

DYNAMIQUE DES ÉCOSYSTÈMES ET IMPACT DE L'HOMME DANS LE SECTEUR DU COL DU PETIT SAINT BERNARD AU COURS DE L'HOLOCÈNE

Introduction

Le programme « Alpis Graia » s'est fixé pour ambitieux objectif de reprendre les études portant sur les établissements d'âges variés occupant le col du Petit Saint Bernard et ses accès, pour préciser leurs fonctionnalités, sauvegarder les structures archéologiques et offrir aux utilisateurs du col toutes les informations nécessaires à la compréhension de son passé. La contribution de notre groupe vise à reconstituer l'histoire des paysages qui ont précédé puis accompagné les phases d'occupation du col. Cette approche qui s'appuie sur plusieurs disciplines paléoécologiques représente un travail de longue haleine et toutes les archives ne sont pas encore étudiées. L'état des lieux présenté ici attend encore quelques compléments d'information et une confrontation plus poussée avec les résultats obtenus par les autres disciplines avant d'aboutir à une véritable archéologie du paysage.

1 Site étudiés

Le col du Petit Saint Bernard (Figure 1 et 2) est situé sur une zone de fracture délimitant deux unités géologiques structurales : le Beaufortin (terme local ayant la même signification géologique que « Briançonnais ») occidental dominé par des roches cristallines (gneiss, micachistes

et granites) et le Beaufortin oriental composé exclusivement de dépôts sédimentaires. Au niveau du col émergent des gypses et des cargneules triasiques, en contrebas, sur le versant italien affleurent des couches carbonifères. Aux alentours du col de très nombreuses petites dépressions correspondent à des entonnoirs de dissolution dans le Trias.

Le col est actuellement totalement dépourvu de boisement et il est difficile de se faire une idée de la végétation potentielle de ses versant, tant ils ont été affectés par l'action de l'homme : cultures à basse altitude, pâturages et reboisements en épicéas. La végétation potentielle serait la cembraie à rhododendron et myrtille, mais le pin cembro est absent. Sur le versant sud du col les derniers boisements en épicéas dépassent légèrement l'altitude de La Rosière (vers 1950 m), associés à des groupes de bouleaux et sont relayés par des plaques d'auniers verts qui peuvent occuper de vastes surfaces sur les versants humides.

Le versant italien, plus sec est occupé par des pelouses mais aussi des boisements en mélèzes qui peuvent dépasser l'altitude de 2200 m.

Les sédiments stratifiés que constituent les accumulations de tourbes ou les dé-

Yannick Miras
SERP, Departament Prehistoria,
Historia Antiga i Arqueologia,
Universitat de Barcelona
IMEP, UMR 6116/CNRS,
Université P. Cézanne
Laboratoire de Chrono-écologie

Laurent Millet
IMEP, UMR 6116/CNRS,
Université P. Cézanne
Laboratoire de Chrono-écologie

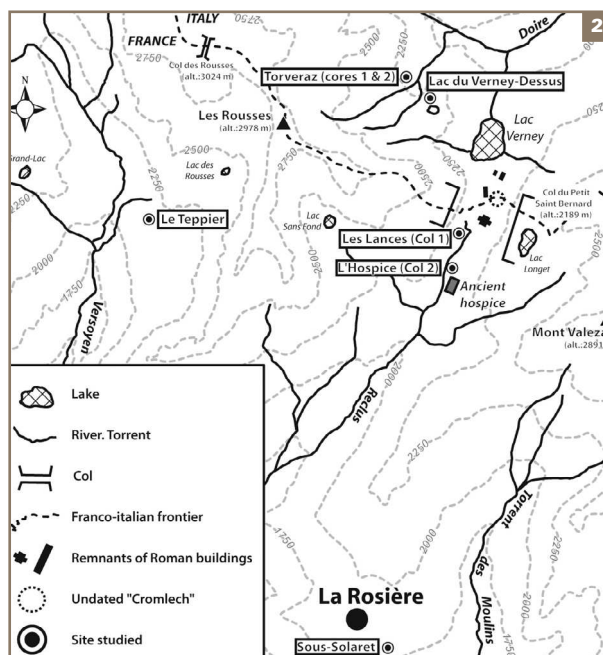
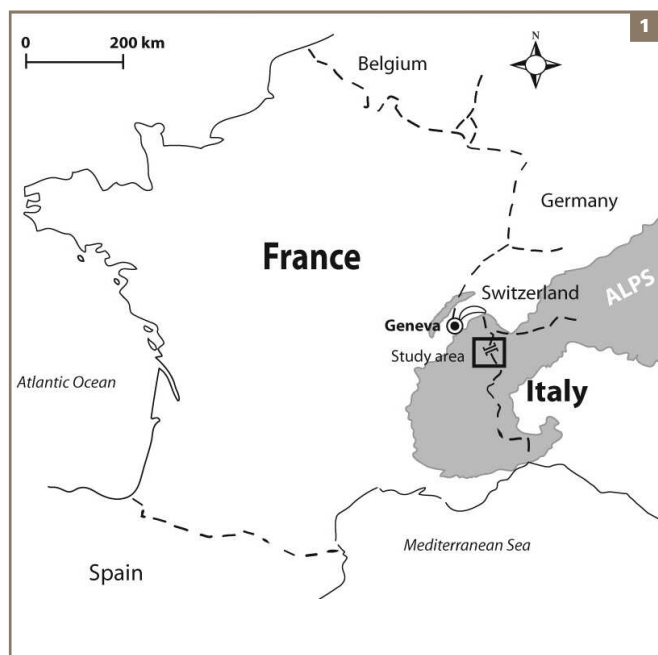
Frédéric Guiter
IMEP, UMR 6116/CNRS,
Université P. Cézanne

Philippe Ponel
IMEP, UMR 6116/CNRS,
Université P. Cézanne

Jacques-Louis de Beauviel
IMEP, UMR 6116/CNRS,
Université P. Cézanne

Thomasz Gozlar
Poznan Radiocarbon Laboratory

- 1 Localisation du Petit Saint Bernard.
- 2 Localisation des points de sondages.



pôts lacustres constituent d'excellentes archives contenant divers témoins des environnements passés. La stratégie d'étude a consisté en une exploration systématique des zones humides (lacs et tourbières) du secteur selon des cercles concentriques s'éloignant de plus en plus du col. De très nombreuses zones humides ont été prospectées sur les versants français et italiens, mais très peu comportaient un remplissage sédimentaire acceptable. Sept sites ont été retenus.

La plus proche du Petit Saint Bernard est la tourbière des Lances (2150 m) (Carotte Col-1) (Fig. 10). C'est un bas marais à linaigrettes qui se développe à la périphérie d'un petit ruisseau qui serpente immédiatement au sud du col. Celle de l'Hospice (Carotte Col-2), à la même altitude, dominée par un tapis de scirpes est établie quelques mètres au nord de l'ancien Hospice. Les zones carottées sont les plus profondes mais les remplissages, marqués par l'alternance de tourbes et de niveaux tourbo-silteux sont peu épais, de l'ordre du mètre.

Au nord et en contrebas du col, la bordure orientale du très grand lac Verney est occupée par des prairies tourbeuses et des tourbières évoquant les « pozzines » corses. L'étude d'un carottage effectué dans

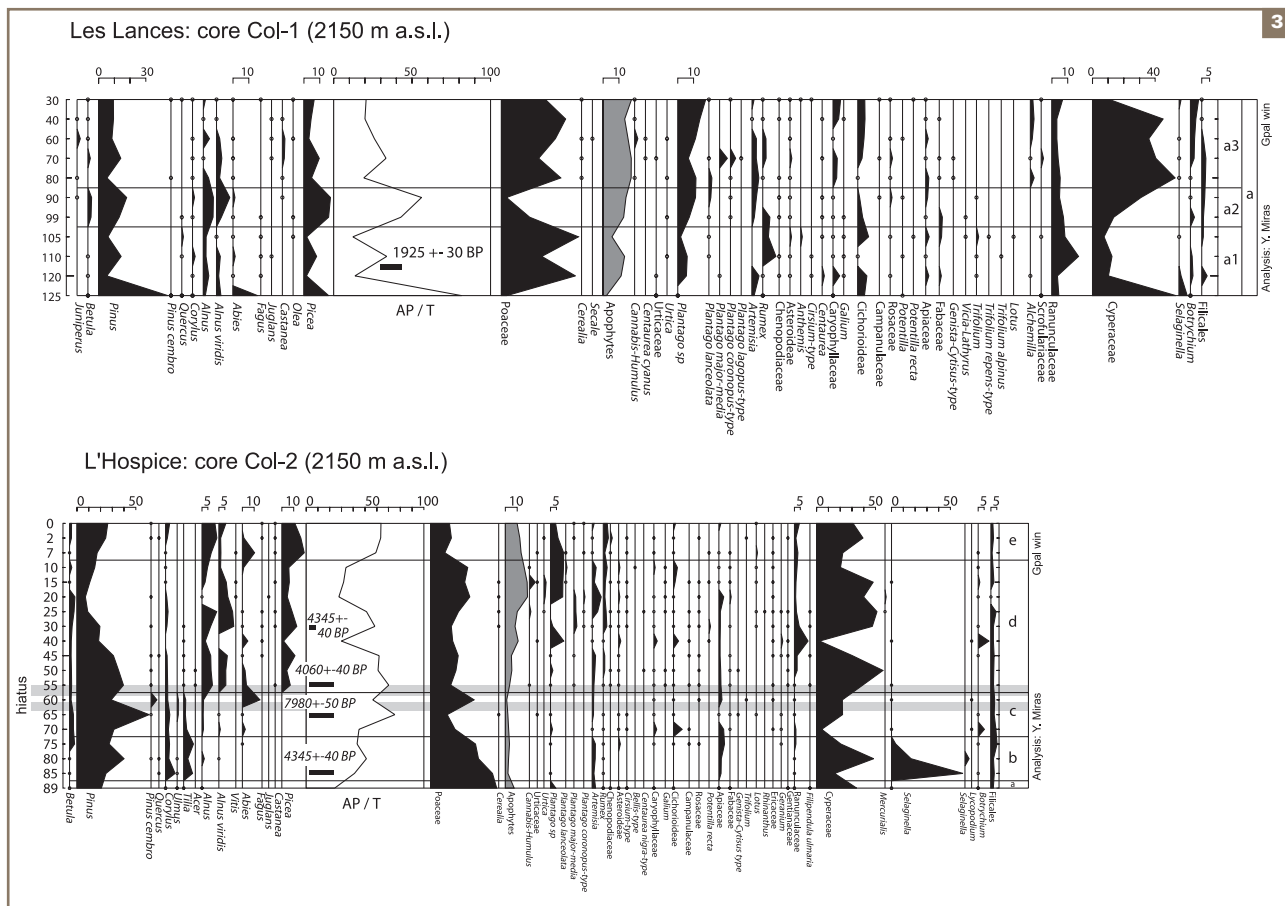
l'une d'entre elles, peu épais, ne sera pas présentée ici. De même une tentative de carottage sous lacustre dans l'ombilic du lac (17m de profondeur) n'a permis de récolter que 20 cm de vases noires graveleuses récentes, des apports grossiers empêchant la pénétration.

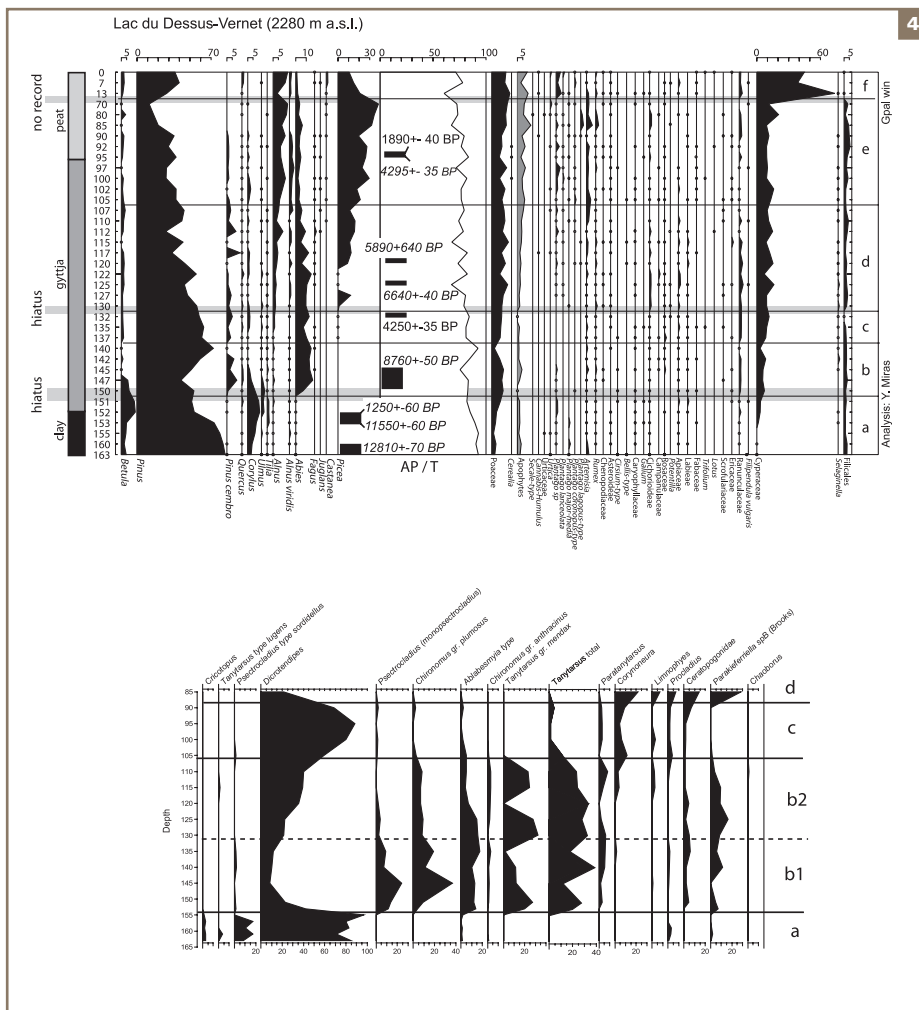
Dessus-Verney (2280m) et Torveraz (2345m) sont deux petits lacs-toubières associés à des verrous ou cordons morainiques sur le versant nord du mont des Rousses (2978 m) ces deux sites représentent les points d'étude les plus hauts. A Dessus-Verney les prélèvements ont été réalisés sur un radeau de tourbe flottante ce qui explique que rien n'ait été prélevé entre 13 et 70 cm. Plusieurs carottes ont été prélevées dans le complexe de Torvéraz car en dépit de son altitude élevée, c'est ce site qui a donné la séquence sédimentaire la plus épaisse (240 cm).

A l'opposé de Torvéraz, Sous-Solaret (1600m) correspond à une petite tourbière de pente sur un adret immédiatement au dessous du village de la Rosière. Elle est insérée dans un réseau de prairies fauchées ou pâturées et de haies où abondent les aulnes et les bouleaux.

Enfin, la tourbière du Teppier (2140) occupe un entonnoir karstique du Versoyen,

3 Diagrammes polliniques simplifiés (pourcentages) de deux tourbières du col du Petit saint Bernard Les lances (col1 et les Hospices (Col2) (altitude 2150 m)





sur le versant sud ouest du mont des Rousses. Il a été choisi en vue de confronter l'anthropisation dans un système ouvert à la circulation et dans une vallée isolée.

2 Matériel et méthodes

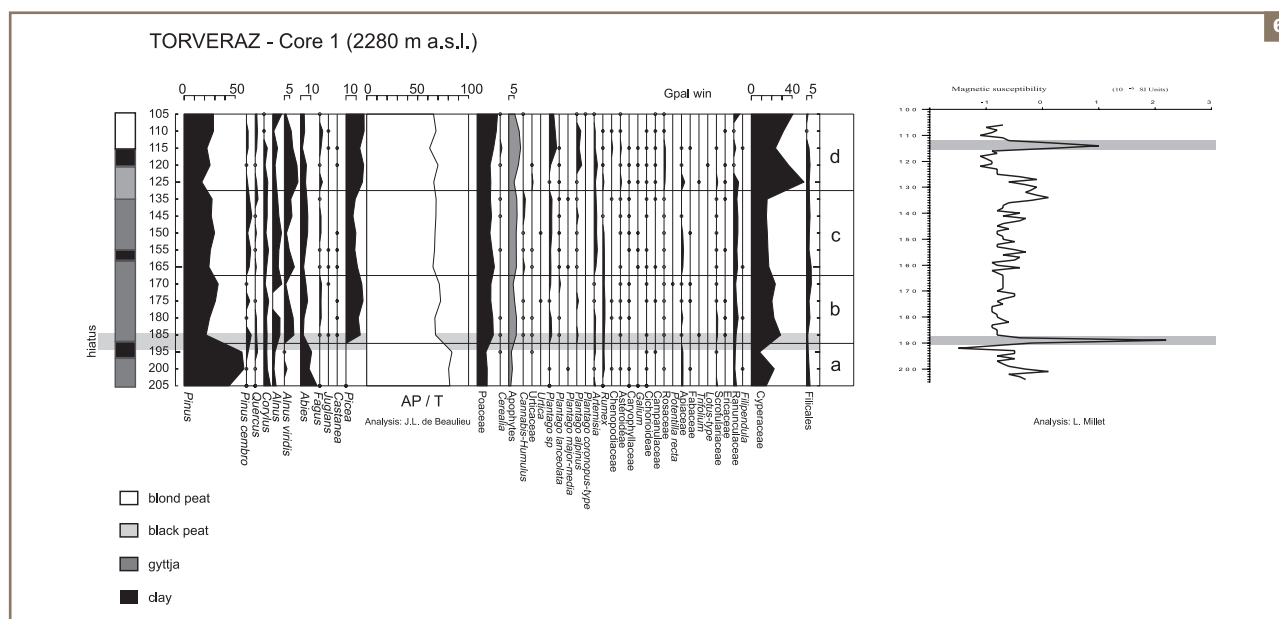
Les prélèvements de tourbe ont été récoltés par carottage (avec une sonde dite « russe » qui découpe des demi cylindres non perturbés de 1m de long par 7 cm de diamètre (Fig. 12) ou en creusant des tranchées d'où sont extraits de parallélépipèdes de sédiment : cette méthode a été pratiquée pour les 60 cm supérieurs de Torvéraz 2 (Fig. 13), la zone plus profonde a ensuite été carottée. La méthode de base pour reconstituer les paysages anciens est, l'analyse pollinique appliquée aux sept sites. Une étude portant sur les restes de coléoptères, qui demande des volumes importants de sédiment, a été appliquée au bloc de tourbe de Torvéraz. La grande précision de la détermination de ces insectes (le plus souvent au niveau de l'espèce) permet d'affiner les reconstructions paléoenvironnementales. Pour Dessus-Verney et Torvéraz 1, qui présentent des couches importantes de vases la-

custres, ont été extraits des restes de larves de Chironomides (Diptères), qui renseignent sur le fonctionnement du système lacustre. La susceptibilité magnétique a été mesurée sur Torvéraz 1.

2.1.- Analyse pollinique

Ramenées au laboratoire les carottes sont conservées en chambre froide ; des échantillons de 1 à 2 cm³ de sédiments ont été prélevés, en général tous les 5 cm sauf à la base de Dessus-Verney où la maille est plus serrée. Les échantillons de gyttja et de tourbe ont été préparés selon la méthode de Faegri et Iversen (1989). Les échantillons provenant des argiles de la base des séquences ou de niveaux très terrigènes ont été extraits par flottation sur liqueur dense (Goeury, Beaulieu, 1979). Une moyenne d'au moins 400 grains de pollen de plantes vasculaires terrestres a été comptée par niveau. Sur les diagrammes les pourcentages sont calculés sur une somme totale excluant les spores et les plantes aquatiques. La courbe mentionnée « apophytes » regroupe la somme du pollen des plantes considérées classiquement

4 Diagramme pollinique simplifié et diagramme des Chironomides du lac de Dessus-Verney (Altitude 2280 m).



tomologique est de reconstruire l'ancien environnement végétal en synergie avec l'analyse pollinique. Les insectes aquatiques d'eaux courantes peuvent fournir des informations sur la nature du cours d'eau, la vitesse du courant, la température de l'eau, alors que les insectes aquatiques liés aux eaux stagnantes peuvent indiquer la présence de telle ou telle plante aquatique, la richesse trophique des eaux ou son pH. Les insectes terricoles peuvent pour leur part suggérer une nature particulière du substrat (sable, graviers, limons...) ou un degré d'ouverture du milieu, de densité du couvert végétal. Enfin, beaucoup d'espèces sont inféodées à des conditions climatiques particulières, et peuvent servir à reconstruire les climats du passé. En pratique, les informations tirées d'un assemblage de Coléoptères fossiles suffisamment riche sont presque illimitées, en partie grâce à l'abondante bibliographie disponible pour cet ordre très étudié par les entomologistes "actualistes".

En Torvéraz 2, un bloc de sédiments tourbeux a été extrait, et trois échantillons ont été prélevés à 5-10 cm, 35-40 cm et 75-77 cm de profondeur.

En laboratoire, les échantillons pour l'analyse entomologique ont été traités selon la méthode standard (Coope, 1986) qui permet de séparer et concentrer les restes d'insectes contenus dans l'échantillon. Le sédiment est désagrégé dans l'eau, dans un grand récipient muni d'un bec verseur. L'eau chargée de particules minérales et de débris végétaux et animaux est ensuite versée progressivement sur un tamis calibré de 300 μm jusqu'à la mise en suspension de la totalité du sé-

diment. Le refus du tamis, qui contient un mélange de débris végétaux et d'insectes, est alors placé dans un autre récipient et mêlé à du pétrole désodorisé. L'excès de pétrole est récupéré, puis de l'eau est ajoutée en quantité suffisante dans le récipient pour permettre une séparation par décantation des différentes fractions. Après quelques minutes, les débris d'insectes, enduits sélectivement d'un film de pétrole, vont flotter à la surface tandis que la majorité des débris végétaux coulent au fond du récipient. La fraction flottante est récupérée dans le même tamis de 300 μm , lavée au moyen d'un détergent, puis triée sous loupe binoculaire de façon à obtenir une séparation parfaite des restes d'insectes fossiles. Les fragments d'insectes sont stockés en alcool dans des tubes de verre hermétiques. Les fragments d'insectes sont identifiés par comparaison avec une collection de référence moderne.

L'interprétation paléoécologique des assemblages d'insectes est principalement effectuée à partir des ouvrages de Koch (1989-1992).

2.4.- Susceptibilité magnétique

L'étude de la susceptibilité magnétique avait pour objectif d'identifier d'éventuelles phases d'érosion des sols périphériques comme possible conséquence des activités agro-pastorales. La susceptibilité mesure à quelle vitesse un matériel peut être démagnétisé. La susceptibilité en volume a été mesurée à l'aide d'un palpeur de surface MS2E1 (Barlington instrument) (Nowaczyk, 2001). Ce palpeur de haute sensibilité et de petite résolution spatiale est bien adapté pour des mesures

6 Diagramme pollinique simplifié de Torvéraz-1 (altitude 2344 m) ; corrélation avec la susceptibilité magnétique.

directes sur les carottes. Les mesures ont été réalisées systématiquement tous les centimètres, avec une sensibilité de 0.1×10^{-8} SI sur la carotte Torvéraz 1.

2.5.- Datations par radiocarbone et chronologie

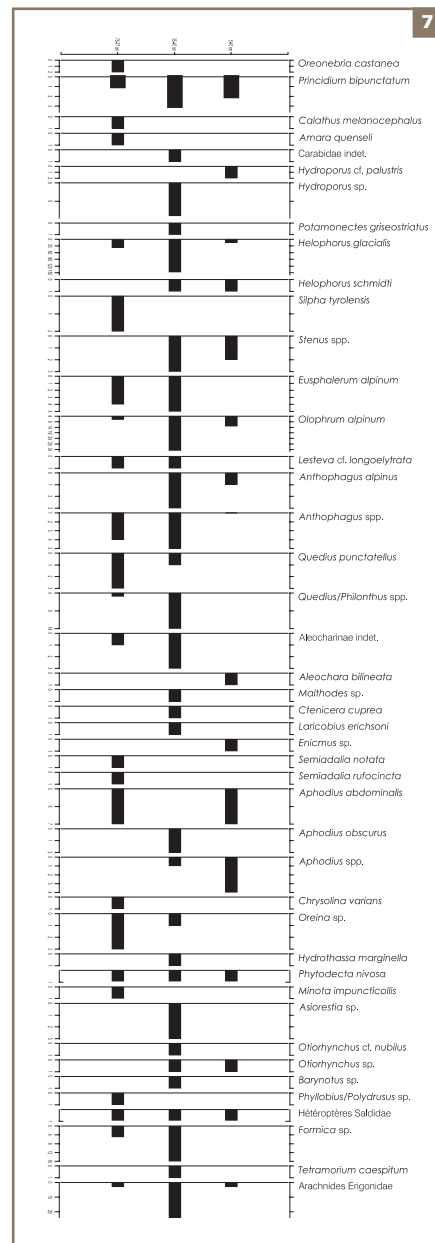
26 échantillons principalement de macrofossiles de plantes non aquatiques strictes, mais aussi quelques échantillons de tourbe brute ont été datés par spectrométrie de masse au laboratoire du radiocarbone de Poznan. Les âges, exprimés en années BP (avant le présent) on été convertis en âges calendaires à l'aide du logiciel CALIB REV 5.0.1. (Stuiver et al., 2005) qui figurent sur le tableau 1 avec leur intervalle de confiance à 2_. Malheureusement plusieurs âges sont inversés, et paraissent vieillis, inconsistants avec la

stratigraphie locale mais aussi avec la chronologie classique des successions de végétation proposée dans la région par divers auteurs (David, 1993, 1997, 2001; Brugiapaglia, 1996; Wick et al., 2003, etc) (Tableau 1). Ces problèmes de mesures peuvent être dus à un effet réservoir. De plus il existe dans la région des schistes houillers stéphano-permiens qui, fragmentés de manière infinitésimale dans nos sédiments peuvent avoir faussé les datations. Dans tous les cas, il n'est pas possible de s'appuyer sur les nombreuses datations dont nous disposons pour proposer des modèles d'âges pour chacune de nos séquences. Nous avons donc choisi de tenter d'utiliser les étapes de la dynamique régionale de végétation comme marqueurs chronologiques applicables à nos séquences. C'est pourquoi, avant de présenter nos propres résultats est brièvement évoquée cette histoire régionale.

3 Histoire régionale de la végétation holocène d'après les données de la littérature

Plusieurs travaux permettent d'étayer ce schéma régional, on trouvera une liste détaillée des publications antérieures à 1996 dans la thèse de Brugiapaglia (1996) consacrée à l'analyse pollinique de plusieurs sites du Val d'Aoste, une soixantaine de kilomètres à l'est du petit Saint Bernard (Valtournenche, Val d'Ayas, Val de Gressoney) ; dans le même secteur, on doit mentionner le mémoire de Menozzi (1997) sur le col de Joux. Le bassin de l'Arve, 25 km au nord a fourni quelques séquences datées (Beaulieu et al., 1993). Enfin au sud et à l'est le parc de la Vanoise a été étudié par David (1993, 1995, 1997, 2001, David et Barbero, 2001). Il faut cependant rappeler que les gradients climatiques extrêmement complexes des Alpes occidentales et la fragmentation des vallées interdisent d'aller trop loin dans les généralisations, d'autant que les données disponibles sont encore très dispersées.

On doit aussi se souvenir qu'en montagne le transport pollinique est accentué par les vents ascendants et qu'en conséquence ce que les modélisateurs du transport pollinique appellent « aire source » (Sugita, 1994), à savoir la surface autour du point d'étude d'où peut provenir une quantité significative de pollen, est plus grande qu'en plaine. En conséquence du pollen des étages collinéens et montagnard atteignent en permanence le Petit Saint Bernard. De nombreux travaux (Brugia-



7 Histogramme d'abondance des coléoptères dans trois niveaux de Torvéraz-2

Datations au radiocarbone et calibration des ages ; évaluation des résultats.

Site	Code Lab.	Code échantillon (cm)	Nature de l'échantillon	Années non calibrée BP	Années calibrée BP	Années calendaires BC/AD	Evaluation
	Poz-10372	Dv 94-95	Restes de plantes	1890±40	1901-1720	[49-230] AD	acceptée ¹
	Poz-9614	Dv 94-95	Tourbe	4295±35	4893-4827	2944-2878	refusée ²
Dessus	Poz-9650	Dv 118-120	Tourbe	5890±40	6798-6634	4849-4685	refusée ³
	Poz-9651	Dv 123-125	Tourbe	6640±40	7580-7458	5631-5509	refusée ³
-	Poz-9655	Dv 131-132	Tourbe	4250±35	4868-4808	2919-2702	acceptée ⁴
	Poz-9652	Dv 144-150	Tourbe	8760±50	9920-9555	7971-7606	refusée ⁵
Verney	Poz-10373	Dv 152-153	Restes de plantes	1250±60	1293-1056	894-657	refusée ⁶
	Poz-9653	Dv 153-154	Tourbe	11550±60	13558-13264	11609-11315	refusée ⁶
	Poz-9654	Dv 160-163	argile	12810±70	15440-14885	13491-12936	refusée ⁶
	Poz-9607	Tz2 19	Tourbe	930±30	925-782	[1025-1168] AD	acceptée ⁷
	Poz-9601	Tz2 65	Tourbe	2670±35	2846-2746	897-797	acceptée ⁷
Torveraz	Poz-9602	Tz2 90	Tourbe	2825±35	3005-2850	1056-901	acceptée ⁷
	Poz-9603	Tz2 135	Tourbe	3960±35	4521-4340	2572-2391	refusée ⁸
-	Poz-10374	Tz2 135	Restes de plantes	4340±35	4975-4842	3026-2893	refusée ⁹
	Poz-10375	Tz2 178	Restes de plantes	5050±40	5908-5710	3959-3761	refusée ⁹
2	Poz-9604	Tz2 179	Tourbe	5060±40	5911-5715	3962-2766	refusée ⁹
	Poz-9606	Tz2 232	Tourbe	9090±50	10303-10182	8354-8233	refusée ⁸
	Poz-5734	Tz2 250	Restes de plantes	8320±50	9467-9232	7518-7336	refusée ⁸
Lances							
(Col1)	Poz-5735	Col1 115	Restes de plantes	1925±30	1947-1817	[3-133] AD	acceptée ⁷
	Poz-5736	Col2 30	Tourbe	4370±50	5056-4839	3107-2890	refusée ⁹
Hospices	Poz-9612	Col2 55	Tourbe	4060±40	4645-4425	2696-2476	refusée ⁹
(Col2)	Poz-9613	Col2 65	Tourbe	7980±50	9000-8683	7051-6734	refusée ⁹
	Poz-5736	Col2 85	Restes de plantes	4345±40	4979-4841	3030-2892	refusée ⁹
	Poz-12267	Tp 30	Restes de plantes	3850±35	4408-4216	2459-2267	refusée ¹⁰
Teppier	Poz-12268	Tp 80	Restes de plantes	5480±35	6321-6205	4372-4256	refusée ¹⁰
	Poz-12338	Tp125	Restes de plantes	6230±40	7255-7010	5306-5061	acceptée ⁴

paglia et al.; 1998, Court Picon *et al.*, 2005; Mazier et al., in press) ont tenté de quantifier le transport du pollen depuis les étages forestiers de végétation vers les étages asylvatiques subalpins et alpins et il a été montré qu'il était impossible de reconstituer précisément la position de la limite supérieure des forêts sans l'appui de l'étude des macrorestes ou de stomates de conifères, comme l'ont bien démontré Wegmüller (1977), David (1993) et Brugiapaglia (1996). Il faut donc savoir que les assemblages polliniques de haute montagne, qui seront discutés plus loin, intègrent des taxons herbacés locaux et un flux pollinique régional dominé par les arbres qui produisent et dispersent bien de très grande quantité de pollen. En conséquence l'interprétation des données présentée ici s'appuie sur les travaux de calibrations évoqués plus haut.

3.1.- Holocène ancien.

Dès l'interstade tardiglaciaire diverses espèces de pins ont commencé à coloniser les Alpes et tiendront une place fondamentale dans la couverture forestières des Alpes centrales internes sèches, no-

tamment *Pinus cembra* (l'arolle) dans l'éta-ge subalpin, mais aussi *Pinus uncinata* (le pin à crochet), autre espèce subalpine et *Pinus sylvestris* (le pin sylvestre) ubiquiste à plus basse altitude. Ces arbres produisent et dispensent bien d'énormes quantités de pollen qui peuvent dominer dans les assemblages polliniques bien au des-sus de la limite forestière tout au long de l'Holocène. Le début de l'Holocène est caractérisé par l'expansion de *Betula* (le bouleau) dont David (1993) a bien mon-tré le rôle de front pionnier de la remon-tée forestière repoussant vers le haut les pelouses subalpines à genévriers lors du réchauffement holocène. Cette expansion est datée d'avant 9100 BP (ca [10523-10118] cal BP), à 2000-2400 m, tandis qu'à plus basse altitude *Corylus* (le noiset-tier) commence à se développer vers 9600 BP (ca [11206-10668] cal BP, David, 2001), atteignant son optimum vers 9400±150 BP (ca [11106-10254] cal BP, Col du Pré 2, Beaufortin, 1730 m a.s.l., David, 1993). A plus haute altitude, au Plan des Mains en Vanoise (2080 m) ce maximum est daté de 9100±100 BP (ca [10523-10118] cal BP, David, 1993).

- 1** cohérent: plus récent que la première occurrence de Juglans estimée à 2200 uncal. BP (Beug, 1975);
- 2** incohérent avec la date Poz-94195 qui, elle, est cohérente avec les assemblages polliniques enregistrés;
- 3** incohérent avec l'installation de Picea datée dans la région de ca 3000 uncal. BP (David, 1993; Beaulieu et al., 1993; Brugiapaglia, 1996);
- 4** cohérent avec l'arrivée de Picea (premières occurrences régulières) daté dans la région de ca 4100±200 BP (David, 1993);
- 5** incohérent avec le début du maximum d'Abies daté dans la région de 6200 uncal. BP (David, 1993);
- 6** incohérent: les assemblages polliniques sont typiques de la période atlantique;
- 7** datations isolées mais cohérentes avec les assemblages polliniques;
- 8** incohérent: datations inversées. Les premières occurrences régulières d'Abies sont datées dans la région de ca 8000 uncal. BP (David, 1993; Beaulieu et al., 1993; Brugiapaglia, 1996);
- 9** cohérent avec le début du maximum d'Abies daté de ca 6200 uncal. BP (David, 1993); incohérent avec l'arrivée de Picea (first regular occurrences) date de ca 4100±200 BP (David, 1993).

1 Le début de la courbe continue d'*Abies* avec des fréquences de l'ordre de 1 ou 2% a été considéré comme marquant l'immigration régionale de cet arbre et le seuil de 5% est considéré comme le signal de la proximité de populations de sapins, comme l'ont proposé plusieurs auteurs (Wegmüller, 1977; Ravazzi, 2002; van der Knaap et al., 2005).

8 Corrélation des zones d'assemblages polliniques locales (LPAZ) et principaux événements botaniques identifiés.

L'extension d'*Abies* (le sapin) dans les Alpes a fait l'objet de très nombreuses synthèses. On sait qu'il a existé un important refuge glaciaire de cet arbre dans le nord des Apennins (Lowe, 1992) ; la question d'éventuels refuges dans les Alpes Maritimes n'est pas résolue est toujours débattue.

Il apparaît entre 8715±75 BP (ca [9930-9534] cal BP) et 8450±30 BP (ca [9525-9438] cal BP) dans la partie centrale des Alpes française (Vanoise, David, 1997; chaîne des Hurtières, David, 2001). Des analyses polliniques dans le massif du Beaufortin – proche du Petit Saint Ber-

nard – suggèrent une immigration d'*Abies* autour de 8000 BP (7900±150 BP / ca [9126-8406] cal BP, Col du Pré, 1730 m; 7800±200 BP / ca [9135-8185] cal BP, Les Saisies, 1570 m, David, 1993). Sur le versant italien, en Val d'Aoste, des âges semblables sont obtenus au lac de Villa, 820 m par Brugiapaglia (1996) en Val d'Ayas, mais au col de Joux (1600 m), tout proche, Menozzi (1997) date l'immigration d'*Abies* de 9070 BP (ca [10500-10100] cal BP) ce qui pose problème. Enfin *Abies* arrive dans le bassin de Chamornix (vallée de l'Arve) 7500 BP (ca [8479-8153] cal BP, Beaulieu et al., 1993).

BIO-STRATIGRAPHIE	STRATIGRAPHIE POLLINIQUE								Evènements paléobotaniques majeurs	Rapport PA/T moyen	
	LPAZ / SITES										
	Tz1	Tz2	Dv	V	Ss	Tp	Col-1	Col-2			
SUBATLANTIQUE		e	f	a3 a2 a1	f	a3 a2 a1			U 6	Sont observées les valeurs min. de <i>Picea</i> (10%), <i>Pinus</i> (10%), <i>Alnus</i> (10%), <i>Corylus</i> et <i>Abies</i> (< 5%). Le pollen non-arboréen est représenté surtout par les Poaceae (ca 30%) et par les indicateurs anthropiques. Les notations régulières du type <i>Cerealia</i> pollen s'accompagnent d'une notation de <i>Fagopyrum</i> (Tp-f).	20%
	d c b	★7	★6	c				e		Le début de la courbe continue de <i>Picea</i> est associée à une réduction des taux de <i>Abies</i> (ca 10%), d'une baisse des valeurs moyennes de <i>Pinus</i> (60 à 20%) et du recul de <i>Pinus cembra</i> . Puis, les taux moyens de <i>Picea</i> sont autour de 15-20% (max. à 40% à la de l'unité).	→90%
SUBBOREAL		★4 d	e			e			U 5	Le pollen non-arboréen progresse remarquablement: Poaceae (de 15% à 30%), Rosaceae (20%), Cichorioideae (ca 5%). A partir de la seconde moitié de l'unité, d'autres indicateurs pastoraux (<i>Plantago lanceolata</i> , <i>Potentilla</i> , <i>Rumex</i> etc) et <i>Cerealia</i> sont notés régulièrement. <i>Castanea</i> et <i>Juglans</i> apparaissent.	40-50%
	H	c	d	b			d				
			★2	H	H		d		H	U 4	Les occurrences régulières de <i>Picea</i> sont observées tandis que <i>Abies</i> progresse sensiblement (20-25%). <i>Pinus</i> demeure une composante importante de l'assemblage pollinique (50-55%).
ATLANTIQUE	a								U 3	<i>Abies</i> augmente progressivement (jusqu'à 30%) alors que <i>Corylus</i> , <i>Ulmus</i> et <i>Tilia</i> décroissent. <i>Pinus</i> reste important (40-75%) tandis que <i>Pinus cembra</i> et <i>Salix</i> progressent (5-10%). Les 1 ^{ers} indicateurs anthropiques sont révélés: hausse notable des Poaceae (> 20%), notations du type pollinique <i>Cerealia</i> et de nombreuses apophytes (<i>Plantago</i> , <i>Urtica</i> , <i>Bellis</i> etc). Au sommet sont observées les 1 ^{res} notations régulières de <i>Fagus</i> et <i>Picea</i> .	70-80%
		a	b			b		c			
BOREAL									U 2	Cette unité est définie par la croissance progressive du rapport PA/T. <i>Pinus</i> est la principale composante de l'assemblage pollinique (taux max. à 80%). Sont aussi présents <i>Corylus</i> (taux max. à 10%), <i>Betula</i> (< 10%), <i>Ulmus</i> et <i>Tilia</i> (< 5%). Les Poaceae régressent à 40%. La fin de l'unité est marquée par les 1 ^{ères} occurrences régulières d' <i>Abies</i> , de <i>Pinus cembra</i> et d' <i>Alnus viridis</i> . Localement, les valeurs de <i>Selaginella</i> atteignent 60%.	85-90%
			a					b			
PREBOREAL								a	U 1	Unité dominée par le pollen non-arboréen (surtout Poaceae: 60%). Le pollen arboréen inclue principalement <i>Pinus</i> (25%), <i>Corylus</i> , <i>Ulmus</i> , <i>Tilia</i> , <i>Betula</i> et <i>Alnus sp</i> (notations ponctuelles).	ca 30%

■ Absence d'enregistrement sédimentaire

H Hiatus

★ Datations radiocarbone : 1, 6230±40 BP; 2, 4250±35 BP, 3, 2825±35 BP; 4, 2670±35 BP; 5, 1925±30 BP; 6, 1890±40 BP; 7, 930±30 BP

3.2. – Holocène Moyen

Pendant l'Holocène Moyen, *Abies* atteint son optimum, daté de 6200±100 BP (ca [7320-6845] cal BP, aux Saisies (Beaufortin, 1570 m.) et de 6200±70 BP (ca [7266-6931] cal BP sur la chaîne des Hurtières à 1800 m, David, 1993 and 2001). Cette expansion est concomitante de la régression de *Betula* et de la première apparition de *Fagus* (le hêtre), qui ne jouera jamais aucun rôle dans les Alpes internes sèches.

3.3. – Holocène récent

Tous les auteurs s'accordent sur l'existence de refuges würmiens de *Picea* (l'épicéa) dans les Alpes orientales et pour une migration progressive de cette espèce d'est en ouest le long de la chaîne depuis le Tardiglaciaire (Markgraf, 1970; Brugiapaglia, 1996; Ravazzi, 2002; van der Knaap et al., 2005). Dans notre secteur des Alpes occidentales, les premiers grains isolés de pollen de *Picea* sont datés entre 4715±70 BP (ca [5586-5317] cal BP) dans la chaîne des Hurtières (à 1800 m, David, 2001) et 4600±250 BP (ca [5773-4783] cal BP) en Haute-Maurienne (à 2190 m, David, 1993). Cependant ces pollens peuvent correspondre à des transports à longue distance car des taux polliniques d'au moins 2-4% peuvent seuls garantir la présence locale de l'arbre (Ravazzi, 2002). Dans ce cas, la première approche de *Picea* dans les Alpes françaises du nord est datée entre 4250±35 BP (ca [4868-4808] cal BP, premières occurrences régulières) et 4100±200 BP (ca [5071-4078] cal BP, Beaufortin, David, 1993).

Au lac du Clou (un des sites de référence de haute Tarentaise les plus proches du Petit Saint Bernard seulement 13 km au sud, 2370 m., David, 1993), le début de l'expansion de l'épicéa est daté de 3260±40 BP (ca [3574-3390] cal BP). Beaulieu et al. (1993) proposent aussi pour la haute Arve une immigration aux alentours de 3000 BP (ca [3400-2921] cal BP).

En Val d'Aoste, l'aridité de cette vallée interne semble avoir bloqué l'expansion de cet arbre dans la plupart des sites étudiés par Brugiapaglia (1996) où il ne connaîtrait qu'un succès très tardif. L'exception est le col de Joux (Menozzi, 1997) où une forte expansion au détriment d'*Abies* est datée de 3525 BP.

Ces éléments d'information sur quelques essences forestières majeures contribueront à l'établissement d'un modèle d'âge. On notera aussi comme marqueur chronologique les premiers pollens

de *Juglans* (le noyer), témoins d'une mise en culture contemporaine de l'époque romaine (Beug, 1975).

4 Résultats et interprétations

4.1. – stratigraphie pollinique.

Seul 5 des profils polliniques sont présentés ici, les autres seront publiés dans une revue spécialisée. Les diagrammes polliniques ont été divisés en zones locales d'assemblages polliniques (LPZA) définies par les variations des fréquences des principaux taxons polliniques (figures 3, 4, 5, 6). Le tableau 2 met en corrélation les différentes LPZA de chacun des diagrammes et aboutit à la définition de six unités (U1 à U6) régionales successives qui fournissent la base des reconstructions paysagères présentées plus loin.

4.2. – Etude des Chironomides

Les résultats de l'analyse de la carotte Dessus-Verney sont présentes sur un diagramme de pourcentage dans la figure 4. Quinze taxons ont été identifiés pour l'ensemble de 32 échantillons. L'essentiel de la séquence est dominé par *Dicrotendipes*, avec une abondance relative de 50 %. Quatre zones d'assemblages (CAZ DV) ont été identifiées par la classification hiérarchique.

CAZ DV-a La faible richesse taxonomique (= 6 taxons) indique un biotope peu dissipé. Cette zone est dominée par *Dicrotendipes* dont l'abondance est toujours supérieure à 70 %. On rencontre aussi une faible fréquence *Psectrocladius sordidellus*-type (10 %) et *Cricotopus/Orthocladius*. Ces trois taxons sont communs dans les biotopes de macrophytes aquatiques en eaux profondes ou dans les zones lacustres littorales (Epler 1987). L'assemblage évoque donc un développement important de végétation aquatique dans un petit lac peu profond. *Tanytarsus lugens*-type est considéré comme une indication de froid (Hofmann 1986). A 161 cm, un léger pic de cette espèce pourrait signaler un bref épisode de refroidissement. Néanmoins cet événement devra être validé par un échantillonnage en haute résolution.

CAZ DV-b

Un accroissement de la richesse taxonomique (=10) implique une diversification du milieu. En dépit d'un certain déclin, *Dicrotendipes* maintient une forte abondance relative (moyenne = 39 %) et demeure un des taxons dominants.

TORVERAZ TZ2

	75-77 cm 0.7kg	35-40 cm 12kg	5-10 cm 0.8kg
COLEOPTERES			
Carabidae			
<i>Oreonebria</i> cf. <i>castanea</i> (Bon.)	2		
<i>Princidium bipunctatum</i> (L.)	1	3	2
<i>Calathus melanocephalus</i> (L.)	1		
<i>Amara quenseli</i> (Schsnh.)	1		
Carabidae indet.		1	
Dytiscidae			
<i>Hydroporus</i> cf. <i>palustris</i> (L.)			2
<i>Hydroporus</i> sp.		9	
<i>Potamonectes griseostriatus</i> (Geer)		1	
Hydrophilidae			
<i>Helophorus glacialis</i> (Villa)	38	147	15
<i>Helophorus schmidti</i> (Villa)		1	1
Silphidae			
<i>Silphatryolensis</i> (Laich.)	2		
Staphylinidae			
<i>Stenus</i> spp.		3	2
<i>Eusphaderum alpinum</i> (Heer)	4	5	
<i>Olophrum alpinum</i> (Heer)	7	35	13
<i>Lesteva</i> cf. <i>longoelytrata</i> (Goeze)	1	1	
<i>Anthophagus alpinus</i> (Payk.) (m%es)		3	1
<i>Anthophagus</i> spp.	4	5	1
<i>Quedius punctatellus</i> (Heer)	3	1	
<i>Quedius/Philonthus</i> spp.	5	14	4
Aleocharinae indet.	1	3	
<i>Aleochara bilineata</i> (Gyll.)			1
Malachiidae			
<i>Malthodes</i> sp.		1	
Elateridae			
<i>Ctenicera cuprea</i> (F.)		1	
Derodontidae			
<i>Laricobius erichsonii</i> Rosh.		1	
Lathridiidae			
<i>Enicmus</i> sp.			1
Coccinellidae			
<i>Semiadilia rotata</i> (Laich.)	1		
<i>Semiadilia rufocincta</i> (Muls.)	1		
Scarabaeidae			
<i>Aphodius abdominalis</i> (Bon.) (= <i>mixtus</i> Villa)	7	5	7
<i>Aphodius obscurus</i> (F.)		2	
<i>Aphodius</i> spp.		1	4
Chrysomelidae			
<i>Chrysolina varians</i> (Schall.)	1		
<i>Oreina</i> sp.	3	1	
<i>Hydrothassa marginella</i> (L.)		1	
<i>Phytodecta rivosa</i> (Suffr.)	1	1	1
<i>Minota impuncticollis</i> (All.)	1		
<i>Asioestia</i> sp.		3	
Curculionidae			
<i>Otiorhynchus</i> cf. <i>nubilus</i> (Boh.)		1	
<i>Otiorhynchus</i> sp.		1	1
<i>Barynotus</i> sp.		1	
<i>Phyllobius/Polydrusus</i> sp.	1		
HETEROPTERES			
Saldidae			
	1	1	1
HYMENOPTERES			
Formicidae			
<i>Formica</i> sp.	5	16	
<i>Tetramorium caespitum</i> (L.)		1	
ARACHNIDES			
Erigonidae			
	3	24	3



Cette zone est aussi dominée par de nouveaux taxons : *Chironomus* gr. *Plumosus* (jusqu'à 37 %) *Monopsetrocladius* (jusqu'à 24 %), *Tanytarsus mendax*-type (jusqu'à 34 %) et un autre *Tanytarsus* (jusqu'à 35 %). Il y a aussi un accroissement de l'abondance de *Ablabesmya* (jusqu'à 18 %) et *Parakiefferiella* sp. B (jusqu'à 17 %). Deux sous biozones sont identifiées.

Dans CAZ Dv-b1, un changement sédimantaire est suggéré par l'abondance relative de *Chironomus plumosus* gr., *Monopsetrocladius*, qui préfèrent les sédiments boueux. La décroissance de l'abondance relative de *Dicrotendipes* n'exprime pas une régression de ce genre mais peut être expliqué par un plus fort influx des autres Chironomides comme le montre l'accroissement des concentrations en capsule.

Dans CAZ Dv-b, la surface couverte par les macrotypes est probablement restée stable tandis que se sont développées des substrats boueux qui permettent la diversification de la faune. Cette hypothèse est corroborée par la trouvaille de plusieurs mandibules de *Chaobonus* à 151 cm et 147,5 cm, ce qui suggère un niveau de l'eau légèrement plus haut ; la ceinture des macrophytes aquatiques était restreinte à la zone littorale tandis que les sédiments boueux se sont développés dans la zone plus profonde. En dépit de l'accroissement du niveau de l'eau, le lac restait forcément petit et peu profond.

Les deux pics de *Tanytarsus lygens*-type à 147,5 cm (=4 %) et à 137,5 cm (=14 %) pourraient indiquer deux brefs épisodes froids.

CAZ Dv-c

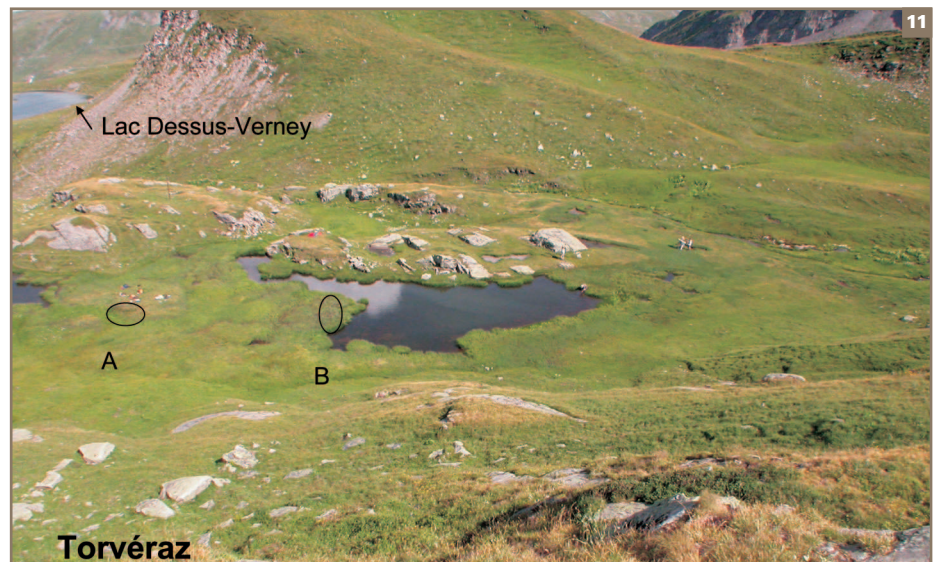
Cette zone est caractérisée par la très forte dominance de *Dicrotendipes* (=80 %) et une chute de la richesse taxonomique (=7%) qui suggère un abaissement du niveau lacustre et un envahissement par la végétation aquatique, à 100 cm et à 102,5 cm *Lymnophytes* et *Corynoneura* sont plus abondants. Le premier est un taxon terrestre rencontré de temps en temps par les biotopes aquatiques et *Corynoneura* inclut des espèces vivant dans les eaux courantes (Klink et Muller-Pillot 2003). Ces apparitions doivent signaler un accroissement d'apports alloctones dans le lac. Deux coups de froid à 22,5 et 100 cm sont suggérés par *Tanytarsus lugens* type.

CAZ Dv-d

Cette zone représentée par un seul échantillon difère totalement des précédentes. *Dicrotendipes* (25 %) est remplacée par *Lymnophytes* (8 %) *Parakiefferiella* gr. 13 (33 %) et *Coyononeura* (25 %). Cette tendance signale un fort apport de matériel allochtone dans une étape du comblement du lac qui précède l'installation de la tourbière, où plus aucune capsule de Chironomide n'est trouvée.

4.3. Etude des coléoptères

Au total, 45 taxons d'insectes appartenant à 4 ordres différents ont été identifiés, les Coléoptères dominant de très loin ces assemblages avec 40 taxons. Parmi les autres groupes, des Héteroptyères, des Hyménoptères (Formicidae) et des Arachnides ont été également notés.



Les résultats figurent sous la forme d'un tableau (Fig. 9), dans lequel le nombre minimum d'individus de chaque taxon est noté pour chaque échantillon, et sous forme graphique (Fig. 7).

L'analyse de la Fig. 6 montre une grande stabilité des assemblages d'insectes: la composition des assemblages n'évolue pas de manière sensible et il est très probable, par conséquent, que ni le climat ni l'environnement n'ont varié sensiblement au cours de la période correspondant au dépôt des 77 cm supérieurs de la séquence tourbeuse. L'hypothèse de changements paléoenvironnementaux ponctuels ne peut toutefois pas être écartée en raison des lacunes importantes dans l'enregistrement.

Les Coléoptères alpins

Il s'agit d'espèces qui sont propres à l'étage alpin, associées aux pelouses et aux milieux très ouverts des hautes altitudes: *Oreonebria castanea*, *Princidium bipunctatum*, *Calathus merlanocephalus*, *Amara quen-seli*, *Potamonectes griseostriatus*, *Helophorus glacialis*, *Olophrum alpinum*, *Semiadalia rufocincta*, *Aphodius abdominalis*, *Aphodius obscurus*, *Phytodecta nivosa*, sont toutes indicatrices d'un environnement très ouvert. La faune "alpine" est dominée par un Coléoptère Hydrophilidae très sténotherme, *Helophorus glacialis*. Cet insecte aquatique boréo-alpin (Angus, 1973) présente la particularité de vivre à l'état adulte dans l'eau des dépressions de fonte de névés mais aussi dans les dépôts organiques noirâtres imbibés d'eau glacée autour des névés. Ce Coléoptère ne peut donc boucler son cycle biologique qu'en présence de névés persistant tard pendant l'été, conditions réalisées au niveau de la mer dans le nord de la Scandinavie et au

dessus de 2000 m dans les régions méditerranéennes. Il se localise à haute altitude dans le sud de son aire actuelle de répartition (Angus, 1992), et bien au dessus de la "timber-line". Cette espèce peut se trouver en quantités énormes (plusieurs milliers d'individus au mètre carré) dans des zones où l'eau n'est que très exceptionnellement présente à l'état libre (altitude supérieure à 2500 m, versant nord). La présence de cette espèce suggère donc que les températures moyennes de juillet ne dépassaient pas 10°C, dans un environnement impropre à la croissance des arbres. Au total, au moins 200 individus d'*Helophorus glacialis* ont été identifiés dans les trois échantillons de la séquence, ce qui suggère une persistance de conditions climatiques et environnementales proches de celles qui règnent actuellement sur le site étudié.

Princidium bipunctatum et *Olophrum alpinum* présentent une écologie assez semblable puisqu'on les rencontre le plus souvent autour des neiges fondantes. L'aquatique *Potamonectes griseostriatus* est lié aux mares froides de haute altitude.

Le Scarabéide *Aphodius abdominalis* est aussi bien représentée dans la séquence sédimentaire. Cette espèce alticole appartenant à un groupe d'espèces coprophages présente la particularité exceptionnelle de n'être pas un coprophage exclusif contrairement aux autres *Aphodius*. Elle se développe en fait principalement dans la matière végétale en décomposition accumulée au niveau du sol dans les pelouses de haute altitude; accessoirement on peut le trouver aussi dans les excréments de divers herbivores (Lumaret, 1990). Sa bonne représentation dans les sédiments s'explique par une particularité éthologique

11 Site de Torvéraz et points de sondages ; en contrebas on peut voir les lacs dessus-Verney

signalée par Lumaret et Stiernet (1989) puis par Ponel et al. (1995) : localement abondante dans les combes humides pendant sa brève période d'apparition, cette espèce vole facilement et est très attirée par les surfaces brillantes et réfléchissantes comme les plaques de neige. Ces névés fonctionnent alors comme des pièges: arrivés en vol au dessus de la neige, les *Aphodius* (comme d'ailleurs bien d'autres insectes), pris dans la masse descendante d'air froid, se posent sur le névé. Progressivement paralysés, beaucoup d'insectes finissent par mourir sur la neige, puis, entraînés par l'eau de fonte des névés, ils aboutissent dans les dépressions lacustres où ils se déposent.

Les Coléoptères associés aux plantes herbacées

La coccinelle *Semiadalia rufocincta* est également propre aux prairies alpines, cependant sa biologie exacte semble peu connue, il s'agit probablement d'une espèce aphidiphage. La chrysomèle *Phytodecta nivosa* est probablement associée aux saules nains. Enfin, *Hydrothassa marginella* est un phytophage propre aux lieux humides, souvent observée sur les *Caltha* ou les *Ranunculus* hygrophiles. Les abords du site où les tourbes échantillonnées se sont déposées au cours de l'Holocène étaient donc probablement peuplés par ces Renonculacées.

Les Coléoptères associés aux arbres

Ils sont très mal représentés, ce qui n'est pas surprenant compte tenu de la sur-représentation des espèces des pelouses de haute altitude. Un seul individu de *Laricobius erichsonii* a été identifié. Il s'agit d'un Coléoptère prédateur qui se nourrit des pucerons inféodés à *Larix*. Dans le contexte de cette séquence il est très probable que ce spécimen a été transporté par des vents ascendants depuis des zones forestières de plus basse altitude.

La présence de Coléoptères "froids", et particulièrement les énormes effectifs de *Helophorus glacialis*, montre que la séquence sédimentaire analysée s'est déposée dans un environnement de type pelouse alpine, caractérisée par la présence de névés tard en été, et que les températures moyennes estivales ne dépassaient pas 10°C. Il s'agit de conditions très comparables à celles qui règnent actuellement sur le site.

5 Discussion

5.1.- Evolution paléoécologique dans le secteur du Petit Saint Bernard

Les premières informations dont nous disposons remontent à la limite Préboréal/Boréal. La végétation locale était en-

core dominée par des pelouses à Poaceae, *Artemisia* et Plantaginaceae évoquant un paysage de pelouses subalpines (U1, Figure 4) et le PSB est alors très probablement au dessus de la limite forestière en dépit des pourcentages polliniques relativement élevés des pins (en moyenne 25 % en U1). En réponse au réchauffement holocène le noisetier commence à se développer à plus basse altitude tandis qu'une ceinture de bouleaux approche l'altitude de 2000-2400 m, si l'on en croit le modèle proposé par David (1993) pour la Tarentaise ou Brugiapaglia (1996) pour le Val d'Aoste. (U1/U2, fig 2 et 4).

Les faibles fréquences polliniques de cet arbre peuvent être expliquées par les taux



très élevés de pins (jusqu'à 80 %) qui est probablement présent en contrebas du site mais certainement absent ou représenté par de rares individus au regard de l'absence de macrorestes dans nos séquences. Entre approximativement 10 300 cal BP et 8 700 cal BP qui correspond aux premières occurrences régulières de pollen de sapin dans les Alpes françaises du Nord (David 1993, 2001), nos séquences sont l'écho du développement de feuillus mésophiles dans les vallées, tilleuls et ormes alors que le pollen de chêne est plus rare (U2). Les pourcentages atteints par le tilleul dans LPAZ col2-b (autour de 5 %) suggère qu'une chênaie mixte riche en tilleul a pu pénétrer jusque dans l'actuel étage montagnard au début de l'optimum climatique. David (1993) a découvert des fruits de tilleuls à la même époque jusqu'à 1660 m d'altitude en Maurienne.

Pendant la période Boréale (161 cm, CAZ Dv a) un bref refroidissement est suggéré par les Chironomides.

Holocène moyen (LPAZ U3 Ca2 Dv-b)

Comme ailleurs dans les Alpes la transition boréal/atlantique représente une étape de grand changement forestiers : elle est caractérisée par les premières présences



régulières de sapin (U2/U3, Figures 2, 4,5).

L'expansion des sapins commence vers 8700cal BP pour atteindre son maximum autour de 7100-7000 cal BP. Au PSB le voisinage de forêts de sapins à plus basse altitude est attestée par des taux polliniques montant jusqu'à 30 % (U3).

En Haute Maurienne des études anthracologiques (Carcaillet et al. 1998) ont reconstruit une limite supérieure des arbres au dessus de 2500 m. les données de Talon (ce volume) confirment localement que *Pinus cembra* (l'arolle), dont on n'a pratiquement plus de traces aujourd'hui a pu atteindre cette altitude. On doit aussi noter la présence de stomates de pins à des altitudes supérieures à 2000 m vers 7800 cal BP, aussi bien dans les sites français (David 19878) que dans le Val d'Aoste (Brugiapaglia 1996) où des macrorestes de pin cembro ont été trouvés jusqu'à 2200 m.

L'expansion du sapin est classiquement corrélée avec un accroissement des précipitations. L'enregistrement des Chironomides à Dessus-Verney y suggère un niveau lacustre élevé.

Les assemblages de Chironomides observés en CAZ Dv-b1 indiqueraient deux brefs évènements froids durant cette période.

Holocène final (LPAZ U4 à U6 ; CAZ Dv-b2/c/d)

Dans le secteur du PSP comme généralement dans les Alpes, l'Holocène tardif est caractérisé par l'immigration de l'épicéa (U4 : premières apparitions ré-

gulières d'épicéa) selon un modèle compliqué dans les Alpes françaises puisqu'il n'a gagné certains secteurs comme le Briançonnais qu'à la fin du Subboréal (suggérant des migrations assez synchrones selon les massifs).

A Dessus-Verney l'apparition de l'épicéa est synchrones avec un changement significatif des assemblages de chironomides (transition CAZ Dv=b/CAZDv-b2 à 131 cm, figure 3) qui a été considéré comme signalant un abaissement du niveau du lac et pourrait donc correspondre à des conditions plus sèches mais peut-être aussi à des changements dans le bassin versant du lac dus à l'immigration de l'épicéa et à l'action de l'homme, comme l'ont suggéré Heiri et Lotter (2003) dans le cas du Sagistalsee (1935 m) dans les Alpes suisses (Absorption d'eau par les arbres)

En effet, ici aussi l'arrivée, de l'épicéa est corrélée avec un accroissement des pollens indicateurs de présences humaines. Après l'apparition de la courbe continue de l'épicéa ses fréquences déclinent fortement (LPAZ Dv-d : de 10 % à de faibles occurrences) (fig 2) en même temps que les taxons rudéraux deviennent plus abondants (LPAZ Dv-d, Tp-d/e, Tze-b ; figure 3) : *Plantago sp*, *Plantago lanceolata*, *Artemisia*, *Rumex*, *Cirsium*, *Anthemis*, *Spergularia* and *Urtica* . Toutes ces évidences militent pour corréliser une phase majeure de déforestation avec l'exploitation plus intense du domaine supra forestier.

5.2 Information sur l'action de l'homme dans le secteur du Petit Saint Bernard

5.2.1 Evidences polliniques de l'action des populations néolithiques dans les Alpes françaises du Nord (U3/LPAZ : T22-a/col2-c et Tpa).

Les premières occurrences des pollens de céréales et de *Centaurea cyanus*, qui sont de bons indicateurs de culture, sont synchrones avec les signaux polliniques de faible ouverture forestière (fig 4) ; de plus ils sont associés avec plusieurs taxons typiques de sites pâturés et piétinés (*Plantago*, *Rumex*, *Urticaceae*, *Artemisia*, *Cirsium*, *Chenopodiaceae*, *Caryophyllaceae*) même si des basses fréquences de taxons bien dispersés et appartenant à la flore alpine naturelle comme *Artemisia* et les chénopodiacées doivent être interprétées avec précaution. De fait elles pourraient refléter un signal régional plutôt que local (Mazier et al., sous presse).

L'interprétation des premières présences agropastorales est handicapée par les inconsistances chronologiques évoquées plus haut (la date radiocarbone de 8320±50 BP obtenue en Torvéraz 2 n'est pas acceptable). Cependant le premier événement associé à l'homme est observé avant le maximum du sapin daté de 6250±40 BP (ca [5306-5061] cal BC, Teppier). Cette probable occupation néolithique ancien peut être comparée à celles qui ont été décrites dans la vallée du Champsaur (lac du Lauzon, 2150m : Court-Picon 2003, lac du Laux : Pothin, dans Beaulieu et al., 2003). antérieurement dans la même région Wegmüller (1977) suggère un possible impact humain autour de 5700-5300 cal BP.

Dans la vallée du Buech, Argant (2005) signale une très précoce occupation humaine vers 5450cal BC (un autre lac de Lauzon, 1980 m.)

L'âge du bronze tardif et les temps romains : deux impulsions à l'usage des terres (U5: LPAZ: Tp-d/e, Tz2-b/d, Dv-d/e, Col2-d, Col1-a1).

Au PSB, après une possible apparition d'une agriculture discrète au début de l'expansion de l'épicéa, le Bronze tardif semble correspondre à un seuil dans l'histoire de l'occupation du territoire. De tels résultats ont été obtenus dans toutes les montagnes françaises (Gauthier, 2001; Miras et al., 2004a). Même si la chronologie n'est pas totalement certaine, à partir de 2825±30 BP (ca [1056-901] cal BC, LPAZ: Tz-2-d), la chute du rapport AP/+ atteste d'une ouverture des forêts de sapins et épicéa dans les étages montagnards et subalpins. De plus l'expansion des poacées dans l'influx régional peut être interprété comme une indication de forte dé-

forestation à plus basse altitude (Bröstrom et al. 1998). Tous les indicateurs anthropogéniques montrent une tendance à l'accroissement : toutes les altitudes sont exploitées ; localement le groupe *Plantago-Urtica* est associés aux surfaces pâturées (Court-Picon et al . 2005) certainement autour de nos sites et les occurrences de céréales sont plus fréquentes à partir de 2670+55 BP (ca [897-797] cal BC), vers la transition Âge du Bronze/Hallstatt (premières céréales d'été ?).

Un second seuil d'anthropisation peut être noté autour des premières occurrences du noyer qui sont classiquement datées des environs de 2200 BP BP (ca [417 cal BC-25 cal AD], Beug, 1975), puis des premières présences de pollen de châtaigner.

Cet accroissement dans la pression humaine est détectée dans tous les sites étudiés quelle que soit leur élévation (LPAZ: Tz2-d, Dv-e; Figure 3 et 4). Il est aussi suggéré par des changements dans les assemblages de chironomides dans l'enregistrement de Dessus-Verney (début de LPAZ Dv-e; transition Caz dv-b2/Caz dv-c) même si les causes exactes des changements limnologiques sont encore à préciser.

La grande quantité de nitrophiles (*Urticaceae*) et de taxons rudéraux (notamment les *Plantaginaceae*) enregistrées à Col-1 (LPAZ : col1-a1, fig 2) autour de 1925+30 BP (ca [3-133] cal AD) révèle l'intensification de la transhumance durant la période romaine. De plus les très fortes valeurs de *Rumex* (autour de 10 %) sont usuellement associées à cette altitude avec des végétations fortement pâturées (Court-Picon et al. 2005) et même des enclos pastoraux. Plus précisément c'est à cette période et un peu plus tard (LPAZ col 2-d, Tz2-d) qu'apparaissent pour la première fois quelques indicateurs polliniques nouveaux (*Trifolium pratense*, *Lotus*, *Rhinanthus*) qui peuvent suggérer une gestion plus organisée des pâturages comme cela s'est observé dans le Massif Central français (Miras 2004). Des évidences fortes d'agriculture apparaissent alors depuis cette période.

Enfin il reste difficile de conclure sur la présence de champs cultivés proches du col ; par exemple, dans les Alpes du Sud, Court-Picon (2005) a montré que de grains de pollen provenant de champs de céréales sont sporadiquement identifiés dans tous les types de végétation. Cela avait été aussi démontré par Brugiapaglia (1996) dans le Val d'Aoste et c'est valable dans d'autres montagnes françaises (Massif Central français : Miras 2004, Pays

Basque : Mazier et al., sous presse). Néanmoins les occurrences régulières de céréales enregistrées dans tous nos sites quelles que soient leurs altitudes (même à Dessus-Verney à 1890 ± 40 BP – ca [49-230] cal AD, Figure 3) devraient permettre de conclure à un relatif voisinage des champs de céréales. C'est pourquoi nous considérons que les temps romains et plus particulièrement l'intervalle 1^{ier}-3^{ème} siècles AD doit correspondre à un changement notable des pratiques agricoles autour du PSB, même si la présence d'un large cortège d'apophytes (indicateurs de piétinement et de pâturages, taxons nithrophiles) suggère que le pastoralisme jouait un rôle prédominant.

5.2.2. Enregistrement des activités humaines depuis le Moyen Âge (U5/U6: Dv-d/e, Tz1-b-d, Tz2-d/e, Col1-a2/3, Ss-a)

Les assemblages polliniques enregistrés à Sous-Solaret (1850 m) évoquent à coup sûr la présence locale de champs de céréales (pourcentages jusqu'à 5%, présence de seigle) (LPAZ: Ss-a2), ce qui n'est pas surprenant compte tenu de la proximité du hameau de Solaret. Au Moyen Âge (mais des datations ¹⁴C manquent encore) commence une phase d'ouverture plus prononcée des versants du col qui sont partagés entre pâturages et champs permanents et semi permanents, associés aux plus basses altitudes à la culture du noyer et (sur sols acides) du châtaigner. Cet accroissement des impacts peut être à l'origine de phénomènes érosifs expliquant la phase détritique signalée par la susceptibilité magnétique (Tz1, niveau 115 cm, Figure 5). Ce troisième seuil dans l'action humaine s'achève juste avant 930 ± 30 BP (ca [1025-1168] cal AD, LPAZ: Tz-2-d), c'est-à-dire au plus tard à la fin du 12^{ème} siècle. Il y aurait donc un décalage avec d'autres montagnes françaises où l'optimum de l'anthropisation se situe entre le 10^{ème} et le 13^{ème} siècles AD (Pyrénées: Galop, 1998; Jura: Gauthier, 2001; Massif Central: Miras et al., 2004b, etc). Cet apparent asynchronisme peut être du à des découplages régionaux dans les systèmes d'exploitation qu'il faudra contrôler avec les sources historiques.

Après cette phase médiévale, une régénération forestière est fortement marquée par le regain de l'épicéa (jusqu'à 40 %, fin de LPAZ: Tz2-d, Figure 4). Cette régénération des forêts subalpines se traduit par un accroissement considérable du rapport AP/T (jusqu'à 90%). Quelles peuvent être les causes de ce recul de la pression humaine ?

De récentes recherches ont montré que le Petit Âge Glaciaire (PAG) a commencé au 13^{ème} siècle, avec son apogée au 14^{ème} siècle. Plus particulièrement dans les Alpes le PAG démarre autour de 1280-1290 AD et a généré au 14^{ème} siècle une avancée des langues glaciaires aussi prononcée que celles des 17^{ème} et 19^{ème} siècles (Groove, 2001). Pour Messerli et al. (2001), le 14^{ème} siècle était bien une période de refroidissement rapide. En fait, pour ces périodes récentes il est extrêmement difficile de discuter de l'origine climatique ou anthropique des changements paysagers sans faire appel à des croisement très poussés entre données paléoécologiques et données archéologiques et historiques.

Enfin une ultime phase de reprise des pressions humaines (U6) est exprimée par un dernier maximum des apophytes et des poacées suggérant une phase de surexploitation de la montagne. *Fagopyrum* apparaît parmi les céréales cultivées. En l'absence de dates radiométriques locales, nous corrérons cette phase avec celle enregistrée couramment dans les hautes montagnes françaises entre le 16^{ème} et le 17^{ème} siècles.

Conclusion

Les investigations paléoécologiques multiproxi portant sur plusieurs sites voisins étagés entre 1850m et 2345 m fournissent des éléments robustes de reconstruction des paléoenvironnements et de l'action humaine dans le secteur du col du Petit Saint Bernard. Le premier objectif était de décrire les changements de paysages aux échelles locale et régionale notamment par une confrontation avec les données déjà publiées. Les voies migratoires complexes de l'épicéa depuis un centre d'expansion anté-holocène dans les Alpes orientales ont déjà été décrites (Ravazzi, 2002). Dans les Alpes françaises du Nord l'épicéa apparaît vers 5300 cal BP (David, 1993) et peut ensuite développer des forêts denses à des âges variables (Beaulieu et al., 1993). Une explication possible de l'expansion tardive de l'épicéa en certains secteurs est sans doute la compétition avec les essences forestières déjà en place, notamment le sapin. Une flexure climatique peut avoir favorisé ce relais ; mais dans les enregistrements polliniques du Petit Saint Bernard, l'arrivée de l'épicéa est corrélée avec un regain des indicateurs d'anthropisation. Cela suggère que l'homme a pu favoriser ce nouveau venu par l'ouverture des forêts préexistantes.

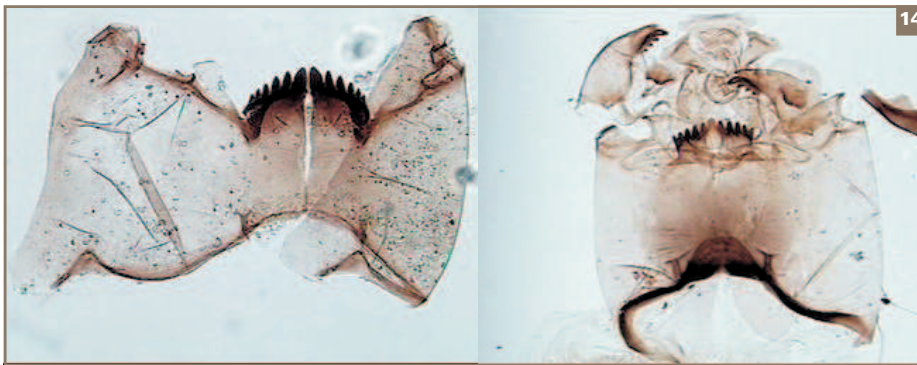
Cette hypothèse illustre l'objectif principal de notre étude : tenter d'éclairer les

interactions entre l'homme et le milieu sur un lieu de passage obligé. C'est ainsi qu'ont été exhumées les premières évidences palynologiques d'activités agropastorales dans les Alpes Françaises du Nord : Cet événement est détecté avant le maximum du sapin daté dans le secteur de 5300-5100 cal BC. Dans beaucoup d'autres montagnes d'Europe de l'Ouest les données polliniques ont témoigné de plusieurs phases dans le cours du processus de néolithisation depuis le 6^{ème} millénaire. La période identifiée au PSB semble bien correspondre à un seuil important puisqu'elle a été détectée dans

alpins suggèrent aussi une certaine hétérogénéité dans l'impact économique de la « *pax romana* » (Beaulieu, 1977).

Ces trois seuils se retrouvent dans d'autres massif montagneux (Miras et al., 2004a). . Cependant la phase de forte pression médiévale semble s'achever plus précocement (un peu avant le 12^{ème} siècle) autour de Petit Saint Bernard qu'ailleurs. Cette divergence devra être contrôlée car elle s'appuie sur une unique date 14C et il convient de rechercher dans les données historiques les signes d'une crise sociale précoce.

En conclusion nos données montrent que l'histoire des écosystèmes agro-pasto-



les montagnes du Jura, des Pyrénées et du Massif Central. Ces évidences peuvent aussi être corrélée avec des signaux enregistrés à plus basse altitude comme par exemple en Europe centrale les ouvertures forestières contemporaines de la civilisation de la céramique rubanée, vers 5500 cal BC (Schweitzer, 2001) ou bien les premiers effets du pastoralisme repérés vers 5320-5100 cal BC dans la vallée de la Moselle (Kubitz, 200). Les perturbations néolithiques sont aussi perçues dans le bassin de Paris depuis 5300 Cal BC (Leroy et al., 2005) ou en région méditerranéenne, comme dans la plaine de Barcelone, avec la mise en évidence d'incendies contemporains du Néolithique précoce (vers 5450-4350 cal BC : Riéra, 1995).

Dès cette époque la haute altitude ne semble pas avoir été un obstacle pour l'homme. Le Petit Saint Bernard enregistre ensuite trois seuils dans l'exploitation du milieu : le Bronze tardif, la période romaine (entre les 1^{er} et 3^{ème} siècles AD) et le Moyen Age. Les deux premiers se retrouvent dans d'autres régions alpines. Ainsi la période romaine laisse une forte empreinte dans de nombreux massifs: Alpes du Nord (Noel et al., 2001 ; Guiter et al., 2005), Alpes centrales (Pini, 2002 ; Tinner et al., 2003), Alpes du Sud (Court Picon, 2003). Néanmoins des sites

raux dans le secteur du Petit Saint Bernard n'est pas linéaire mais rythmée par des phases de fortes pressions et des déprises. Un dialogue plus poussé avec l'archéologie et l'histoire doit maintenant contribuer à identifier les causalités de ces rythmes.

References

ANGUS, R. 1973. Pleistocene *Helophorus* (Coleoptera, Hydrophilidae) from Borislav and Starunia in the Western Ukraine, with a reinterpretation of M. Lomnicki's species, description of a new Siberian species, and comparison with British Weichselian faunas. Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Biological Sciences, 265, (869) : 299-326.

ANGUS, R. 1992. Insecta Coleoptera Hydrophilidae Helophorinae. In : Schwoerbel & Zwick (Eds), Süßwasserfauna von Mitteleuropa, Band 20/10-2. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart : 144 p.

ANTHROP, M., 2005. Why landscape of the past are important for the future ? Landscape and Urban Planning, 70, 21-34.

ARGANT, J., 2005. Végétations holocènes et premières traces d'anthropisation dans le bassin du Rhône révélées par l'analyse pollinique. In : Néolithisation précoce. Premières traces d'anthropisation du cou-

- vert végétal à partir des données polliniques (dir. H. Richard). Presses Universitaires de Franche-Comté, 777, 11-28, 135-146
- BEAULIEU, J.L. de, 1977. Contribution pollenanalytique à l'histoire tardiglaciaire et holocène de la végétation des Alpes méridionales. Thèse, Université d'Aix-Marseille, Marseille, France.
- BEAULIEU, J.L. DE, KOSTENZER, J., REICH, K., 1993. Dynamique forestière dans la haute vallée de l'Arve (Haute Savoie) et migrations de *Abies* et *Picea* dans les Alpes occidentales. *Diss. Bot.*, 234, 253-275.
- BEHRE, K.E., 1981. The interpretation of anthropogenic indicators in pollen diagrams. *Pollen et spores*, 23, 225-245.
- BEUG, H.-J., 1975. Man as factor in the vegetational history of the Balkan Peninsula. In « Problems of Balkans Flora and Vegetation ». *Proc. frst. internat. Symposium on Balkan Flora and Vegetation*. Varna Sofia, 72-77.
- BROSTRÖM, A., GAILLARD, M.-J., IHSE, M., ODGAARD, B., 1998. Pollen-landscape relationships in modern analogues of ancient cultural landscapes in southern Sweden – a first step towards quantification of vegetation openness in the past. *Vegetation History and Archaeobotany*, 7, 189-201.
- BRUGIAPAGLIA, E., 1996. Dynamique de la végétation tardiglaciaire et holocène dans les Alpes italiennes nord-occidentales. Ph.D. Thesis, University of Aix-Marseille III, Marseille, France.
- BRUGIAPAGLIA, E., BEAULIEU, J.L. DE, GUIOT, J., REILLE, M., 1998. Modern pollen rain and the vegetation belt in the Taillefer Massif (Isère, France). *Géographie physique et Quaternaire*, 52, 2, 209-218.
- CARCAILLET, C., THINON, M., 1996. Pedaanthracological contribution to the study of the evolution of the upper treeline in the Maurienne Valley (North French Alps): methodology and preliminary data. *Review of Palaeobotany and Palynology.*, 91, 399-416
- COLUMEAU, PH., CROGIEZ-PÉTREQUIN, M.C., LEVEAU, PH., SEGARD, M., 2005. L'époque gallo-romaine au col du Petit Saint-Bernard. Séminaire Interreg « Alpīs Graia », Chambéry, France.
- COOPE, G.R. 1986. Coleoptera analysis. In: Berglund, B.E. (Ed.), *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Wiley & Sons, Chichester, pp. 703-713.
- COURT-PICON, M., 2003. Approche palynologique et dendrologique de la mise en place du paysage dans le Champsaur (Hautes-Alpes, France) à l'interface des dynamiques naturelles et des dynamiques sociales. Thématique, méthodologie et premiers résultats. *Archéologie du Midi Médiéval*, 21, 211-224.
- COURT-PICON, M., BUTTLER A., BEAULIEU, J.L. de, 2005. Modern pollen-vegetation relationships in the Champsaur valley (French Alps) and their potential in the interpretation of fossil pollen records of past cultural landscapes. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 135, 13-39.
- DAVID, F., 1993. Evolution de la limite supérieure des arbres dans les Alpes françaises du nord depuis la fin des temps glaciaires. Ph.D. Thesis, University of Aix-Marseille III, France.
- DAVID, F., 1997. Holocene tree limit history in the northern French Alps: stomata and pollen evidence. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 97, 227-237.
- DAVID, F., 2001. Etablissement des étages de végétation holocène: vers la modélisation complète d'un massif. *C.R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la Vie / Life Sciences*, 324, 273-278.
- ELIAS, S.A. 1994. *Quaternary Insects and their Environment*. Smithsonian Institution Press, Washington, 284 p.
- EPLER, J.H., 1987. Revision of the Nearctic *Dicrotendipes* Kieffer, 1913 (Diptera: Chironomidae). *Evolution Monograph*, 9, 102 pp.
- FAEGRI, K., IVERSEN, J., 1989. *Textbook of Pollen analysis*, 4th edition. Wiley and Sons, Chichester.
- GALOP, D., 1998. La forêt, l'homme et le troupeau dans les Pyrénées. 6 000 ans d'histoire de l'environnement entre Garonne et Méditerranée. Ph.D. Thesis, GEODE, laboratoire d'Ecologie Terrestre and FRAMESPA, University of Toulouse-Mirail, France.
- GAUTHIER, E., 2001. Evolution de l'impact de l'homme sur la végétation du massif jurassien au cours des quatre derniers millénaires. Nouvelles données palynologiques. Ph.D. Thesis, University of Franche-Comté, France.
- GOEURY, C., BEAULIEU, J.L. de, 1979. A propos de la concentration du pollen à l'aide de la liqueur de Thoulet dans les sédiments minéraux. *Pollen et spores*, 21, 239-252.
- GRIMM, E.C., 1991. *TILIA and TILIAGRAPH Software*. Illinois State Museum.
- GROVE, J.M., 2001. The initiation of the "Little Ice Age" in regions round the north Atlantic. *Climatic Change*, 48, 53-82.

- GUI TER, F., ANDRIEU-PONEL, V., BEAULIEU, J.L. de, Ponel, Ph, Nicoud, G. and Blavoux, B. 2005. Impact anthropique sur la végétation de la région d'Evian depuis le Néolithique moyen: l'enregistrement pollinique de la Beunaz (971 m n.g.f., Haute-Savoie, France). *C.R. Biologies* 328, 661-673
- HEIRI, O., LOTTER, A., 2001. Effect of low count sums on quantitative environmental reconstructions: an example using subfossils chironomids. *Journal of Paleolimnology*, 26, 3, 343-350.
- HEIRI, O., A.F., Lotter, 2003. 9000 years of chironomid assemblage dynamics in an Alpine lake: long-term trends, sensitivity to disturbance and resilience of the fauna. *Journal of Paleolimnology*, 30, 273-289.
- HEIRI, O., MILLET, L., 2005. Reconstruction of Late Glacial summer temperatures from Chironomid assemblages in Lac Lautrey (Jura, France). *Journal of Quaternary Science*, 20, 1, 33-44.
- HOFMANN, W., 1986. Chironomid analysis. In: Berglund, B.E. (Ed.), *Handbook on Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. Wiley, Chichester, pp. 715-727.
- KLINK, A.G., MOLLER PILLOT, H.K.M., 2003. Chironomidae larvae. Key to the higher taxa and species of the lowlands of Northwestern Europe. *World Biodiversity Database CD-ROM series*. Expert Center for Taxonomic Identification, University of Amsterdam, Amsterdam.
- KOCH, K., 1989-1992. Die Käfer Mitteleuropas, *Ökologie* 1, 2 & 3. Goecke & Evers, Krefeld, 440, 382 & 389 p.
- KUBITZ, B., 2000. Die Holozäne Vegetations- und Siedlungs geschichte in der Weisteifel am Beispiel eines Hochauflösenden. Pollendiagrammes aus dem Meerfelder Maar. *Dissertationes Botanicae*, 339, 106 pp.
- VAN DER KNAAP, W.O., VAN LEEUWEN, J.F.N., FINSINGER, W., GOBET, E., PINI, R., SCHWEIZER, A., VALSECCHI, V., AMMANN, B., 2005. Migration and population expansion of *Abies*, *Fagus*, *Picea* and *Quercus* since 15000 years in and across the Alps, based on pollen-percentage threshold values. *Quaternary Science Reviews*, 24, 645-680.
- LEROYER, C., 2005. L'anthropisation du Bassin parisien du VIIe au IVe millénaire d'après les analyses polliniques de fonds de vallée : mise en évidence d'activités agro-pastorales très précoces. In : Néolithisation précoce. Premières traces d'anthropisation du couvert végétal à partir des données polliniques (dir. H. Richard). Presses Universitaires de Franche-Comté, 777, 11-28
- LEVEAU, PH., SEGARD, M., 2004. Prospections autour du Col du Petit Saint-Bernard. Les voies romaines en Méditerranée. Séminaire européen sur les actions et les publications, Cavallero éd., Rémy B. éd., Aoste, 79-80.
- LUMARET, J.-P. 1990. Atlas des Coléoptères Scarabéides Laparosticti de France. Secrétariat de la Faune et de la Flore, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris : 418 p.
- LUMARET, J.-P. & STIERNET, N. 1989. Inventaire et distribution des Coléoptères Scarabéides coprophages dans le massif de la Vanoise. *Travaux scientifiques du Parc national de la Vanoise*, 17 : 193-228.
- MARKGRAF, V., 1970. Palaeohistory of the spruce in Switzerland. *Nature* 228, 249-251.
- MAZIER, F., GALOP, D., BRUN, C., BUTTLER, A., in press. Modern pollen assemblages from grazed vegetation in the Western Pyrenees mountains (France): a numerical tool for more precise reconstruction of past cultural landscapes. *The Holocene*.
- MENOZZI B. 1997. Storia delle vegetazione tardiglaciale ed olocenica in Valle d'Aosta, sulla base di spettri pollinici. Tesi di laurea, Università di Genova.
- MESSERLI, B., GROSJEAN, M., HOFER, T., NÚÑEZ, L., PFISTER, C., 2000. From nature-dominated to human-dominated environmental changes. *Quaternary Science Reviews*, 19, 459-479.
- MILLET, L., VERNEAUX, V., MAGNY, M. 2003. Lateglacial palaeoenvironmental reconstruction using subfossil chironomid assemblages from Lake Lautrey (Jura, France). *Archiv für Hydrobiologie*, 156, 405-429.
- MIRAS, Y. 2004. L'analyse pollinique du plateau de Millevaches (Massif central, France) et de sites périphériques limousins et auvergnats : approche des paléoenvironnements, des systèmes agro-pastoraux et évolution des territoires ruraux. Ph.D. Thesis, University of Franche-Comté, France.
- MIRAS, Y., GALOP, D., GAUTHIER, E., COURT-PICON, M., JOUFROY-BAPICOT, I., RICHARD, H., 2004a. Palynological evidence of the agro-pastoral systems evolution on the French medium mountains. *POLEN*, (International Palynological Congress - IPC 2004), 14, 225-226.
- MIRAS Y., LAGGOUN-DEFARGE F., GUENET P., RICHARD, H., 2004b. Multi-disciplinary approach to changes

in agro-pastoral activities since the Sub-Boreal in the surroundings of the « narse d'Espinasse » (Puy de Dôme, French Massif Central). *Vegetation History and Archaeobotany*, 13, 91-103

NOËL H., GARBOLINO E., BRAUER A., LALLIER-VERGÈS E., BEAULIEU J.L. DE, DISNAR J.R., 2001. Human impact and soil erosion during the last 5000 years as recorded in lacustrine sedimentary organic matter at Lac d'Annecy (French Alps). *Journal of Palaeolimnology*, 25, 2, 229-244.

NOWACZYK, N.R., 2001. Logging of magnetic susceptibility, In Last, W.M., Smol, J.P. (Eds), *Tracking Environmental change using lake sediments. Basin Analysis, Coring and Chronological Techniques*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 155-170.

PINI R., 2002. A high-resolution Late-Glacial pollen diagram from Pian di Gembo (Central Alps, Northern Italy). *Vegetation History and Archaeobotany*, 11, 4, 251-262

PONEL P., JAY P. & LUMARET, J.-P. 1995. Past and present changes in the coleopteran fauna since the end of the last glaciation : the case of the Western Alps and the Apennines. In: Guisan et al. (Eds.), *Potential ecological impacts of climate change in the Alps and Fennoscandian mountains*. Ed. Conserv. Jard. Bot. Genève : 159-172

RAVAZZI, C., 2002. Late Quaternary history of spruce in southern Europe. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 120, 131-177.

SCHWEITZER, A., 2001. *Archäopalinologische Untersuchungen zur Neolithisierung der nördlichen Wettereau. Mit einem methodischen Beitrag zur Pollenanalyse in lösgeländen*. *Dissertationes Botanicae*, 158 pp.

STUIVER, M., REIMER, P.J., REIMER, R., 2005. CALIB Radiocarbon Calibration (HTML Version 5.0.). h

SUGITA, S., 1994. A model of pollen source area for an entire lake surface. *Quaternary Research*, 39, 239-244.

TINNER W., LOTTER A.F., AMMANN, B., CONEDERA, M., HUBSCHMIDT P., VAN LEEUWEN F.N., WEHRIL M., 2003. Climatic change and contemporaneous land-use phases north and south of the Alps 2300 BC to 800 AD. *Quaternary Science Reviews*, 22, 1447-1460

WALKER, I.R., 2001. 3 Midges : Chironomidae and related Diptera. In Last, W.M., Smol, J.P. (Eds), *Tracking Environmental change using lake sediments. Volume 4: Zoological Indicators*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 43-66.

WEGMÜLLER, S., 1977. *Pollenanalytische Untersuchungen zur spät- und postglazialen Vegetationsgeschichte der französischen Alpen (Dauphiné)*. Haupt, Bern.

WICK, L., VAN LEEUWEN, J.F.N., VAN DER KNAAP, W.O., LOTTER, A.F., 2003. Holocene vegetation development in the catchment of Sägistalsee (1395 m a.s.l.), a small lake in the Swiss Alps. *Journal of Paleolimnology*, 30, 261-272.