. 6) a été retenue comme marqueur du Bølling par comparaison avec une montée équivalente enregistrée aux Ételles et datée autour de 13 000 BP sur des feuilles de *Dryas octopetala* (David, en préparation). Les dates obtenues à Annecy pour les phases tardiglaciaires et holocènes sont conformes aux chronologies établies dans les régions adjacentes (Amman et Lotter, 1989 ; Beaulieu et Reille, 1984 ; David, 1993a ; Gaillard, 1984 ; Wegmüller, 1977) et confirment la diminution des apports d'éléments remaniés dans le haut de la séquence.

COMPLÉMENTARITÉ DES DIFFÉRENTES DONNÉES

L'étude conjointe des palynofaciès qui distingue un nombre restreint d'étapes dans l'évolution des apports de matière organique dans le bassin laisse supposer que seules quelques-unes des modifications du couvert végétal décrites à partir du pollen ont fondamentalement transformé le flux de matière organique en provenance du bassin versant. Le regroupement des biozones polliniques et leur interprétation en grandes zones de végétation régionale (tabl. I) permet une meilleure comparaison des deux types de résultats.

Ainsi la distinction des deux premières biozones composées de spectres hétéroclites associant pollen de flore tempérée et de flore froide repose sur la diminution des apports d'éléments remaniés qui ne deviennent négligeables qu'au niveau de la biozone 7. La composition des spectres de la biozone 2, dominés par les *Artemisia*, Poaceae et Chenopodiaceae s'accompagnant des plus faibles valeurs de matière organique observées dans la séquence et de concentrations polliniques absolues également faibles indiquent que de tels spectres ont été déposés dans un quasi-désert végétal (El Moslimany, 1987). Dans un tel environnement aride et froid, il n'y a aucune contradiction entre un sol précocement dégagé de glaces et une colonisation tardive de la végétation ligneuse.

Les premières indications de pédogénèse (fig. 3, zone 4) correspondent à la fin de la biozone 3 (fig. 2) avec la progression des Cyperaceae et de *Juniperus*. Le paysage était une « steppe-toundra » sans équivalent actuel dans laquelle s'implantent les premiers arbustes au voisinage des points d'eau (dépressions, ripisilves). À cette période, la courbe du phytoplancton montre un léger démarrage de la productivité dans le lac (5 %, fig. 4).

L'établissement ultérieur des pins ne modifie pas fondamentalement la composition de la matière organique amorphe

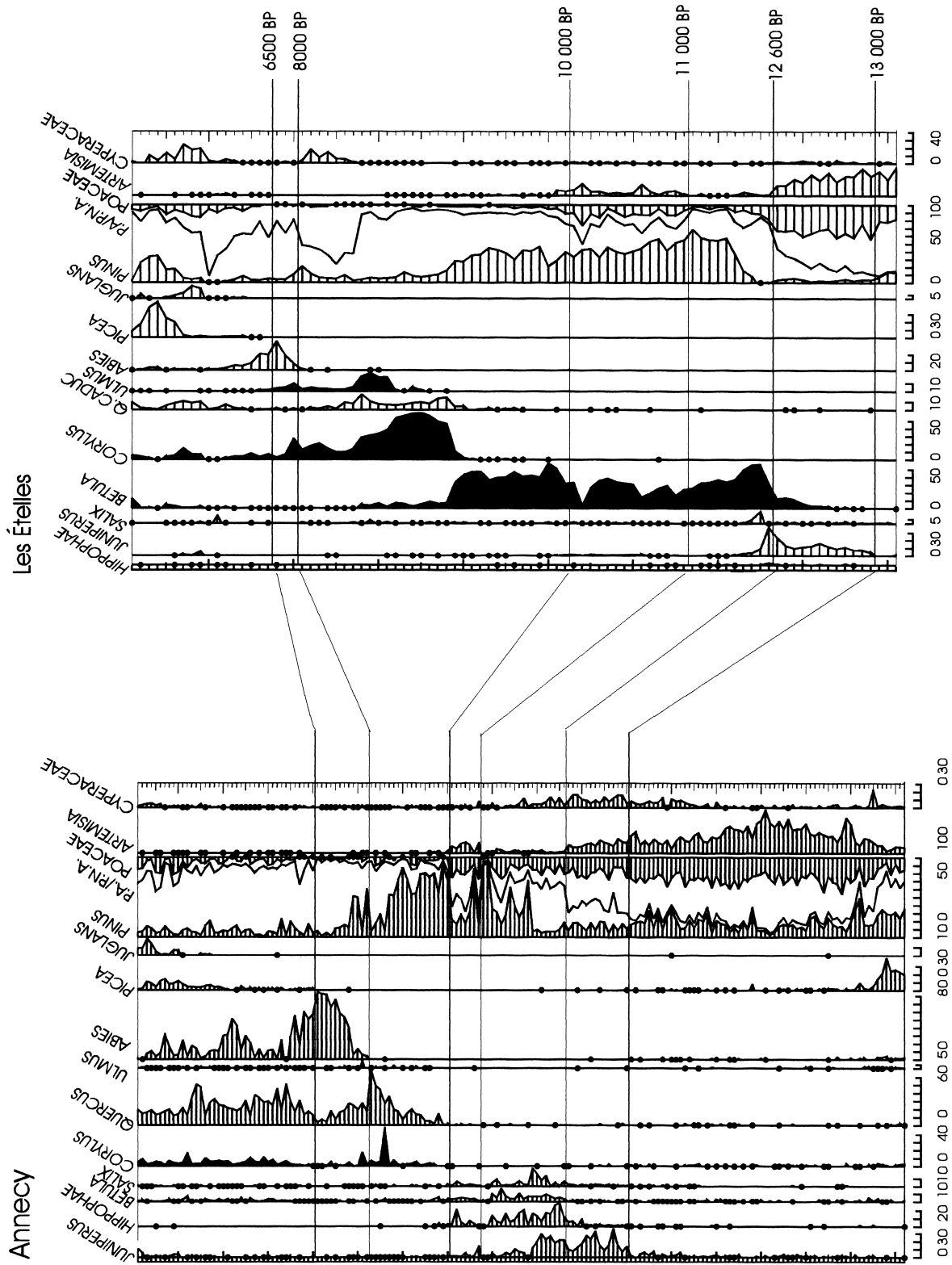


FIGURE 6. Comparaison des diagrammes simplifiés du lac d'Annecy (échelle non linéaire) et des Ételles (échelle linéaire), petit site à 100 km au sud d'Annecy (David, 1995). *Betula*, *Corylus* et *Ulmus* sont mieux représentés dans le petit site.

Comparison between the simplified diagrams of Lac d'Annecy (non linear scale) and Les Ételles (linear scale), a small site located 100 km from Annecy (David, 1995). *Betula*, *Corylus* and *Ulmus* are best represented in the small site.

essentiellement pulvérulente reconnue dans les palynofaciès. On note une grande irrégularité des apports de matière organique qui se calque sur les grandes fluctuations de *Pinus*. Ces chutes des pourcentages de *Pinus* peuvent aussi bien traduire une réduction des aires de peuplements de pins qu'une grande activité des tributaires. En effet, la composition des spectres polliniques antérieurs (fig. 2, biozones 4, 5, 6) où prédominent certains taxons de ripisilve traduit une contribution importante des tributaires dans la sédimentation. Quelle que soit la traduction des chutes de *Pinus*, celles-ci sont d'égale amplitude en 7b, 7d et 7f (fig. 2). Or la biozone 7f correspond au Dryas récent parfaitement enregistré dans l'ensemble des Alpes. Il faut donc envisager que les biozones 7b et 7d traduisent des événements climatiques brefs précédant le Dryas récent, aux conséquences aussi importantes que ce dernier dans le bassin d'Annecy. De telles oscillations ont été identifiées par les mesures isotopiques dans les Alpes suisses, mais leur traduction pollinique paraît variable (Lotter *et al.*, 1992). La différence d'amplitude observée entre les différents enregistrements polliniques semble être liée aux caractéristiques différentes des sites étudiés et sera discutée grâce à l'étude de petits sites proches du lac d'Annecy (David *et al.*, en préparation). Les grandes fluctuations du phytoplancton pendant cette période confirment également une grande instabilité du milieu lacustre.

L'infiltration de feuillus dans la pinède dès le début de l'Holocène entraîne une augmentation des apports de matière organique cellulaire dans le lac alors que les maximums de plancton n'augmentent pas par rapport à la période précédente. Cette différence entre le milieu lacustre et son bassin versant semble traduire une plus grande réactivité du plancton qui a enregistré immédiatement l'amélioration climatique tardiglaciaire en atteignant un état d'équilibre qui ne changera pas au début de l'Holocène. En revanche, cet état d'équilibre n'est pas atteint au Tardiglaciaire par les éléments ligneux à cause de leur lenteur de migration. De plus leur migration a été retardée au cours du Dryas récent. Non loin de là, en Suisse, les reconstitutions climatiques basées sur les insectes ont montré que pendant l'optimum tardiglaciaire, les conditions étaient favorables à l'installation du chêne bien que ce dernier se fût établi seulement à l'Holocène en raison de l'éloignement des zones de refuge (Elias et Wilkinson, 1985). Le maximum de débris charbonneux enregistrés pendant l'optimum de la pinède semble témoigner de feux de forêts importants semblables à ce que l'on observe dans les boisements résineux méditerranéen actuels. La recherche d'une rythmicité de tels incendies et de leur rôle sur l'infiltration des ligneux dans la pinède ne pourra être abordé que par un échantillonnage serré et une analyse spécifique des charbons couplée à l'analyse pollinique.

Le remplacement de la pinède par la chênaie (fig. 2, biozone 9) puis l'établissement de la sapinière (fig. 2, biozone 11) correspondent à une modification importante des apports dans le lac. La matière organique structurée y est plus abondante atteignant les valeurs maximales de la séquence (fig. 3, zone 6b) dès le début de l'établissement de la sapinière. Pendant l'Atlantique, les sapinières ont colonisé majoritairement l'étage compris entre 1300 et 2000 m

dans les Alpes françaises du Nord (David, 1995). Les taux de phytoplancton progressent également mais les valeurs maximales de la séquence (> 25 %, fig. 5) seront atteints après le maximum d'*Abies*, pendant la phase de diversification des sapinières (fig. 2, biozone 12). Les taux maximaux de matière organique amorphe en amas (fig. 3, milieu de zone 6b) dont l'origine est essentiellement planctonique confirment le maximum du développement planctonique à cette période. Ce décalage entre maximum d'apports de matière organique structurée et maximum de développement planctonique laisse supposer l'action de processus sédimentaires particuliers qui seront confirmés dans l'étape suivante.

Il est remarquable de constater qu'une remarquable ouverture anthropique du milieu est visible dans le diagramme pollinique à partir de la biozone 13 (fig. 2) avec l'augmentation des herbacées (incluant les céréales, *Urticaceae*, *Plantago* et *Artemisia*), la chute d'*Abies*, la forte progression de *Fagus*, et qu'elle ne modifie pas le rapport entre les différents types de matière organique (zone 6b). À plus forte raison, l'action fugace de l'homme que peuvent traduire de brefs pics de *Corylus* et d'herbacées dans les périodes antérieures (fig. 2) ne trouve pas d'équivalents dans l'analyse des palynofaciès. Cette stabilité dans la composition des éléments organiques sédimentés y compris pendant le rétablissement de la sapinière (biozone 14) ou pendant sa rétraction définitive (biozone 15) indique un découplage entre l'évolution du couvert végétal du bassin versant et la sédimentation organique dans le lac. Seuls des processus sédimentaires peuvent expliquer ce découplage.

Paradoxalement, l'ouverture du milieu n'a pas entraîné de modification qualitative des apports de matière organique structurée dans cette partie du lac. Les maximums atteints dès la période précédente sont maintenus. L'abondance du plancton dans les sédiments de cette période d'ouverture du milieu indique l'évolution des conditions de sédimentation vers un mode plus calme. Dans ces conditions, la grande taille des éléments de MOV, MOT et MOX plaident pour un dépôt d'éléments peu transportés en bordure de lac. Il faut noter que la capture du Fier a radicalement modifié la dynamique et l'origine des apports dans le lac dans la période estimée entre 6000 et 5000 BP (fig. 1). Après cet épisode, l'essentiel des apports provenant du massif des Bornes n'est plus canalisé vers le lac d'Annecy et les phénomènes de transport dans le lac sont réduits. Les apports du massif des Bauges deviennent proportionnellement majoritaires dans une charge sédimentaire totale plus faible et sont concentrés au niveau du petit lac qui présente de très forts taux de sédimentation pendant la période historique (Higgitt *et al.*, 1991).

Pendant la dernière période l'analyse pollinique montre que l'ouverture des milieux liée à l'agriculture est intense (*Juglans*, Céréales, fig. 2, biozone 16), alors que les palynofaciès indiquent le maintien de l'apport d'éléments ligneux à des taux élevés (zone 7, fig. 3) et une baisse de la matière organique en amas. Cette dernière correspond à une forte diminution du phytoplancton (< 10 %, fig. 4). Le phénomène de capture du matériel sédimentaire dans le petit lac et la grande ouverture des milieux semblent donc

s'additionner occasionnant une baisse de productivité dans le grand lac. Les taux élevés d'éléments ligneux proviennent encore de la bordure du lac et se sont sédimentés en mode calme.

CONCLUSION

L'étude conjointe du pollen des palynofaciès et du phytoplancton a permis de mettre en évidence les rapports entre l'évolution de la végétation du bassin versant du lac d'Annecy et l'incorporation de la matière organique dans les sédiments lacustres. Le rôle primordial des conditions de sédimentation en raison notamment à l'activité des tributaires est démontré et doit être pris en considération dans la comparaison des différentes données. Cette activité mise en évidence par la composition des spectres polliniques a entraîné non seulement une importante dilution de la matière organique dans le sédiment, comme le démontre la relative faiblesse des concentrations polliniques, mais également le remaniement de matière organique ancienne.

L'établissement des premiers arbustes et des pinèdes au Tardiglaciaire, le remplacement des pinèdes par les feuillus à l'Holocène, puis l'établissement des sapinières vers 8000 BP constituent les étapes marquantes de l'histoire de la végétation du bassin versant sur les apports de matière organique dans le lac. Cependant, des différences sont apparues entre l'évolution du bassin versant et l'évolution lacustre *sensu stricto*. Au Tardiglaciaire, l'activité planctonique traduit plus rapidement l'amélioration climatique que la végétation du bassin versant. Après 6000 BP, on assiste à un découplage entre l'enregistrement pollinique qui indique de fortes perturbations du couvert végétal dues à l'homme et la sédimentation de la matière organique qui n'enregistre pas de bouleversement majeur. À cette époque, la capture du Fier prive le grand lac de la majeure partie de l'apport issu du massif des Bornes et entraîne un mode de sédimentation plus calme. L'essentiel de la matière organique sédimentée provient des bords du lac. Les perturbations de la période historique entraînent des modifications importantes de la matière organique sédimentée et une réduction des teneurs en phytoplancton.

REMERCIEMENTS

Les résultats présentés dans cet article résultent de notre participation au projet pluridisciplinaire PO9 (antérieurement AR 45) financé par la direction scientifique du Bureau de Recherches géologiques et minières dont l'objectif était la collecte d'enregistrements continus d'indicateurs climatiques indirects (*proxidata*) couvrant le dernier cycle climatique. Nous remercions nos deux correcteurs anonymes et P.J.H. Richard pour leurs commentaires et leurs conseils qui ont contribué à l'amélioration du texte initial.

RÉFÉRENCES

- Amman, B. et Lotter, A., 1989. Late-Glacial radiocarbon- and palynostratigraphy on the Swiss Plateau. *Boreas*, 18 : 109-126.
- Beaulieu, J.-L. de et Reille, M., 1984. A long Upper Pleistocene pollen record from Les Échets, near Lyon, France. *Boreas*, 13 : 111-133.
- Beaulieu, J.-L. de, Pons, A. et Reille, M., 1983. Recherches pollenanalytiques sur l'histoire de la végétation des Monts du Velay (Massif Central, France). *Dissertationes Botanicae*, 72 : 45-72.
- Beaulieu, J.-L. de, Richard, H. J., Clerc, J. et Ruffaldi, P., 1994. Vegetation history in the French Alps and the Jura over the last 15 000 years. *Dissertationes Botanicae* 234 : 1-23.
- Beck, C., Manalt, F., Chapron, E., Van Rensbergen, P. et De Batist, M., 1996. Enhanced seismicity in the early post-glacial period : Evidence from the Post-Würm sediments of lake Annecy, northwestern Alps. *Journal Geodynamics*, 22 (1/2) : 155-171.
- Brun, A., 1995. Contribution palynologique à l'étude des sédiments du Pléistocène supérieur de la cluse d'Annecy (Haute-Savoie). *Quaternaire*, 6 : 3-12.
- Clerc, J., 1988. Recherches pollenanalytiques sur la paléoécologie tardiglaciaire et holocène du Bas-Dauphiné. Thèse es Sciences, Université d'Aix-Marseille III, 179 p.
- Correia, M. et Péniguel, G., 1975. Étude microscopique de la matière organique. Ses applications à l'exploration pétrolière. Centre Recherche Exploitation Production, Elf Aquitaine, Pau, 9 (2) : 99-127.
- David, F., 1993a. Évolutions de la limite supérieure des arbres dans les Alpes françaises du nord depuis la fin des temps glaciaires. Thèse, Université d'Aix-Marseille III, 2 vol., 94 p., 24 diag.
- 1993b. Altitudinal variation in the response of the vegetation to Late-glacial climatic events in the northern French Alps. *New Phytologist*, 125 : 203-220.
- 1995. Vegetation dynamics in the northern French Alps. *Historical Biology*, 9 : 269-295.
- David, F., Jolly, M. C., Casanova, J., Beaulieu, J.-L. de et Farjanel, G., 1995. Assemblages polliniques holocènes de la longue carotte du lac d'Annecy. International Association Sedimentology 16th Regional Meeting, Aix-les-Bains, Abstract, p. 98
- David, F., Farjanel, G., Garbolino, E., et Jolly M.C., en prép.. The influence of the catchment basin features on the pollen records of the last glaciation termination in the northern French Alps.
- Druart, J. C., 1994. Les diatomées, indicateur biologique et leur importance au sein du programme CLIMASILAC (résultats préliminaires). Rapport interne CLIMASILAC.
- Elias, S.A. et Wilkinson, B., 1985. Lobsigensee - Lateglacial and Holocene environments of a lake on the Central Swiss Plateau. 8 fossil assemblages of coleoptera and Trichoptera at Lobsigensee. *Dissertationes Botanicae*, 87 : 127-170.
- Evin, J., Bintz, P. et Monjuvent, G., 1994. Human settlements and the last deglaciation in the French Alps. *Radiocarbon*, 36 (3) : 345-357.
- El-Moslimany, A. P., 1987. The late Pleistocene climates of the lake Zeribar region (Kurdistan, western Iran) deduced from the ecology and pollen production of non arboreal vegetation. *Vegetatio*, 72 : 131-139.
- Gaillard, M. J., 1984. Étude palynologique de l'évolution Tardi- et Postglaciaire de la végétation du Moyen Pays romand (Suisse). *Dissertationes Botanicae*, 77, 344 p.
- Heim, J., 1970. Les relations entre les spectres polliniques récents et la végétation actuelle en Europe occidentale. Thèse, Université de Louvain, 181 p.
- Higgitt, S.R., Olfield, F et Appleby, P.G, 1991. The record of land use change and soil erosion in the late Holocene sediments of the Petit Lac d'Annecy, eastern France. *The Holocene*, 1 : 14-28.
- Jacobson, J. L. et Bradshaw, R.H.W., 1981. The selection of sites for paleovegetational studies. *Quaternary Research* 16 : 80-96.
- Lotter, A. F., Eicher, U., Birks, H. J. B., Siegenthaler, U., 1992. Late-glacial climatic oscillations as recorded in Swiss lake sediments. *Journal of Quaternary Science*, 7 : 187-204.
- Nicoud, G. et Manalt, F., 1994. L'évolution du bassin versant du lac d'Annecy depuis le retrait glaciaire würmien. Rapport interne CLIMASILAC.
- Pennington, W., 1973. Absolute pollen frequencies in the sediments of lakes of different morphometry, p.79-104. In HJB Birks et R.G West, éd., *Quaternary Plant Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

- Pennington, W., 1979. The origin of pollen in lake sediments. An enclosed lake compared with receiving in flow streams. *New Phytologist*, 83 : 189-213.
- Richard, L., 1973. Carte écologique des Alpes au 1/50 000^e. Feuille d'Annecy-Ugine (XXXIV-31). Documents de Cartographie écologique, XII : 17-48., Grenoble.
- Stockmarr, J., 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et spores*, 13 (4) : 615-621.
- Wegmüller, S., 1977. Pollenanalytische Untersuchungen zur spätund postglazialen Vegetationsgeschichte der französischen Alpen (Dauphiné). Verlag Paul Haupt., Bern.