

La végétation des Pyrénées françaises lors du dernier épisode glaciaire et durant la transition Glaciaire-Interglaciaire (Last Termination)

par

Guy Jalut ⁽¹⁾ et Valentin Turu i Michels ⁽²⁾

¹ Laboratoire d'Ecologie Fonctionnelle, UMR 5245 (CNRS-UPS-INPT), 29 rue Jeanne Marvig, BP 24349, 31055 Toulouse cedex 4, France

² Fundacio Marcel Chevallier, Av. Princep Benlloch 66-72, Deptx 408, AD005 Andorra la Vella, Principauté d'Andorre.

Résumé

Dans le versant nord des Pyrénées, la fin du dernier épisode glaciaire a été marquée par la persistance des glaciers à basse altitude jusqu'à environ 17 500-15 000 cal BP. Les étapes de leur régression ultérieure restent à préciser région par région. Dans ce contexte géomorphologique et climatique, des groupements végétaux de caractère steppique, boréo ou arctico/alpin ont dominé jusqu'au début du Tardiglaciaire. Les bouleaux, les genévriers, les pins se sont alors développés. Le Dryas récent a interrompu plus ou moins fortement l'extension du couvert forestier qui a repris vers 11 700 cal BP avec l'essor des feuillus malacophylles caducifoliés caractéristique du début de l'Holocène.

1- Introduction

A une latitude moyenne de 43°N, les Pyrénées forment, dans le sud de l'Europe, un massif montagneux d'orientation générale ouest-est d'une longueur d'environ 440 km entre l'Atlantique et la Méditerranée (**fig.1**). Elles constituent une limite entre les domaines climatiques océanique et méditerranéen. Les plus hauts sommets sont situés dans la partie centrale de la chaîne et quelques uns dépassent 3000m d'altitude : Balaïtous (3144m), Vignemale (3298m), Monte Perdido (3355m), P. de la Munia (3133m), Aneto (3404m), Pique d'Estats (3115m). A l'ouest du Balaïtous et à l'est du Pique d'Estats, l'altitude moyenne diminue. Les versants nord et sud sont dissymétriques, le versant sud étant environ deux fois plus étendu que le versant nord. Ils sont entaillés de vallées d'orientation générale nord-sud. Dans l'extrémité orientale, les vallées de la Têt et du Tech ont une orientation générale nord.est-sud.ouest.

La situation méridionale des Pyrénées, sa position entre les domaines climatiques océanique atlantique et méditerranéen, le cloisonnement de son relief, l'étroitesse de sa zone axiale et l'altitude modeste de ses plus hauts sommets expliquent à la fois les différences climatiques et phytogéographiques entre les deux versants, le gradient climatique ouest-est et l'englacement quaternaire réduit comparé à celui des Alpes. Ces mêmes critères ont déterminé les caractéristiques majeures et les spécificités régionales de l'histoire de sa couverture végétale.

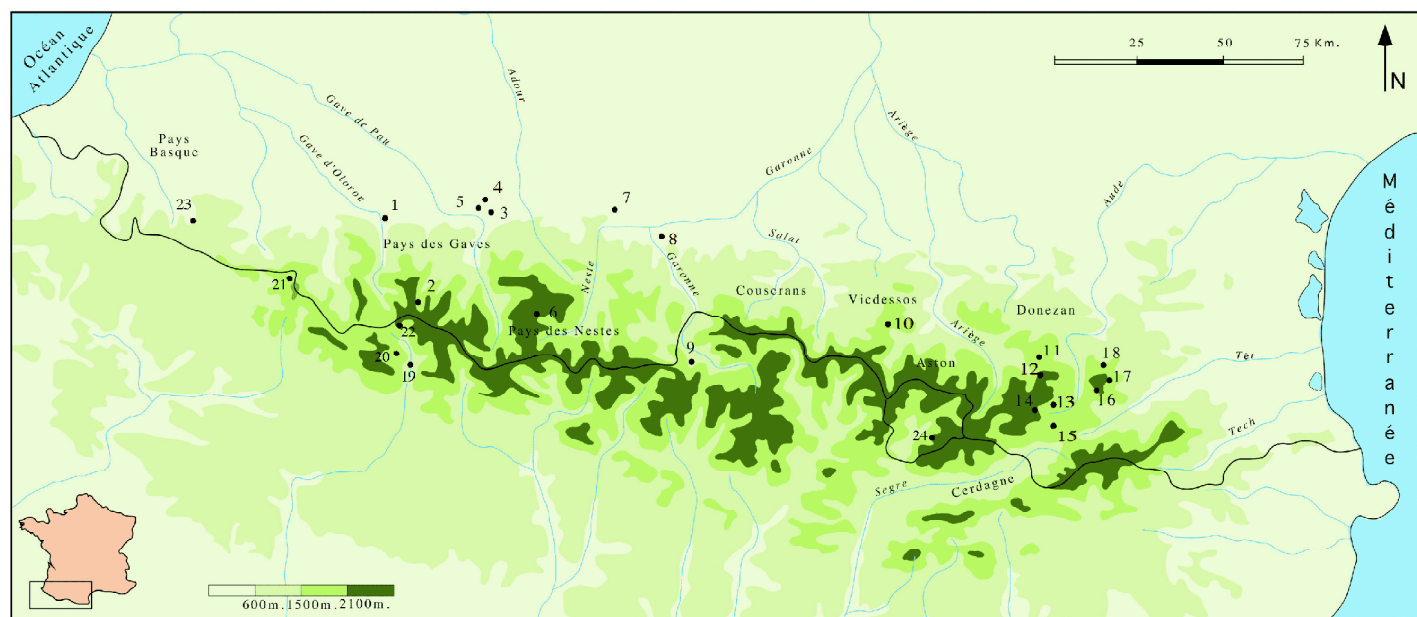


Figure 1: Localisation des gisements cités et des principaux sites pyrénéens glaciaires, tardiglaciaires et holocènes.

1 - Estarrès : Andrieu, 1987, Jalut et al., 1988, 1992 ; 2 - La Pouretère : Aubert, 2001, Aubert et al., 2004) ; 3- Le Monge : Reille et Andrieu, 1995 ; 4 - Biscaye : Mardonès, 1982, Mardones et Jalut, 1983, Jalut et al., 1988, 1992, Reille et Andrieu, 1995 ; 5 - Lac de Lourdes : Reille et Andrieu, 1995 ; 6 - Pé d'Estibère : Belet, 2001 ; 7 - Clarens : Sanchis, 2000 ; 8 - Barbazan : Andrieu, 1991, Andrieu et al., 1993 ; 9 - Ulès : Aubert, 1993 ; 10 - Freychinède : Jalut et al., 1982, Reille, 1993 ; 11 - La Restanque : Reille et Andrieu, 1993 ; 12 - Ruisseau de Laurenti : Jalut, 1974a, Jalut et al., 1992 ; Reille et Lowe, 1993 ; 13 - Balcère : Jalut, 1974a, Jalut et al., 1992 ; Reille et Lowe, 1993 ; 14 - Le Racou : Guiter et al., 2005 ; 15 - La Borde : Jalut, 1974a, Jalut et al., 1992 ; Reille et Lowe, 1993 ; 16 - Gourg Nègre : Reille et Lowe, 1993 ; 17 - Nohèdes : Jalut, 1974a ; 18 - La Moulinasse : Jalut, 1974a et b ; 19 - Bubal, 20 - Tramacastilla, 21 - Ibon de las Ranas : Monserrat Marti, 1992 ; 22 - El Portalet : Gonzalez Samperiz et al., 2006 ; 23 - Occabe : Galop (com. pers) ; 24 - Bosc dels Estanyons : Miras et al., 2007.

2 - L'englacement quaternaire des Pyrénées

Il fut important, comme en témoigne la cartographie des dépôts morainiques externes (Calvet, 2004), avec cependant des différences régionales. Sur le versant nord, la faible altitude du relief et la taille réduite des bassins d'alimentation glaciaire expliquent le faible développement des glaciers du Pays Basque. C'est entre les vallées d'Aspe et de l'Ariège que se situent dans le versant nord les langues glaciaires les plus longues (Gave de Pau : 50 km ; Garonne et Ariège environ 70 km), avec des moraines terminales situées à basse altitude (400-500m). Dans les Pyrénées orientales, seul le glacier du Carol a atteint 26 km avec une moraine terminale à 1200 m (Calvet, 2004; Rodés, 2008), celui de la Têt ne dépassant pas 20 km avec une moraine terminale à 1500m d'altitude (Viers, 1968 ; Delmas et al., 2008).

Sur le versant sud, l'extension des glaciers fut plus réduite. Toutefois, de récentes recherches effectuées dans les Pyrénées catalanes ont montré que lors d'une phase glaciaire antérieure au dernier épisode glaciaire, la longueur du glacier du Valira avait atteint environ 48 km et 43 km lors du dernier épisode glaciaire, le front glaciaire se situant alors à 780m (Turu et Pena-Monné, 2006). Dans les Pyrénées centrales, la longueur des principaux appareils glaciaires était comprise entre 25 et 50 km (Flamicell et Noguera Pallaresa) avec des fronts situés entre 740 et 950m d'altitude. Dans les Pyrénées occidentales, les glaciers des vallées des rios Aragon et Subordan atteignaient respectivement 22 et 25 km de longueur avec des front situés à 900m et 800m (Gómez-Ortíz et al., 2001).

A - L'englacement quaternaire : chronologie

Après les travaux historiques consacrés à l'englacement des Pyrénées entre 1885 et 1970 (v. ref. dans Hubschman, 1984 ; Hérail et al., 1986), des études pluridisciplinaires associant la géomorphologie, la sédimentologie, la palynologie et les datations par la méthode du ^{14}C ont été entreprises à partir des années 80 le long des versants français et espagnol. Elles ont permis une première approche chronologique du glaciaire pyrénéen. Se basant sur l'étude de l'altération de sédiments (Hubschman, 1984) et sur des datations au ^{14}C de dépôts glaciolacustres du complexe glaciaire terminal de Lourdes (Mardones, 1982 ; Mardones et Jalut, 1983), deux types de dépôts glaciaires furent distingués : l'un correspondant aux moraines récentes des marges glaciaires frontales et des bas de versants, l'autre constitué de moraines anciennes représentées dans les bassins glaciaires terminaux par des dépôts superficiels fortement altérés, souvent discontinus, ou des dépôts résiduels incorporés à des dépôts fluvioglaciaires récents. Des faciès intermédiaires furent également observés dans la vallée de l'Ariège. Dans cette région, dans le complexe karstique de Niaux-Lombrive-Sabart près de Tarascon sur Ariège, la datation par U/Th de planchers calcitiques (Sorriaux, 1981, 1982 ; Bakalowicz et al., 1984) montra l'existence de deux épisodes glaciaires respectivement entre 185 000 et 270 000 ans et 90 000 et 20 000 ans, confortant ainsi les résultats des études minéralogiques. Par ailleurs, les études réalisées à partir du sondage de Biscaye, dans le complexe glaciolacustre terminal de Lourdes (Mardones et Jalut, 1983), montrèrent pour la première fois que l'englacement maximum des Pyrénées lors du dernier épisode glaciaire s'était produit avant le dernier maximum glaciaire (Last Glacial Maximum : LGM) situé entre environ 24 000 et 18 000 cal BP (Chronozone level 2, EPILOG*, 1999, Mix et al., 2001).

* EPILOG : Environmental Processes of the Ice age : Land, Oceans, Glaciers

C'est à partir de ces travaux que furent publiées les premières synthèses cartographiques de la déglaciation des Pyrénées françaises (Hérail et al., 1987 ; Andrieu et al., 1988). D'autres études pluridisciplinaires furent réalisées dans des dépôts glaciolacustres juxta ou proglaciaires. Le long du versant nord elles concernèrent le bassin du gave d'Ossau (Jalut et al., 1988 ; Gangloff et al., 1991), le bassin terminal de la Garonne (Andrieu, 1991), le bassin du Vicdessos (Jalut et al., 1982) et le haut bassin de la Têt (Jalut et al., 1992). Sur le versant sud elles furent réalisées dans la vallée du rio Gallego (Montserrat-Martí, 1992) et dans la haute Noguera Ribagorçana (Vilaplana et Bordonau, 1989 ; Bordonau et al., 1993) où elles furent complétées par des recherches géomorphologiques (Bordonau, 1992 ; Bordonau et al., 1992). La prise en compte de ces différentes études régionales permit à Bordonau (1992) de proposer une première esquisse chronologique de la dernière glaciation des Pyrénées selon laquelle l'extension maximale des glaciers pyrénéens se serait produite il y a environ 60 000 ans, le début du retrait des glaciers ayant commencé avant 44 000 - 41 000 cal BP (38 400 BP). À partir des données du versant nord des Pyrénées, il a été considéré que le retrait des glaciers dans les vallées se serait produit entre 30 000 et 23 500 cal BP. Après 17 500- 15 000 cal BP les glaciers auraient été cantonnés à la haute montagne (Jalut et al., 1992).

Récemment, grâce aux chronologies établies à partir des carottages dans les glaces du Groenland (Björck et al., 1998, Walker et al., 1999 ; Johnsen et al., 2001 ; Svensson et al., 2006 ; Andersen et al., 2006), des corrélations ont pu être effectuées avec les données continentales, notamment les données palynologiques, permettant d'actualiser les connaissances acquises. Par ailleurs, le long de l'axe pyrénéo-cantabrique (Sancho et al., 2003 ; Pena et al., 2004 ; Delmas et al., 2008 ; Rodés, 2008) et dans les montagnes lusitano-galicienes (Vidal Romani et al., 1999), les datations cosmogéniques et OSL ont permis de dater des dépôts glaciaires et fluviaux et de comparer ces nouvelles chronologies à celles préalablement proposées à partir des datations ^{14}C des dépôts glaciolacustres.

Dans le NW de la péninsule ibérique, les datations cosmogéniques (Vidal Romani et al., 1999) confirment l'existence de dépôts glaciaires antérieurs au dernier épisode glaciaire. À l'est de la chaîne pyrénéo-cantabrique, dans les vallées du Segre et du Valira, des datations OSL indiquent également l'existence de dépôts glaciaires d'une phase antérieure au dernier épisode glaciaire (Turu et Pena-Monné, 2006). Dans la vallée du Gallego, la datation OSL de deux arcs morainiques : Aurin et Senegüé, donne des âges respectivement de $85\,000 \pm 5\,000$ et $35\,700$ ans et dans la vallée du Cinca, les datations OSL situent l'extension maximale des glaciers pyrénéens vers $53\,000 \pm 6\,600$ ans (Sancho et al., 2003). Ces résultats témoignent de l'existence de dépôts glaciaires antérieurs au dernier épisode glaciaire et, concernant la dernière glaciation, ils renforcent l'hypothèse d'une extension maximum antérieure au LGM et probablement plus ancienne que 60 000 ans.

B - Les étapes de la déglaciation

La prise en compte des données chronologiques issues des carottes de glace de Groenland (Björck et al., 1998, Walker et al., 1999 ; Johnsen et al., 2001 ; Svensson et al., 2006 ; Andersen et al., 2006) a permis de calibrer les âges des principales étapes de la mise en place de la couverture végétale, d'établir de nouveaux modèles d'âges et d'estimer les marges d'erreur des datations ^{14}C précédemment publiées (Jalut et al. à paraître). Cette révision montre que, contrairement aux hypothèses précédemment publiées (Hérail et al., 1986 ; Andrieu et al., 1988 ; Jalut et al., 1992), les glaciers du versant nord des Pyrénées ont stationné vers 400m d'altitude jusque vers 17 500 -15000 cal BP. Durant cette période, le long de l'axe pyrénéo-cantabrique, la moyenne montagne, vers 1300-1500m, était encore englacée. La glace a donc stationné longtemps à basse altitude.

Il en fut de même dans le versant sud des Pyrénées. Les dates OSL du Gallego situent le front glaciaire au niveau de Senegüé (alt. 820m), il y a environ 35 000 -32000 ans (Pena Monné et al., 2004) et dans les Pyrénées orientales, la datation OSL (Instituto Tecnológico Nuclear de Sacavem, Portugal) de sédiments glaciaires de la vallée du Valira montre que le glacier stationnait au sud de la ville de Sant Julia de Loria, (alt. 891 m.) vers 32.789 ± 1.187 ans. La déglaciation s'est poursuivie entre 17 000 -15000 cal BP et le début du Postglaciaire (11 700 cal BP), et sans doute au-delà (Jalut et al., à paraître) comme le suggèrent Pallas et al. (2006). Les données actuellement disponibles montrent que ce processus a présenté des différences régionales significatives probablement d'origine climatique.

Ainsi, dans la vallée du Valira (Pyrénées méditerranéennes), vers 20.000 – 18.000 cal BP, le glacier était encore à basse altitude (940 m), à La Margineda (Turu et al., 2007), tandis que dans les Pyrénées centrales, celui du Gállego était au-dessus de Tramacastilla (1682m). Sur le versant sud-oriental, l'extension tardive du glacier du Valira pourrait s'expliquer soit par une forte déflation de la neige liée aux vents violents de secteur NW (Viers, 1971), soit par l'apport régulier de masses d'air humide de secteur S-E en provenance de la Méditerranée (Calvet, 2004), soit par la combinaison des deux phénomènes. De nos jours, le versant méridional oriental de la chaîne des Pyrénées, au sud de la crête Canigou-Puigmal-Cadi est abondamment arrosé (le front pluvieux catalan, Izard, 1985). L'atténuation vers l'ouest de l'apport d'humidité en provenance de la Méditerranée détermine des changements au niveau de la couverture végétale, notamment une raréfaction du hêtre. Au cours du dernier épisode glaciaire, la permanence des grands traits de la circulation atmosphérique actuelle suggérée par Viers (1971), permet de penser qu'à la fin de cet épisode, des conditions de circulation atmosphérique comparables ont pu déterminer, le long du versant méridional des Pyrénées, un gradient est-ouest décroissant des accumulations neigeuses et une réduction consécutive de la longueur des appareils glaciaires. Ouverte au sud sur le bassin de l'Ebre, la vallée du Gállego est de nos jours le secteur des Pyrénées centrales espagnoles le plus isolé par rapport aux influences océaniques et méditerranéennes et de ce fait le plus continental du Haut Aragon occidental (précipitations fortes en été et faibles en hiver) (Izard, 1985). Lié à cette situation géographique, un déficit d'accumulation neigeuse à la fin du dernier épisode glaciaire pourrait expliquer l'importante différence de retrait glaciaire observée entre les deux régions considérées.

3 - La mise en place de la couverture végétale

Notre connaissance des étapes de la mise en place de la végétation du versant nord des Pyrénées repose en majeure partie sur l'analyse pollinique de dépôts glacio-lacustres et tourbeux (**fig.1**). Dans la plupart des cas, le prélèvement des échantillons étudiés a été effectué à l'aide d'un carottier mince paroi de gros diamètre (8 cm) et d'une longueur utile de 1m, munis d'une gaine de PVC et enfoncé à l'aide de vérins jusqu'à une profondeur maximum de 25m. C'est à partir de ces carottes ouvertes au laboratoire qu'ont été prélevés les échantillons destinés aux analyses polliniques, aux datations au ^{14}C et aux études sédimentologiques. Lorsque l'utilisation de ce matériel lourd s'est avéré impossible, les carottages ont été réalisés à l'aide d'une sonde légère de 4 cm de diamètre.

A - La couverture végétale de la période glaciaire

Dans les Pyrénées françaises, l'estimation des marges d'erreur des dates ^{14}C concernant cette période (Jalut et al. à paraître) conduit à penser que les données polliniques disponibles ne couvrent que la période 30 000-28 000 cal BP- 11700 cal BP, ce qui représente un période relativement courte par rapport à la durée du dernier épisode glaciaire (113 000 - 11 700 cal BP) (**fig. 2**). Cette période ne fut pas climatiquement homogène et l'on peut y distinguer deux parties : la première de 30 000 à 16900 cal BP correspond à des conditions climatiques typiquement glaciaires ; la seconde de 16 900 à 11 700 cal BP communément appelée « Last Termination » inclus le Tardiglaciaire (14 700 – 11700 cal BP) et constitue une phase de transition entre le Glaciaire et le Postglaciaire (ou Holocène : 11 700 cal BP- Présent) (**fig. 3**). La chronologie des dépôts continentaux étudiés s'appuie sur les chronologies établies à partir des carottes de glace du Groenland (GRIP : GReenland Ice core Project) (Björck et al, 1998; Walker et al, 1999; Rasmussen et al., 2006). Elles peuvent être utilisées dans le sud de l'Europe car de nombreux travaux ont montré que les changements climatiques enregistrés dans les glaces du Groenland étaient rapidement ressentis aux latitudes moyennes (Sanchez Goni et al., 1999, 2000; Roucoux et al., 2001; Desprat et al., 2003; Naughton et al., 2007).

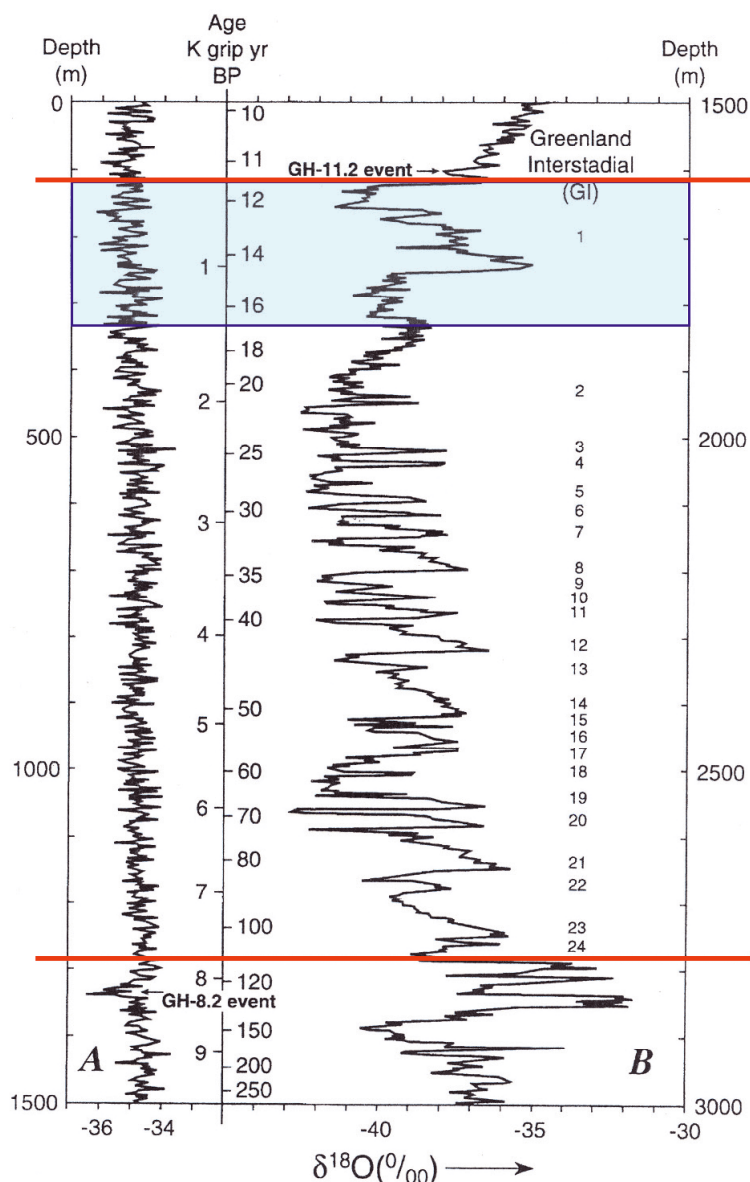


Figure 2: Carotte de glace GRIP (GReenland Ice core Project). Variations du $\delta^{18}\text{O}$ le long d'une carotte de glace de 3000m de profondeur. La courbe située en A, va de la surface à 1500m de profondeur. Elle couvre les 10 000 dernières années et se raccorde à la partie supérieure de la courbe située en B. L'Holocène (Postglaciaire) couvre les 11 700 dernières années. (D'après Walker et al., 1999). Les deux traits rouges délimitent le dernier épisode glaciaire. La zone bleutée correspond au Tardiglaciaire (v. fig. 3).

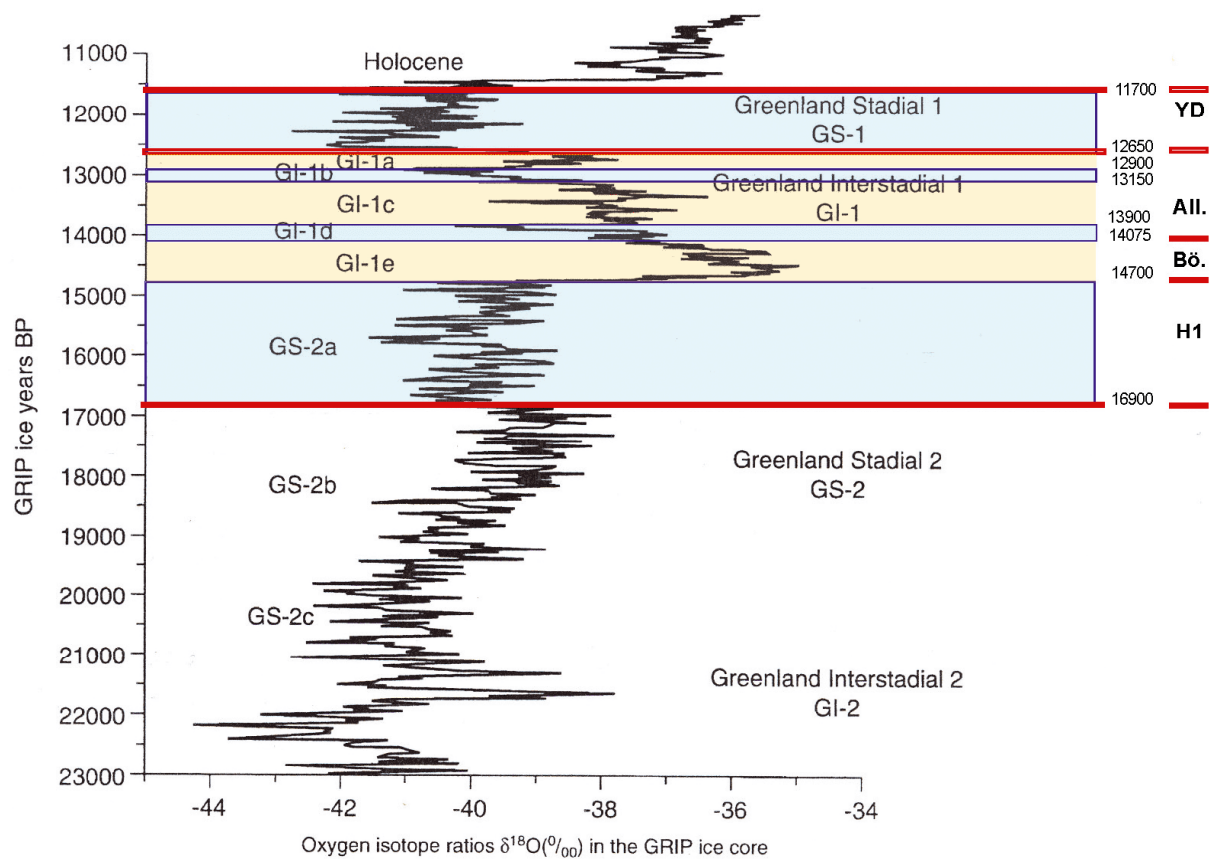


Figure 3: Variations du $\delta^{18}\text{O}$ entre 23 000 et 11 000 cal BP montrant les épisodes stadiers et interstadiers lors de la « Last Termination » entre 16 900 et 11 700 cal BP (d'après Walker et al., 1999).

1- Le couvert végétal de 30 000 à 16 900 cal BP

Pour cette période, les données polliniques disponibles sont essentiellement issues de dépôts glaciolacustres provenant de lacs pro ou juxtaglaciaux. Le contenu pollinique de ces sédiments est souvent très faible et, du fait de l'alimentation en eaux de fonte de ces bassins lacustres, l'origine de ces grains de pollen est variable. Ils peuvent avoir été produits par la couverture végétale du moment et transportés par les vents jusqu'à la surface des lacs; provenir du lessivage de sols ou de dépôts morainiques résiduels incorporés à des dépôts fluvioglaciaires récents ou encore de niveaux de glaces plus ou moins anciens dont les eaux de fonte alimentent les lacs. Ceci explique en partie la présence significative de pollens d'arbres lors de phases climatiquement défavorables aux essences forestières, ainsi que certains problèmes de datations (vieillesse) observés dans ce type de dépôts. Ainsi, dans des dépôts glaciolacustres du bassin montagnard de la Garonne à Sost (Hérail et Jalut, 1986) et à Barbazan (**fig. 4**) (Andrieu, 1991) et dans le haut bassin de la Têt à La Borde (**fig.5**) (Jalut et al., 1992), on observe, outre la présence de grains de pollen de sapin et de hêtre (Sost, Barbazan), la présence de grains de pollen d'épicéa. Ils disparaissent lorsque cessent les connexions entre les bassins glaciolacustres et les eaux de fonte. De nos jours, l'épicéa est un arbre introduit dans les Pyrénées et la présence de ses pollens dans des dépôts glaciolacustres anciens démontre son indigénat passé ainsi que la rétraction de son aire naturelle actuelle. Mais cet exemple montre aussi que l'interprétation en terme de végétation et de climat des données polliniques issues de ce type de dépôt peut s'avérer hasardeuse.

Malgré ces réserves, la comparaison des données polliniques pyrénéennes avec des données régionales non dépendantes d'environnements glaciaires et avec des données de palynologie marine enregistrant les apports de vastes zones continentales, montre qu'entre 30 000 et 16 900 cal BP des formations basses de type steppes dominées par les Poacées et les armoises (**fig. 4,5,6**) constituaient la végétation dominante. Divers éléments de la flore pyrénéenne actuelle (*Salix lapponum*, *Phyllodoce caerulea*, *Empetrum nigrum*, *Dryas octopetala* etc...) laissent également penser que des formations de type toundra ont existés. La faune chassée, dont les restes sont majoritairement composés de cheval et de renne, ainsi que l'art pariétal qui montre également la présence du cheval, du bison, du bouquetin et de l'isard, confirment l'existence de paysages très ouverts. Les pollens d'arbres majoritairement observés sont alors ceux du pin. Ils sont le plus souvent surreprésentés et leurs pourcentages s'effondrent dès que cessent les apports d'eaux de fonte. Les pollens de genévrier sont également présents. Les herbacées dominantes (Graminées, Armoises et autres Composées, Chénopodiacées, Caryophyllacées) sont des héliophiles.

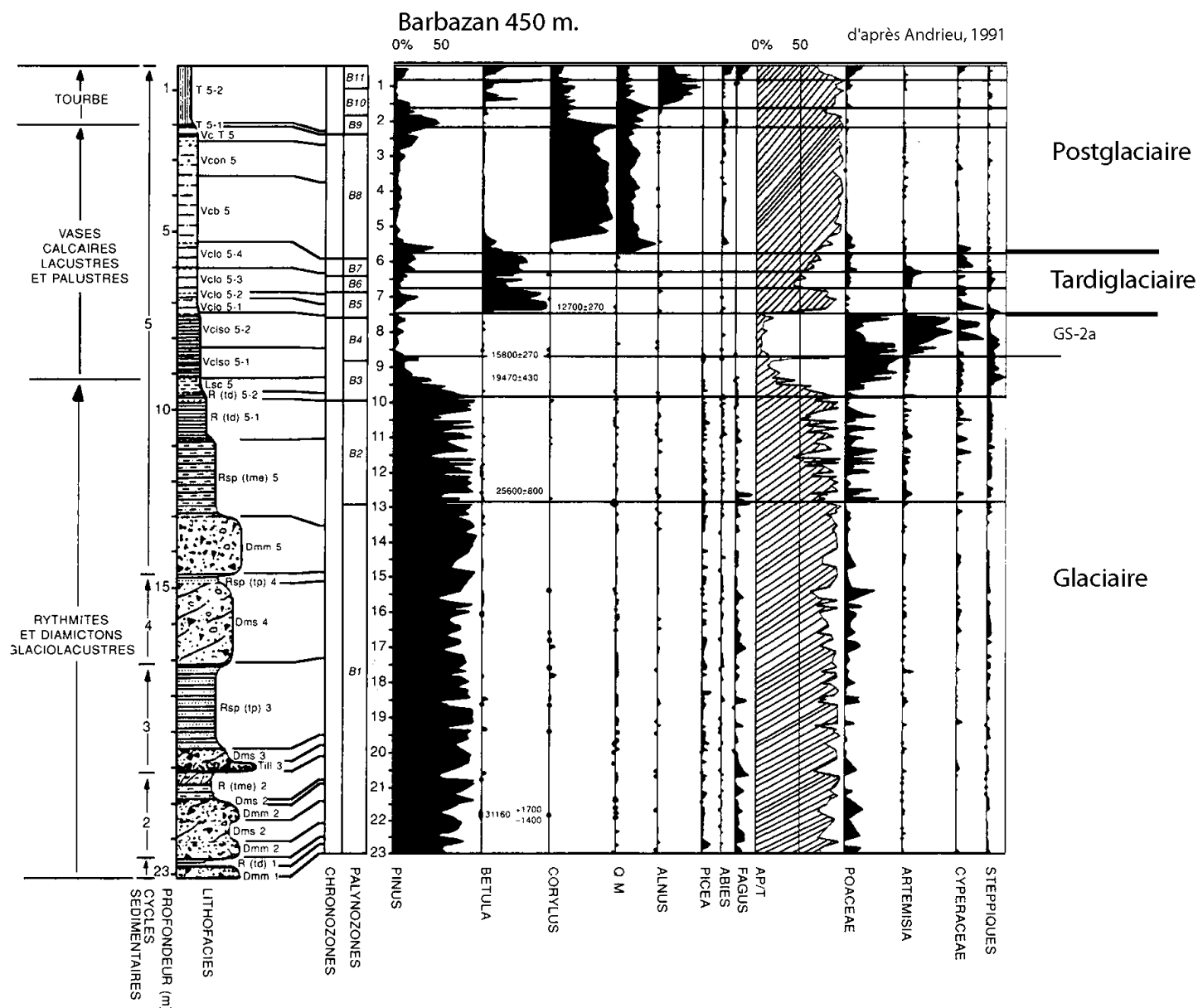


Figure 4: Diagramme pollinique partiel de la séquence glaciolacustre de Barbazan (d'après Andrieu, 1991). Comme dans les autres diagrammes polliniques, la colonne AP/T (A.P. Arboreal Pollen grain : Pollens d'arbres ; T : Total des pollens des arbres et des herbes) représente les variations du couvert forestier. Du fait des conditions de sédimentation, de la base du diagramme jusqu'au démarrage de la courbe des armoises (*Artemisia*) le rapport AP/T est sans signification écologique.

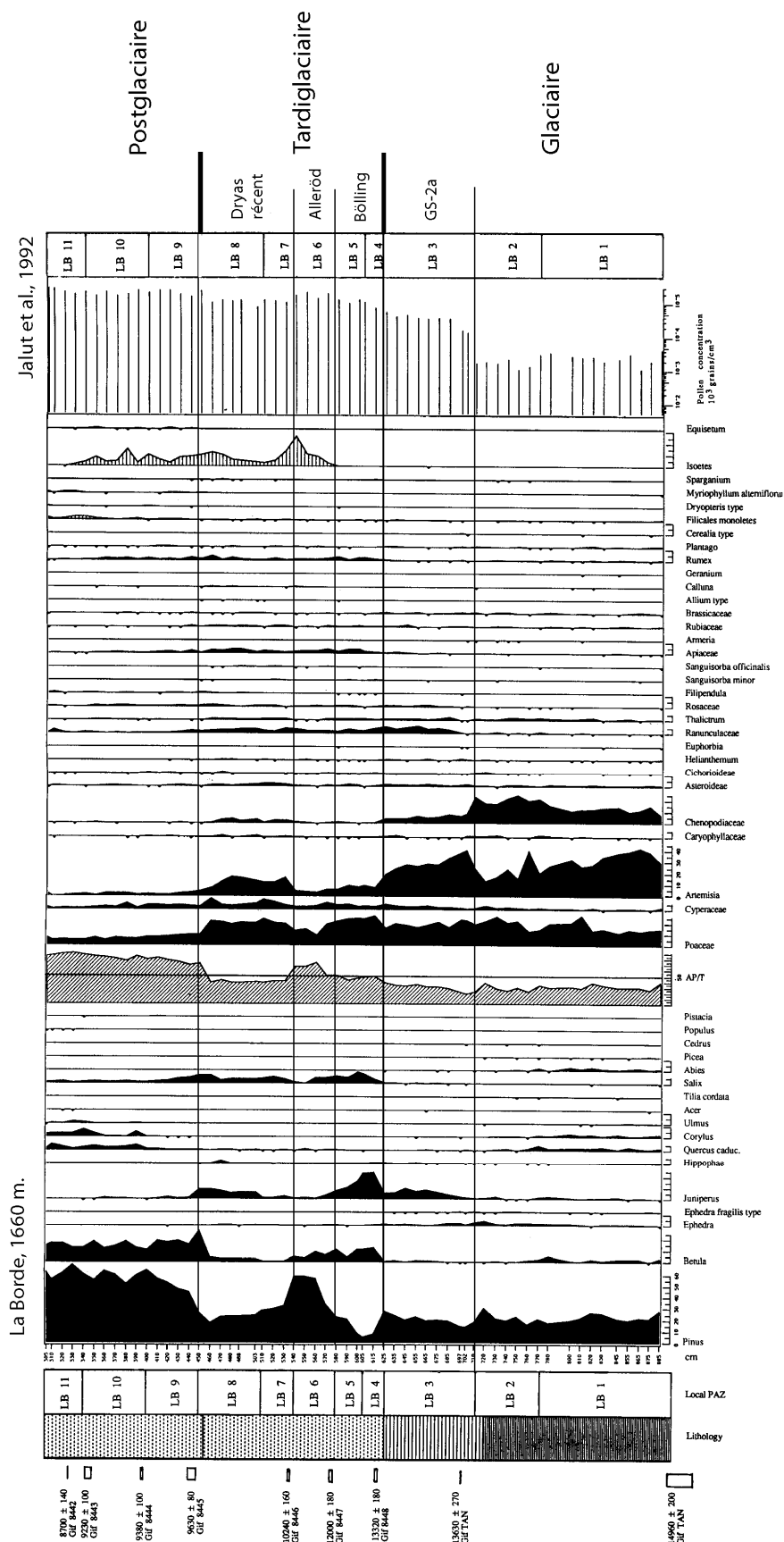


Figure 5: Diagramme pollinique partiel de La Borde (d'après Jalut et al., 1992)

Biscaye, 409 m.

Mardones, 1982

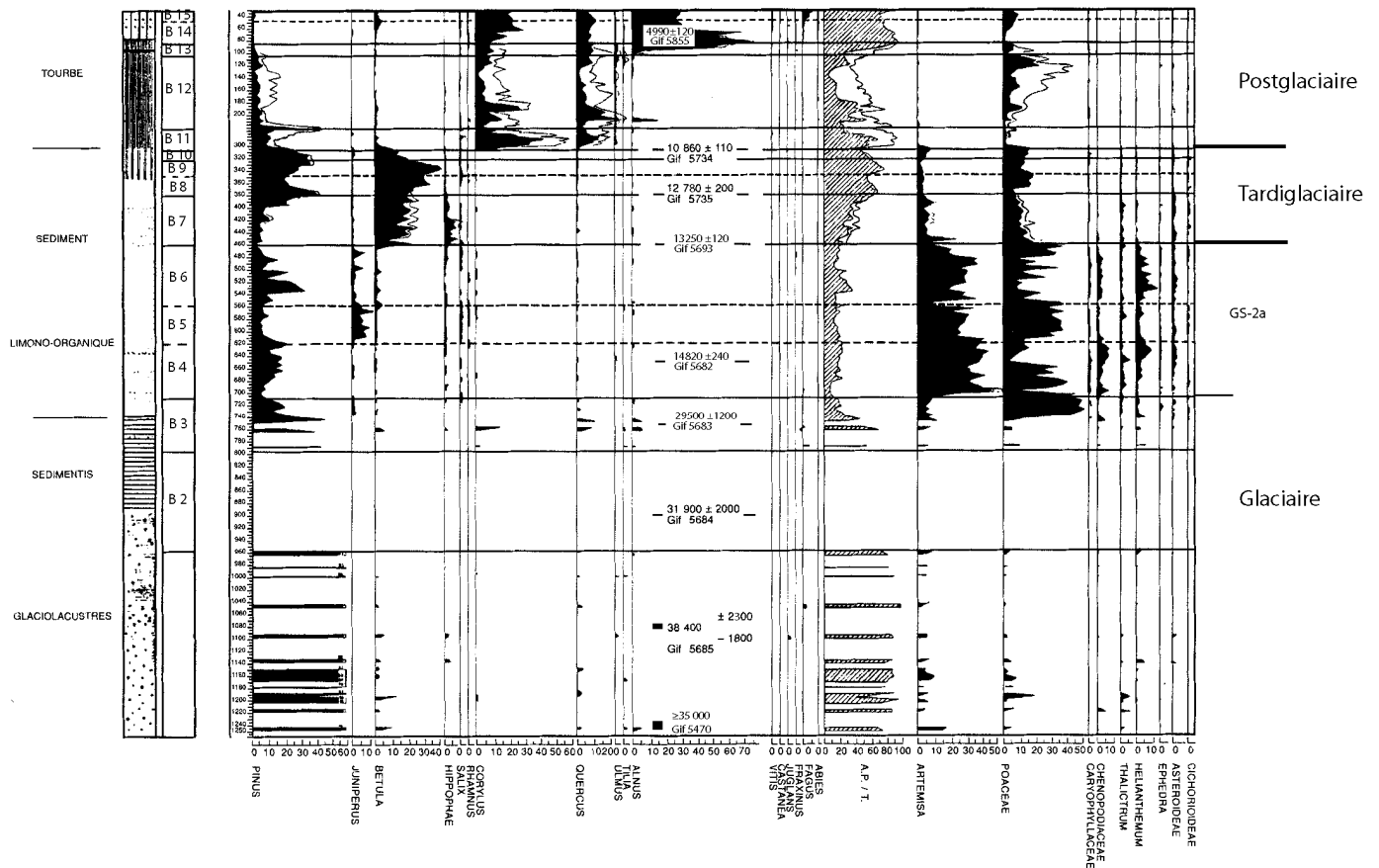


Figure 6: Diagramme pollinique partiel de la séquence glaciolacustre de Biscaye (d'après Mardones et Jalut, 1983). Du fait des conditions de sédimentation, de la base du diagramme jusqu'au démarrage de la courbe des armoises (*Artemisia*), le rapport AP/T est sans signification écologique.

Comparé à la végétation actuelle et à son étagement altitudinal, le paysage de cette époque était donc très différent. Les glaciers stationnaient encore dans les vallées montagnardes et dans cet environnement glaciaire les arbres étaient sans doute absents. La pauvreté du contenu pollinique des dépôts étudiés et leur très faible teneur en matière organique suggèrent en montagne et à ses abords, un milieu asylvatique et une strate herbacée sans doute discontinue. Les arbres qui ont ultérieurement recolonisé la montagne et le piémont étaient alors dans des zones favorables dites zones refuges, difficiles à identifier à l'échelle régionale mais qui ont existé comme en témoignent les études anthracologiques régionales (Jalut et al., 1975; Vernet, 1980, 1997; Uzquiano, 1992).

C'est entre 24 000 et 18 000 cal BP environ, que s'est située la phase la plus froide du dernier épisode glaciaire : le « Last Glacial Maximum » (LGM), durant laquelle on estime que la température globale moyenne était d'environ 4,5°C inférieure à l'actuelle (15°C) (COHMAP Members, 1988 ; Petit Maire et al., 2000 ; Braconnot, 2004)

A partir des données concernant la couverture végétale et les sols de cette époque (Jalut et al., 2005 ; Van Vliet Lanoe et al., 2005) et par comparaison avec les possibles analogues actuels, une quantification des températures et des précipitations lors du LGM a été tentée pour des régions de basse altitude au nord et au sud des Pyrénées (Jalut, 2006, non publié). Pour les zones à permafrost situées à l'ouest du Massif Central, la température moyenne annuelle estimée (T°C est.) est de l'ordre de -1°C- 0°C soit environ 12-13°C inférieure à l'actuelle (12°C). Les précipitations moyennes annuelles (Pmm est.) pouvaient être de l'ordre de 250-300mm soit environ 500 mm de moins qu'actuellement (770mm). A la périphérie des Pyrénées, dans une zone de type tundra –steppe, la T°C est. pouvait être de -4°-5°C soit environ 15° à 16°C inférieure à l'actuelle et les Pmm est. voisines de 300mm au lieu des 600-650mm actuels. Dans la vallée de l'Ebre occupée alors par une steppe boisée à pin et genévrier, les T°C est. et Pmm est. pouvaient être respectivement de 3°C-5°C et 300-400mm, soit une différence de température moyenne annuelle de l'ordre de 8° à 10°C mais des précipitations moyennes annuelles stables (environ 340mm). On note, dans le domaine océanique atlantique, l'importance des déficits de précipitation ainsi que les différences entre les températures moyennes annuelles estimées et leurs valeurs actuelles. Du fait de l'absence de couverture boisée continue et par référence aux conditions thermiques qui de nos jours déterminent la limite supérieure de la forêt (treeline ou forest line), on peut également estimer, suivant Körner (2003), que lors de la période de végétation (l'été), la température moyenne était alors inférieure à la moyenne actuelle de 5,5-7,5°C à laquelle correspond la limite supérieure de la forêt continue. Ceci n'exclut pas que des arbres isolés aient pu survivre, comme cela s'observe de nos jours dans diverses régions du monde.

Après le LGM, une amélioration climatique s'est amorcée à partir de 17 000 cal BP environ, au cours de la « Last Termination », (**fig. 3**), en raison de l'augmentation de l'insolation estivale liée à des facteurs orbitaux de la Terre.

2 - La fin de la période glaciaire : 16 900 -11 700 cal BP

Cette période comprend des phases froides dites stadiales et des phase plus tempérées dites interstadiales. Par référence à la chronologie GRIP elles sont désignées sous les termes de Greenland Stadial (GS) et Greenland Interstadial (GI) (fig. 3).

La première période de cette transition est une phase froide (GS-2a : 16 900-14700 cal BP). caractérisée par une augmentation des pourcentages des armoises accompagnée ou suivie par le développement du genévrier (fig. 5 et 6) (Jalut et al., 1992 ; Andrieu et al., 1993 ; Reille et Lowe, 1993 ; Reille et Andrieu, 1995). Par rapport à la phase précédente, ce développement d'une steppe à armoises et Graminées est considéré comme l'indice d'une amélioration climatique (Walker, 1995). Elle est néanmoins insuffisante pour permettre la mise en place d'un véritable couvert forestier et les ligneux qui se développent le mieux semblent être les genévriers. Parmi ceux-ci, compte tenu de sa répartition actuelle et de son écologie, le genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*) a pu, avec le genévrier commun (*Juniperus communis*) et le genévrier sabine (*Juniperus sabina*), jouer un rôle non négligeable dans la colonisation (Jalut et al., 1998, 2000).

Après cette encore phase froide débute le Tardiglaciaire qui comprend l'interstade GI-1 : 14 700-12895 cal BP (Bölling : GI-1e et Alleröd : GI-1c) et le Greenland Stadial 1 (GS-1 : 12 895-11700 cal BP, le Dryas récent (**fig. 3**). Son début est marqué par un réchauffement associé à une fonte importante des glaces continentales et à une remontée des eaux tempérées dans la zone est de l'Atlantique nord.

Le Bölling (14 700-14 075 cal BP) correspond à une première phase d'extension des arbres, principalement les genévriers et les bouleaux (figs 5 et 6).

A cette époque, l'abondance des pollens de genévrier dans les diagrammes polliniques est très variable d'un site à l'autre. Néanmoins, le début de l'extension de cet arbre a été parfois considéré comme le point de départ du Bölling (Andrieu et al., 1993 ; Reille et Andrieu, 1995) . Au contraire, l'extension du bouleau est un phénomène très clairement enregistré. Sa datation ¹⁴C (Penalba, 1989 ; Peyron et al., 2005) ou son âge estimé à partir de chronologies fiables (Allen et al., 1996 ; Jalut et al., à paraître) montrent qu'elle se produit vers 14 700 cal BP.

Le bouleau, le genévrier mais également le saule (*Salix*) et l'argousier (*Hippophae rhamnoides*) (fig. 6) qui se développent alors sont avant tout des essences héliophiles colonisatrices, peu exigeantes du point de vue des sols. Leur développement ainsi que la raréfaction des herbacées de caractère steppique indiquent à la fois une augmentation de la température et des précipitations, mais le milieu reste encore ouvert.

Durant l'Alleröd (14 075- 12895 cal BP), le couvert forestier devient plus dense en raison du développement du pin (**figs 5, 6 et 8**). Des forêts mixtes à pin et bouleau dominant alors dans le paysage tandis que des pollens d'arbres à feuilles larges tels les chênes caducifoliés sont plus régulièrement observés. Néanmoins, les données globales (fig. 3) montrent qu'un refroidissement se produit. Au niveau des Pyrénées, son impact sur la végétation demeure le plus souvent imperceptible.

Le refroidissement du Dryas récent (12 895 et 11 703 cal BP) aurait pour origine une réorganisation de la circulation thermohaline liée à une arrivée massive d'eau de fonte dans l'Atlantique nord (Tarasov et Peltier, 2006). Dans les diagrammes polliniques s'observent alors une interruption du développement des arbres et une augmentation généralement limitée des herbacées et des chaméphytes héliophiles de caractère steppique (Armoises, Chénopodiacees etc.). Ce phénomène, bien visible à La Borde (**fig. 5**) est particulièrement bien marqué et daté dans le Pays Basque français, à Occabe (Galop com. pers.) (**fig. 1**).

Durant le Tardiglaciaire une mosaïque de milieux se met en place. Dans les diagrammes polliniques, le rapport pollen d'arbres/pollen d'herbes (AP/T) le plus souvent inférieur à 80% traduit des milieux encore ouverts. Cette diversité des milieux liée à des caractéristiques stationnelles est confirmée par quelques données sur l'avifaune (Jalut et al., 1988) ainsi que par les restes de la faune chassée qui montrent la persistance du bouquetin, de l'isard, du renne, la présence du lièvre variable et du lagopède jusqu'à la fin du Tardiglaciaire.

La fin de cette période, vers 11 700 cal BP, est marquée par une forte insolation estivale et un réchauffement global. On entre alors dans l'Holocène. Les espèces chaméphytiques ou herbacées steppiques et héliophiles régressent de même que le pin et le bouleau, concurrencés par les feuillus caducifoliés, en particulier les chênes et le noisetier.

4 - Conclusion

Dans le versant nord des Pyrénées, la fin du Pléniglaciaire a été caractérisée par la persistance des glaciers à basse altitude. Ils s'y sont maintenus jusqu'au début de la Last Termination, vers 17 500-15 000 cal BP. Encore peu connues, les étapes de la déglaciation n'ont probablement pas été identiques d'un bout à l'autre de la chaîne. Comme le montrent les exemples des glaciers du Gallego et du Valira, la rapidité du retrait glaciaire a été fonction des conditions climatiques régionales.

A la fin du Pléniglaciaire, jusque vers 17 000 cal BP, en fonction des conditions stationnelles, des formations végétales de type steppe ou toundra ont existés. Les arbres étaient alors dans des habitats protégés et disséminés.

Vers 17 000 cal BP, l'extension des formations à armoise (*Artemisia*) ainsi que la présence plus ou moins régulière de grains de pollen de ligneux (*Juniperus*, *Salix*, *Betula*) reflètent une amélioration climatique. Elle va s'accélérer au Bölling, à partir de 14 700 cal BP environ, comme en témoigne la forte augmentation du Bouleau. A l'Alleröd, l'essor du Pin vers 14 075 cal BP augmente fortement le couvert forestier. L'interstade du Dryas récent entre 12 900 et 11 700 cal BP interrompt cette dynamique. On observe alors, selon les régions, un développement plus ou moins marqué des espèces steppiques ou héliophiles.

Vers 11 700 cal BP, l'extension des feuillus caducifoliées (chênes et noisetier) marque le début de l'Holocène.

5 - Bibliographie

Allen, J. R.M., Huntley, B., Watts, W.A., 1996. The vegetation and climate of northwest Iberia over the last 14000 yr. *Journal of Quaternary Science* 11, 2, 125-147.

Andersen, K.K., Svensson, A., Johnsen, S.J., Rasmussen, S.O., Bigler, M., Röthlisberger, R., Ruth, U., Siggaard-Andersen, M-L., Steffensen, J.P., Dahl-Jensen, D., Vinther, B.M., Clausen, H. B., 2006. The Greenland Ice Core Chronology 2005, 15-42ka. Part 1 : constructing the time scale. *Quaternary Science Reviews* 25, 3246-3257.

Andrieu, V., 1987. Le paléo-environnement du piémont nord pyrénéen occidental de 27 000 BP au Postglaciaire : la séquence de l'Estarès (Pyrénées atlantiques, France) dans le bassin glaciaire d'Arudy. *Compte Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 304, série 2, 103-108.

Andrieu, V., 1991. Dynamique du paléoenvironnement de la vallée montagnarde de la Garonne (Pyrénées centrales, France) de la fin des temps glaciaires à l'actuel. Thèse, Université Toulouse 2, 330 pp.

Andrieu, V., Hubschman, J., Jalut, G., Hérail, G., 1988. Chronologie de la déglaciation des Pyrénées françaises. Dynamique de sédimentation et contenu pollinique des paléolacs : application à l'interprétation du retrait glaciaire. *Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire* 213, 55-67.

Andrieu, V., Eicher, U., Reille, M., 1993. La fin du dernier Pléniglaciaire dans les Pyrénées (France) : données polliniques, isotopiques et radiométriques. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris* 316, 2, 245-250.

Aubert, S., 1993. Etude palynologique de la tourbière de la Bassa d'Ulès (Val d'Aran, Espagne). D.E.A. Université de Toulouse le Mirail, Toulouse 2, 34 pp.

Aubert, S., 2001. Limite supérieure de la forêt, climat et anthropisation : dynamique tardiglaciaire et holocène de la végétation dans la vallée du Marcadau (Hautes Pyrénées, France). Thèse, Université Toulouse 3, 365 pp.

Aubert S., Belet, J.M., Bouchette, A., Otto, T., Dedoubat, J.J., Fontugne, M., Jalut, G., 2004. Dynamique tardiglaciaire et holocène de la végétation à l'étage montagnard dans les Pyrénées centrales. *Comptes Rendus Biologies* 327, 381-388.

Bakalowicz, M., Sorriaux, P., Ford, D.C., 1984. Quaternary glacial events in the Pyrenees from U. series dating of speleothems in the Niaux-Lombrives-Sabart Caves, Ariège, France. *Norsk Geografisk Tidsskrift* 38, 193-197.

Braconnot, P., 2004. Modéliser le dernier maximum glaciaire et l'Holocène moyen. *Comptes Rendus Geoscience* 336, 711-719.

Belet, J.M., 2001. Variations tardiglaciaires et holocènes de la limite supérieure de la forêt dans les Pyrénées centrales : l'exemple du vallon d'Estibère (Hautes Pyrénées, France). Thèse, Université Paul Sabatier, Toulouse 3, 245 pp.

Björck, S., Walker, M.J.C., Cwynar, L.C., Johnsen, S., Knudsen, K.L., Lowe, J.J., Wohlfarth, B., and Intimate Members, 1998. An event stratigraphy for the Last Termination in the North Atlantic region based on the Greenland ice-core record : a proposal by INTIMATE group. *Journal of Quaternary Science* 13, 4, 283-292.

Bordonau, J., 1992. Els complexos glacio-lacustres regionats amb el darrer cicle glacial als Pirineus. *Geoforma Editiones*, Logrono, 251 pp.

Bordonau, J., Serrat, D., Vilaplana, J.M., 1992. Las fases glaciares cuaternarias en los Pirineos. In : Cearreta, A., Ugarte, F.M. (Eds), *The Late Quaternary in the western Pyrenean region*. Servicio Editorial Universidad des Pais Basco, Bilbao, Spain, 303-312.

Bordonau, J., Vilaplana, J.M., Fontugne M., 1993. The glaciolacustrine complex of Llestui (Central Southern Pyrenees): New data concerning the chronology of the last glacial cycle in the Pyrenees. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, 316, 2, 807-813.

Calvet, M., 2004. The Quaternary glaciation of the Pyrenees. *Quaternary Glaciations-Extent and chronology*. Ed. J. Ehlers and P.L. Gibbard, Elsevier B.V., 119-128.

COHMAP Members, 1988. Climatic changes of the last 18, 000 years : observations and model simulations. *Science* 241, 1043-1052.

Delmas, M., Yanni, G., Brocher, R., Calvet, M., Bourlès, D., 2008. Exposure age chronology of the last glaciation in the eastern Pyrenees. *Quaternary Research* 69, 231-241.

Desprat, S., Sanchez Goni, M.F., Loutre, M.F., 2003. Revealing climatic variability of the last three millenia in northwestern Iberia using pollen influx data. *Earth and Planetary Science Letters* 213, 63-78.

Gangloff, P., Courchesne, F., Héty, B., Jalut, G., Richard, P., 1991. Découverte d'un paléolac sur le piémont des Pyrénées Atlantiques (France). *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* 35, 4, 463-478.

Gómez-Ortiz, A., Martí-Bono, C.E., Salvador, F., 2001. Evolución reciente de los estudios de Geomorfología glacial y periglacial en España (1980-2000): balance y perspectivas. Aportación española a la Ve conferencia internacional de geomorfología; (Antonio Gómez-Ortiz & Alfredo Pérez-González, Editeurs) *Sociedad Española de Geomorfología et Servei de Gestió i Evolució del Paisatge* (UB), Barcelona-Madrid, 139-184.

Gonzalez Samperiz, P., Valero-Garces, B. L., Moreno, A., Jalut, G., Garcia-Ruiz, J.M., Marti-Bono, C., Delgado-Huerta, A., Otto, T., Dedoubat, J.J., 2006. Climate variability in the Spanish Pyrenees for the last 30000 yr : El Portalet peatbog sequence. *Quaternary Research* 66 : 38-52.

Guiter, F., Andrieu-Ponel, V., Digerfeld, G., Reille, M., de Beaulieu, J.J., Ponel, Ph., 2005. Vegetation history and lake-level changes from the Younger Dryas to the present in Eastern Pyrenees (France) : pollen, plant macrofossils and lithostratigraphy from lake Racou (2000m a.s.l.). *Vegetation History and Archaeobotany* 14, 2, 99-118.

Hérail, G., Jalut, G., 1986. L'obturation de Sost (Haute Garonne) : données nouvelles sur le paléoenvironnement de la phase de progression du glacier würmien dans les Pyrénées centrales. *Compte Rendus de l'Académie des Sciences*, Paris, II, 303, 8, 743-748.

Hérail, G., Hubschman, J., Jalut, G., 1986. Quaternary glaciation in the French Pyrenees. In Quaternary glaciations in the northern hemisphere. Report of the international Geological Correlation Programme, project 24, Sibrava V., Bowen D.Q., Richmond G.M. eds. Quaternary Science Reviews 5, 397-402.

Hubschman, J., 1984. Glaciaire ancien et glaciaire récent : analyse comparée de l'altération de moraines terminales nord-pyrénéennes. Colloque « Montagnes et Piémonts », Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest, Travaux, I, 313-332.

Izard, M., 1985. Végétation des Pyrénées : Le climat. Dans « Dupias, G., Végétation des Pyrénées. Notice détaillée de la partie pyrénéenne des feuilles 69-Bayonne, 70-Tarbes, 71-Toulouse, 72-Carcassonne, 76-Luz, 77-Foix, 78-Perpignan ». Carte de la végétation de la France au 200 000^e, Editions du CNRS, 17-36.

Jalut, G., 1974 a. Evolution de la végétation et variations climatiques durant les quinze derniers millénaires dans l'extrémité orientale des Pyrénées. Thèse Université Paul Sabatier, Toulouse 3, 181 pp.

Jalut G., 1974 b. Analyse pollinique de la tourbière de la Moulinasse : versant nord oriental des Pyrénées. Pollen et Spores 15, 3-4: 471-509.

Jalut, G., Sacchi, D., Vernet, J.L., 1975. Mise en évidence d'une refuge tardiglaciaire à moyenne altitude sur le versant nord-oriental des Pyrénées (Belvis, alt. 960m, Aude. Compte rendus de l'Académie des Sciences, Paris, 280, série D, 1781-1784.

Jalut, G., 2006. Le Bassin Méditerranéen. Climats et Environnements extrêmes depuis 20 000 ans : Le couvert végétal reflet du climat. Colloque, Maison Méditerranéenne des Sciences de l'Homme, Aix en Provence, 27-28 mars 2006 (inédit).

Jalut, G., Delibrias, G., Dagnac, J., Mardones, M. et Bouhours, M., 1982. A palaeoecological approach to the last 21,000 years in the Pyrénées: the peat bog of Freychinède (alt. 1350 m, Ariège, South France). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 40, 321-359.

Jalut, G., Andrieu, V., Delibrias, G., Fontugne, M., Pagès P., 1988. Palaeoenvironment of the valley of Ossau (Western French Pyrénées) during the last 27000 years. Pollen et Spores 30, 3-4, 357-394.

Jalut, G., Montserrat Marti, J., Fontugne, M., Delibrias, G., Vilaplana, J.M., Julia, R., 1992. Glacial to Interglacial vegetation changes in the northern and southern Pyrénées : deglaciation, vegetation cover and chronology. Quaternary Science Reviews 11, 449-480.

Jalut G., Galop D., Belet J.M., Aubert S., Esteban Amat A., Bouchette A., Dedoubat J.J., 1998 . Histoire des forêts du versant nord des Pyrénées au cours des 30000 dernières années. *Journal de Botanique de la Société botanique de France* 5: 73-84.

Jalut G., Esteban Amat A., Gauquelin T., Aubert S., Iglesias M., Bouchette A., Belet J.M., 2000. Rôle du Genévrier thurifère dans la mise en place de la couverture végétale du sud de l'Europe à la fin du dernier épisode glaciaire. Actes du Colloque International "Le Genévrier thurifère (*Juniperus thurifera*) dans le Bassin Occidental de la Méditerranée: Systématique,

Ecologie, Dynamique et Gestion. Marignac (Haute Garonne, France), 26-27 septembre 1997. Les Dossiers forestiers 6, O.N.F. édit., Paris, 160-170,.

Jalut, G., Carrion J., David F., Gonzalez Samperiz P., Sanchez Goni M. F., Tonkov S., Willis K., 2005. The vegetation around the Mediterranean basin during the Last Glacial Maximum and the Holocene climatic optimum. Dans « The Mediterranean basin : the last two climatic extremes ». Environments in the Mediterranean basin. Map 1 : The Last Glacial Maximum (19500-16100 14C yr BP = 24000-18000 cal yr BP) ; Map 2 : The Holocene Optimum (9000-7000 14C yr BP = 11500 – 8500 cal yr BP), scale 1/7000 000. Explanatory notes of the maps », N. Petit-Maire and B. Vrielinck editors, MMSH-ANDRA-Commission de la Carte Géologique du Monde: 37-57.

Jalut, G., Turu i Michels, V., Dedoubat, J. J., Otto, T., Ezquerro Boticario, F. J., Fontugne, M., Fifield, K., Belet, J.M., Garcia de Celis, A., Redondo Vega, J.M., Santos Fidalgo, L., Vidal Romani, J.R., Palaeoenvironmental studies in western Cantabria (Spain) : the last 38000 years. Deglaciation, vegetation history and climatic changes (à paraître).

Johnsen, S.J., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N., Steffensen, J.P., Clausen, H.B., Miller, H., Masson-Delmotte, V., Sveinbjörnsdottir, A.E., White, J., 2001. Oxygen isotope and palaeotemperature records from six Greenland ice-core stations : Camp Century, Dye-3, GRIP, GISP2, Renland and North GRIP. Journal of Quaternary Science 16, 4, 299-307

Körner, C., 2003. Alpine plant life. Functional plant ecology of high mountain ecosystems. Springer ed., 344pp.

Mardones, M., 1982. Le Pléistocène supérieur et l'Holocène du piémont de Lourdes : le gisement de Biscaye (Hautes Pyrénées, France), étude palynologique, sédimentologique et géomorphologique. Thèse, Université Toulouse 2, 100 pp.

Mardonès, M., Jalut, G., 1983. La tourbière de Biscaye (alt. 409m, Hautes Pyrénées) : approche paléoécologique des 45000 dernières années. Pollen et Spores 25, 2, 163-212.

Miras, Y., Ejarque, A., Riera, S., Palet, J.M., Orengo, H., Euba, I., 2007. Dynamique holocène de la végétation et occupation des Pyrénées andorranes depuis le Néolithique ancien, d'après l'analyse pollinique de la tourbière de Bosc dels estanyons (2180m, Vall del Madriu, Andorre). Comptes Rendus Paleovol 6, 4, 291-300.

Mix, A.C., Bard, E., Schneider, R., 2001. Environmental processes of the ice age : land, oceans, glaciers (EPILOG). Quaternary Science Reviews 20, 627-657.

Montserrat-Martí, J., 1992. Evolucion glacial y postglacial del clima y la vegetacion en la vertiente sur del Pirineo : estudio palinologico. C.S.I.C., Monografias del Instituto Pirenaico de Ecologia, 6, 147pp.

Naughton, F., Sanchez Goni, M.F., Desprat, S., Turon, J-L., Duprat, J., Malaizé, B., Joli, C., Cortijo, E., Drago, T., Freitas, M.C., 2007. Present-day and past (Last 25000 years) marine pollen signal off western Iberia. Marine Micropaleontology 62, 91-114.

Pallas, R., Rodès, A., Braucher, R., Carcaillet, J., Ortuno, M., Bordonau, J., Bourlès, D., Vilaplana, J.M., Masana, E., Santanach, P., 2006. The late Pleistocene and Holocene

glaciation in the Pyrenees : a critical review and new evidence from ¹⁰Be exposure ages, south-central Pyrenees. *Quaternary Science Reviews* 25, 21-22, 2937-2963.

Penalba, M.C., 1989. Dynamique de la végétation tardiglaciaire et holocène du centre-nord de l'Espagne d'après l'analyse pollinique. Thèse, Université Aix-Marseille 3, 163 pp.

Pena Monné, J.L., Sancho, C., Lewis, C., McDonald, E., Rhodes, E., 2004. Datos cronologicos de las morrenas terminales del glaciar del Gallego y su relacion con las terrazas fluvio-glaciares (Pirineo de Huesca). In Pena Monné, J.L., Longares, L.A., Sanchez, M. (Eds.), *Geografía Física de Aragon, aspectos generales y tematicos*. Universidad de Zaragoza e Institucion Fernando el Catolico, Zaragoza, 71-84.

Petit-Maire, N., Bouysse, Ph., et 13 coll., 2000. Geological records of the recent past, a key to the near future world environments. *Episodes* 23,4, 230-246.

Peyron, O., Bégeot, C., Brewer, S., Heiri, O., Magny, M., Millet, L., Ruffaldi, P., Van Campo, E., Yu, G., 2005. Late-Glacial climatic changes in Eastern France (Lake Lautrey) from pollen, lake-levels and chironomids. *Quaternary Research* 64, 197-211.

Reille, M., 1993. New pollenanalytical researches at Freychinède, Ariège, Pyrenees, France. *Dissertationes Botanicae* 196 : 377-386.

Reille, M., Andrieu, V., 1993. Variations de la limite supérieure des forêts dans les Pyrénées (France) pendant le Tardiglaciaire. *Compte Rendus de l'Académie des Sciences, Paris*, 316, série 2, 547-551.

Reille, M., and Lowe, J.J., 1993. A re-evaluation of the vegetation history of the eastern Pyrenees (France) from the end of the Last Glacial to the Present. *Quaternary Science Reviews* 12, 47-77.

Reille, M., Andrieu, V., 1995. The late Pleistocene and Holocene in the Lourdes Basin, Western Pyrénées, France : new pollen analytical and chronological data. *Vegetation History and Archaeobotany* 4, 1-21.

Rodés, A., 2008. La última deglaciación en los Pirineos: Datación de superficies de exposición mediante 10Be y modelado numérico de paleoglaciares. Thèse, Université de Barcelone.

Roucoux, K.H., Shackleton, N.J., de Abreu, L., Schönfeld, J., Tzedakis, P.C., 2001. Combined marine proxy and pollen analyses reveal rapid Iberian vegetation response to North Atlantic millennial-scale climate oscillations. *Quaternary Research* 56, 128-132.

Sanchez Goni, M.F., Eynaud, F., Turon, J.L., Shackleton, N.J., 1999. High resolution palynological record off the Iberian margin : direct land-sea correlation for the Last Interglacial complex. *Earth and Planetary Science Letters* 171, 123-137.

Sanchez Goni, M.F., Turon, J.L., Eynaud, F., Gendreau, S., 2000. European climatic response to millenia-scale changes in the atmosphere-ocean system during the Last Glacial period. *Quaternary Research* 54, 394-403.

Sanchis, F., 2000. Etude palynologique de la tourbière de Clarens. D.E.S.U., Université Paul Sabatier, Toulouse 3, 57 pp.

Sancho, C., Peña-Monné, J.L., Lewis, C., McDonald, E., Rhodes, E., 2003. Preliminary dating of glacial and fluvial deposits in the Cinca river valley (NE Spain) : chronological evidences for the Glacial maximum in the Pyrenees. In : Ruiz-Zapata, B., Dorado-Valiño, M., Valdeomillos, A., Gil-García, M.J., Bardají, T., Bustamante, L., Mendizábal, L. (eds), Quaternary Climatic Changes and environmental crises in the Mediterranean Region. Alcalá de Henares, Madrid, 169-174.

Sorriaux, P., 1981. Etude et datation de remplissages karstiques : nouvelles données sur la paléogéographie quaternaire de la région de Tarascon (Pyrénées ariégeoises). Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris, II, 293, 706-706.

Svensson, A., Andersen, K.K., Bigler, M., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Davies, S.M., Johnsen, S.J., Muscheler, R., Rasmussen, S.O., Röthlisberger, R., Steffensen, J.P., Vinther, B.M., 2006. The Greenland Ice Core Chronology 2005, 15-42ka. Part 2: comparison to other records. Quaternary Science Reviews 25, 3258-3267.

Tarasov, L., Peltier, W.R., 2006. A calibrated deglacial drainage chronology for the North American continent: evidence of an Arctic trigger for the Younger Dryas. Quaternary Science Reviews 25, 659-688.b

Turu i Michels, V., et Peña-Monné, J., L., 2006. Ensayo de reconstrucción cuaternaria de los valles del Segre y Valira (Pirineos Orientales) : morrenas y terrazas fluviales. IX reunion nacional de Geomorfologia, (SEG), Santiago de Compostela 12-15 de septiembre 2006. Poster.

Turu, V., Boulton, G.S., Ros, X; Peña-Monné, J.L., Martí-Bono, C., Bordonau, J., Serrano-Cañadas, E., Sancho-Marcén, C., Constante-Orrios, A., Pous, J., Gonzalez-Trueba, J.J., Palomar, J., Herrero, R., Garcia-Ruiz, J.M. , 2007. Structure des grands bassins glaciaires dans le nord de la Péninsule Ibérique: comparaison entre les vallées d'Andorre (Pyrénées Orientales), du Gállego (Pyrénées Centrales) et du Trueba (Chaîne Cantabrique). Quaternaire 18, 4, 309-325.

Uzquiano, P., 1992. Recherches anthracologiques dans le secteur Pyrénéo-Cantabrique (Pays basque, Cantabria et Asturias) : environnements et relations homme-milieu au Pléistocène supérieur et au début de l'Holocène. Thèse, Université Montpellier 2, 400 pp.

Van Vliet-Lanoë, B., Lisitsyna, O., Buoncristiani, J.F., Barnouin T., 2005. Permafrost and glacial extent at the Last Glacial Maximum and at the Holocene optimum. Dans « The Mediterranean basin : the last two climatic extremes ». Environments in the Mediterranean basin. Map 1 : The Last Glacial Maximum (19500-16100 14C yr BP = 24000-18000 cal yr BP) ; Map 2 : The Holocene Optimum (9000-7000 14C yr BP = 11500 – 8500 cal yr BP), scale 1/7000 000. Explanatory notes of the maps », N. Petit-Maire and B. Vrielinck editors, MMSH-ANDRA-Commission de la Carte Géologique du Monde: 23-32.

Vernet, J.L., 1980. La végétation du bassin de l'Aude, entre Pyrénées et Massif Central, au Tardiglaciaire et au Postglaciaire d'après l'analyse anthracologique. Review of Palaeobotany and Palynology 30, 33-55.

Vernet, J.L., 1997. L'Homme et la forêt méditerranéenne de la préhistoire à nos jours. Errance ed., 248p.

Vidal Romaní, J.R., Fernández-Mosquera, D., Marti, K., De Brum Ferreira, A., 1999. Nuevos datos para la cronología glacial pleistocena en el NW de la Península Ibérica; Cadernos Laboratorio Xeológico de Laxe 24, 7-29.

Viers, G., 1968. La carte du relief glaciaire des Pyrénées. Feuille de Mont Louis au 1/ 50 000. Revue Géographique des Pyrénées et du Sud-ouest 39, 4, 429-434.

Viers, G., 1971. L'englacement quaternaire des Pyrénées orientales et ses problèmes climatiques. Actes du Colloque : « Les milieux naturels supraforestiers des montagnes du bassin occidental de la Méditerranée », Perpignan, 57-64.

Vilaplana, J.M., Bordonau, J., 1989. Dynamique sédimentaire lacustre de marge glaciaire : le paléo-lac de Llestui (Noguera Ribagorçana, versant sud des Pyrénées). Bulletin de l'Association Française pour l'Etude du Quaternaire 4, 219-224.

Walker, M.J.C., 1995. Climatic changes in Europe during the Last Glacial / Interglacial Transition. Quaternary International 29, 63-76.

Walker, M.J.C., Björck, S., Lowe, J.J., Cwynar, L.C., Johnsen, S., Knudsen, K-L, Wolfarth, B., Intimate group, 1999. Isotopic « events » in the GRIP ice core : a stratotype for the Late Pleistocene ? Quaternary Science Reviews 18, 1143-1150.

Remerciements

Je tiens à remercier particulièrement Dominique Sacchi, Directeur de Recherches Emérite au CNRS pour ses précieux conseils et informations et Thierry Otto, Ingénieur d'Etudes au CNRS pour son aide technique déterminante.