

L'APPORT DES SÉRIES DENDROCHRONOLOGIQUES FRANÇAISES AU PROLONGEMENT DE LA CHRONOLOGIE EUROPÉENNE ABSOLUE ET À LA CALIBRATION DU RADIOCARBONE

FRENCH LATEGLACIAL TREE-RING CHRONOLOGIES: A CONTRIBUTION TO EXTEND ABSOLUTE TREE-RING CHRONOLOGY AND RADIOCARBON CALIBRATION CURVE

CÉCILE MIRAMONT¹, FRÉDÉRIC GUIBAL¹, KLAUS FELIX KAISER^{2/3}, BERND KROMER⁴, MARIO SGIER^{2/3},
OLIVIER SIVAN⁵, MICHAEL FRIEDRICH⁶, SAHRA TALAMO⁷

¹ Institut Méditerranéen d'Ecologie et de Paléoécologie, UMR 6116-CNRS, Europôle méditerranéen de l'Arbois, Batiment Villemin, BP 80, F 13545 Aix-en-Provence cedex 04.

² Swiss Fed. Research Institute WSL, CH 8903 Birmensdorf,

³ Department of Geography, University of Zurich, Winterthurerstrasse 190, CH 8057 Zurich.

⁴ HeidelbergAcademy of Sciences, INF 229, D 69120 Heidelberg.

⁵ Institut National de Recherches Archéologiques Préventives / CEPAM UMR 6130-CNRS,
24 avenue de la Grande Bégude Immeuble le Mozart, F 13770 Venelles.

⁶ Institute of Botany (210), University of Stuttgart-Hohenheim, D 70593 Stuttgart.

⁷ Max Planck Institute for Evolutionary Anthropology, Department of Human Evolution, D 04103 Leipzig.

Contact : cecile.miramont@univ-provence.fr

RÉSUMÉ

Jusqu'au début de l'Holocène, l'étalonnage de l'échelle des temps radiocarbone repose sur la chronologie de cernes absolue européenne qui remonte jusqu'en 12594 cal BP (Schaub et al., 2008a). Au-delà, des séquences dendrochronologiques tardiglaciaires existent mais un hiatus les sépare encore de la chronologie absolue. L'enjeu est de relier les séquences absolues et flottantes, étendant ainsi la courbe de calibration du radiocarbone jusqu'au début du Tardiglaciaire, évitant ainsi les incertitudes liées aux variations d'effet-réservoir dont souffrent les courbes de calibrations basées sur les données marines. Les objectifs de cet article sont de présenter (1) les avancées récentes dans la constitution des chronologies tardiglaciaires européennes et (2) les potentialités offertes par les chronologies de cernes flottantes tardiglaciaires issues des arbres subfossiles (Pinus silvestris) découverts dans les Alpes du sud. Ces arbres fournissent de nouvelles chronologies moyennes datées du Bölling-Alleröd et du Dryas Récent. Elles permettent, par la méthode du « wiggle matching » de combler le hiatus existant entre la séquence absolue européenne et les séquences flottantes.

MOTS-CLÉS : BOIS SUBFOSSILE, PINUS SILVESTRIS, TARDIGLACIAIRE, RADIOCARBONE, CHRONOLOGIE ABSOLUE, CHRONOLOGIES FLOTTANTES, « WIGGLE MATCHING ».

ABSTRACT

Absolutely dated tree ring chronologies have been used to establish a high precision radiocarbon data set. That serves as a backbone for the absolute calibration of the radiocarbon time-scale back to 12594 cal BP (Schaub et al., 2008a). Lateglacial floating tree ring chronologies exist but a gap still remains between them and the absolute European chronology. The challenge is to link absolute and Lateglacial chronologies, overcoming uncertainties due to changes in the reservoir age of marine data used for the radiocarbon calibration before the onset of the Holocene. In this paper (1) we will give the actual 'state of the art' of existing absolutely dated tree-ring chronology and floating tree-ring chronologies of the LateGlacial and (2) we will present potential revealed by floating chronologies (Pinus silvestris) from Southern French Alps. The French Lateglacial floating chronologies are dated to Bölling-Alleröd and to onset of Younger Dryas. By means of wiggle-matching method, these new tree-ring based 14C records bridge the gap between European tree-ring based radiocarbon dating series.

KEYWORDS: SUBFOSSIL PINES, LATEGLACIAL, RADIOCARBON, ABSOLUTE CHRONOLOGIES, FLOATING CHRONOLOGY, WIGGLE MATCHING.

INTRODUCTION

La datation au radiocarbone constitue un outil universel et incontournable pour dater de façon absolue les vestiges organiques, sur lequel reposent les reconstitutions paléoenvironnementales, paléoclimatiques et archéologiques. Mais il est indispensable que les âges ^{14}C (exprimés en années BP, Before Present, le présent étant l'année 1950) puissent être étalonnés avec précision sur le calendrier solaire (âges exprimés en années calendaires : cal BP). Le décalage entre les dates ^{14}C et les années calendaires, du à la variabilité de la quantité de ^{14}C atmosphérique (Muscheler *et al.*, 2000), a été mis en évidence en mesurant l'âge radiocarbone des cernes de croissance de vieux arbres d'âges connus (Pearson *et al.*, 1993 ; Stuiver et Becker, 1993).

La calibration du radiocarbone jusqu'au début de l'Holocène, est réalisée grâce aux séries dendrochronologiques de référence pluri-millénaires établies à partir de bois archéologiques et de bois subfossiles (non encore minéralisés) (Stuiver *et al.*, 1998a,b ; Reimer *et al.*, 2004, 2009). Antérieurement, la calibration du radiocarbone est effectuée sur des enregistrements marins de varves ou de coraux (Reimer *et al.* 2002 ; 2004 ; Bard *et al.* 2004 ; Hughen *et al.* 2004). Mais, les eaux de surface où vivent les organismes marins possèdent une teneur en radiocarbone intermédiaire entre l'atmosphère et les eaux profondes pauvres en ^{14}C . Ainsi, un décalage d'âge existe entre des organismes contemporains continentaux et marins : c'est

ce que l'on appelle l'effet-réservoir mondial (R) qui est égal à 400 ans pour l'ensemble de l'Holocène. Les travaux récents montrent que R n'est pas uniforme dans le temps ni dans l'espace en particulier pour le Tardiglaciaire, induisant ainsi des incertitudes dans la calibration des temps radiocarbone (Stuiver et Braziunas, 1993 ; Fairbanks *et al.*, 2005 ; Kromer *et al.*, 2004 ; Cao *et al.* 2007 ; Hua *et al.*, 2009).

Ainsi, seuls les arbres peuvent fournir des mesures fiables de la teneur en radiocarbone atmosphérique à une échelle de temps calendaire. Pour cette raison, il apparaît aujourd'hui fondamental de prolonger la courbe de calibration du ^{14}C obtenue à partir des chronologies de cernes. A l'heure actuelle, la plus longue chronologie servant de référence pour la calibration du radiocarbone couvre les 12 594 dernières années (Shaub *et al.*, 2008a ; Hua *et al.*, 2009). Récemment, de nouvelles découvertes de bois subfossiles dans le Sud de la France et dans les environs de Zurich fournissent des chronologies de cernes qui peuvent permettre la prolongation de la calibration du radiocarbone. Les objectifs de l'article sont :

- présenter les avancées récentes en matière de calibration du radiocarbone à partir des données de cernes ;
- présenter l'apport et les potentialités des données dendrochronologiques des bois subfossiles découverts dans les Alpes du Sud.

I - LES ÉTAPES RÉCENTES DANS LA CALIBRATION DU RADIOCARBONE

1 - La construction de la chronologie absolue

La chronologie absolue (ou chronologie de référence) européenne a été construite en plusieurs étapes. L'équipe de B. Becker du laboratoire d'Hohenheim a constitué, à partir de plus de 4400 troncs de chênes subfossiles provenant des terrasses alluviales des grands fleuves d'Europe centrale (Main, Danube, Rhin...) une longue chronologie qui s'étend jusqu'à 10429 cal BP (Holocene Oak Chronology, HOC, Becker 1993 ; Friedrich et Henning 1996 ; Spurk *et al.*, 1998). Au-delà de cette date, les arbres subfossiles découverts dans les alluvions des mêmes sites sont des pins sylvestres qui ont été synchronisés en une chronologie flottante (Preboreal Pine Chronology PPC). La co-existence des pins et des chênes dans les forêts alluviales est courte, mais néanmoins suffisante pour permettre la synchronisation des séquences de cernes des deux espèces. Ainsi, avec l'appui de la méthode du « wiggle matching », Spurk *et al.* (1998) et Friedrich *et al.* (1999) étendent la chronologie de référence jusqu'en 11919 cal BP, puis jusqu'en 12410 cal BP (Friedrich *et al.*, 2004), fournissant ainsi les données nécessaires à la courbe de calibration du radio-

carbone Intcal04 (Reimer *et al.*, 2004). Les travaux les plus récents réalisés dans les environs de Zurich (Gaenziloh, Birmensdorf) permettent aujourd'hui de reculer cette limite à 12594 cal BP (Shaub *et al.*, 2008a ; Hua *et al.*, 2009) ; ils sont intégrés à la nouvelle courbe de calibration Intcal09 (Reimer *et al.*, 2009) (Figure 1).

2 - Les chronologies flottantes tardiglaciaires

De nombreuses chronologies flottantes existent pour la période Tardiglaciaire (Figures 1 et 2). En France, dans les Alpes du Sud, de très nombreux gisements de pins subfossiles holocènes et tardiglaciaires ont été repérés dans la région de Sisteron (Sivan et Miramont, 2008; Miramont *et al.*, 2000ab). Ils ont permis de construire des chronologies flottantes pluricentennales datées de la transition Bölling-Alleröd (~12000-11800 BP) et du Dryas Récent (~10600 BP). En Italie, à la suite des travaux de Corona (1984), Friedrich *et al.*, (1999) ont construit les deux chronologies flottantes les plus anciennes (Older Dryas Larch Chronologies - ODLC), couvrant une partie

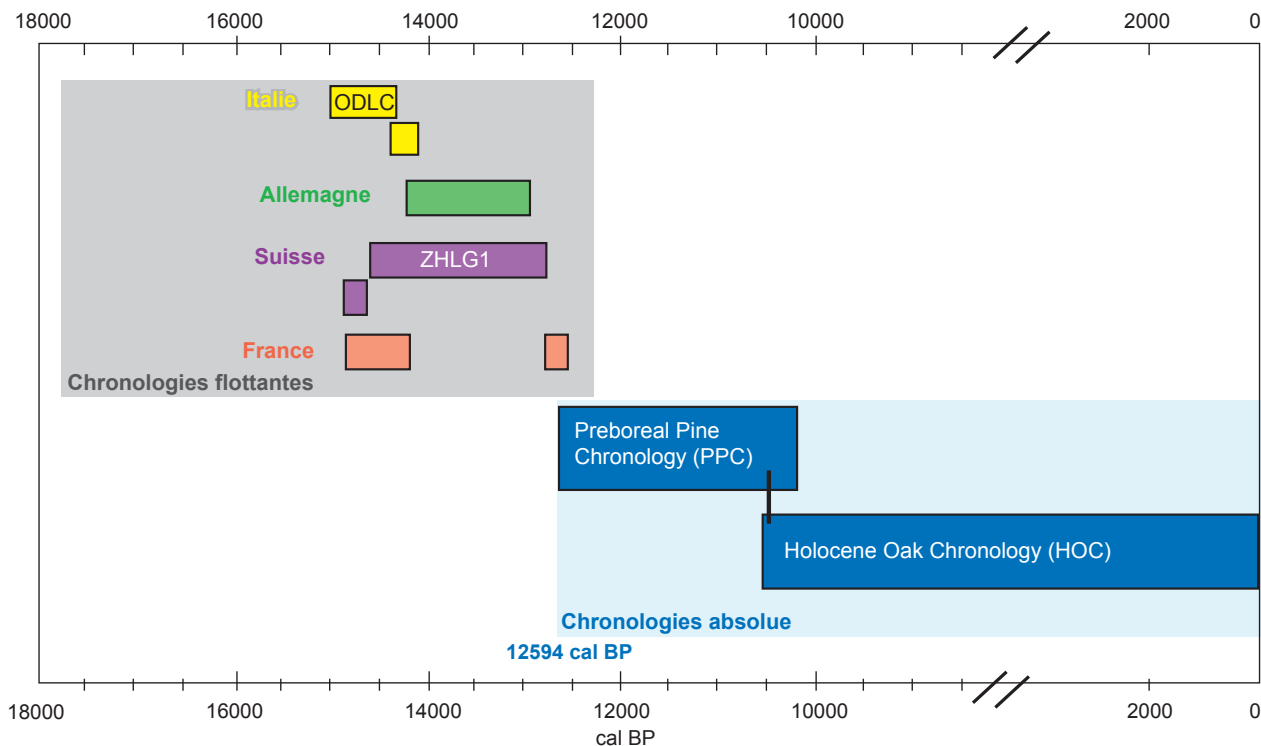


Figure 1 - Inventaire simplifié des chronologies flottantes et absolues européennes (d'après Friedrich et al., 2001, modifié).

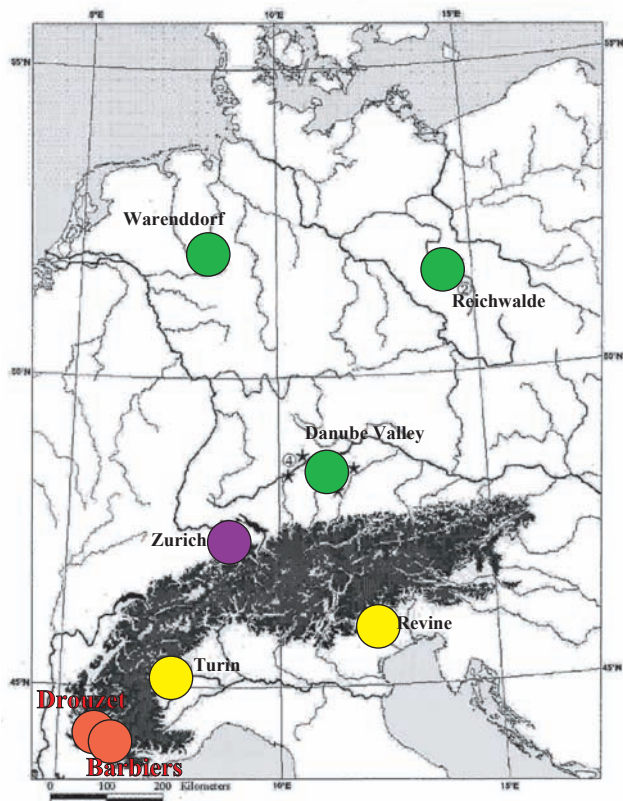


Figure 2 - Localisation des principaux gisements de bois sub-fossiles tardiglaciaires en Europe (d'après Friedrich et al. 2001, modifié).

du Bölling (~15200-14300 BP) à partir de mélèzes retrouvés dans des tourbières près de Revine. D'autres bois plus récents ont été découverts dans les environs de Turin datés du début de l'Alleröd. En Suisse, Kaiser (1993) puis Schaub *et al.* (2005, 2008 a, b) ont construit plusieurs chronologies flottantes à partir de pins sylvestres découverts dans des colluvions de pied de versant des environs de Zurich. La plus ancienne couvre la fin du Bölling et le début de l'Alleröd. La plus longue chronologie (ZHLG1) couvre une période de 1420 ans de l'Alleröd au début du Dryas Récent (~14170-12750 cal BP). En Allemagne, Friedrich *et al.*, (1999, 2001) a construit plusieurs longues chronologies pluri-centenaires flottantes à partir de pins fossilisés dans des dépôts d'alluvions du nord et de l'est du pays et de la vallée du Danube.

Au-delà de toute attente, Friedrich *et al.* (2001) sont parvenus à synchroniser, avec de très bons coefficients de corrélation, les séquences de cernes provenant du nord, de l'est, du sud de l'Allemagne, de la région de Zurich et du nord de l'Italie en une longue chronologie de 1051 ans. Ce résultat suggère l'importance du contrôle des températures sur la croissance des arbres (*Pinus sylvestris*) à cette période. Dans ces chronologies flottantes plurimillénaires tardiglaciaires sont reconnus des changements climatiques majeurs tels que le refroidissement du Dryas Ancien ou l'oscillation de Gerzensee (Friedrich *et al.* 2001 ; Schaub, 2008b).

3 - Un hiatus dendrochronologique à la transition entre l'Alleröd et le Dryas Récent

Malgré l'abondance des données disponibles, la connexion dendrochronologique entre la chronologie absolue et les chronologies flottantes tardiglaciaires n'est pas encore réalisée. Un hiatus persiste au début du Dryas Récent. Il s'explique par des découvertes d'arbres moins fréquentes, conséquences de la dégradation climatique bien connue pour cette période.

La croissance des arbres est irrégulière, le bois n'est pas toujours bien préservé et les chronologies individuelles sont plus courtes que lors des autres périodes du Tardiglaciaire (Schaub *et al.*, 2008a). L'enjeu est important puisque le comblement de ce hiatus permettrait de rallonger de plus de 1800 ans la calibration de l'échelle des temps radiocarbone sur données continentales, résolvant ainsi les incertitudes de calibration liées aux variations de l'effet-réservoir au début du Dryas Récent (Muscheler *et al.*, 2008, Hua *et al.*, 2009).

II - A LA RECHERCHE DU CHAÎNON MANQUANT : LES TRAVAUX MENÉS DANS LES ALPES DU SUD

1 - Les gisements de pins sylvestres subfossiles

De très nombreux gisements d'arbres subfossiles holocènes et tardiglaciaires ont été recensés dans les Alpes du Sud, en particulier dans la Moyenne Durance aux environs de Sisteron (Figure 3) (Archambault, 1967, 1968, Delibrias *et al.*, 1984, Gautier, 1992, Rosique 1994, 1996, Miramont, 1998, Rousset et Guiomar, 1999 ; Sivan, 2002, ; Miramont *et al.*, 2000ab ; Magny *et al.*, 2002 ; Sivan *et al.*, 2006 ; Sivan

et Miramont, 2008). Leur présence est liée à l'intensité des processus érosifs et sédimentaires. Le substrat géologique est majoritairement marneux (« terres noires » callovo-oxfordiennes) ; les dénivelées sont importantes ; l'agressivité du climat montagnard est renforcée par l'intensité et l'irrégularité des précipitations de régime méditerranéen.

Les souches apparaissent dans les fonds des torrents ou dans les berges, parfois sur plusieurs niveaux stratigraphiques superposés (Figures 4 et 5). Les diamètres moyens des souches s'étendent entre 25 et 38 cm et

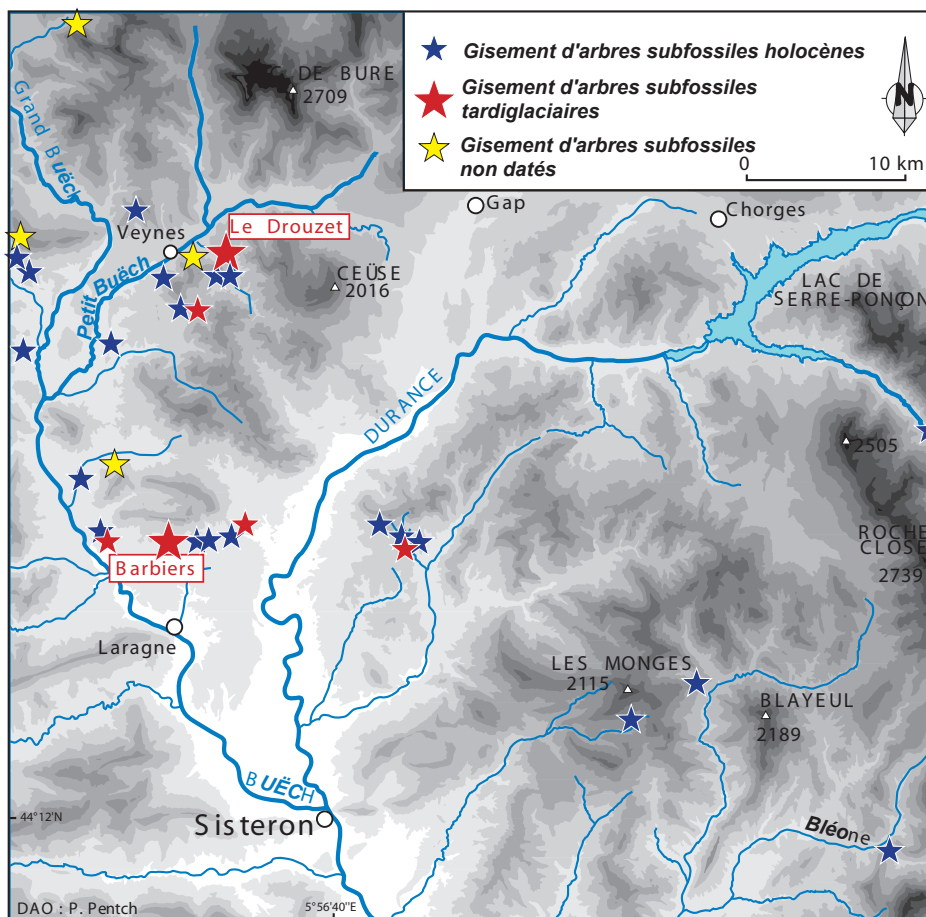


Figure 3 - Localisation des gisements d'arbres subfossiles dans les Alpes du Sud.

Figure 4 - Un pin sylvestre subfossile dans le torrent du Drouzet (environ 14 000 cal BP). L'arbre apparaît à la faveur de l'incision du torrent, enfouis dans des limons-sableux.



Figure 5 - Les pins sylvestres du torrent des Barbiers (environ 12 700 cal BP).



leur hauteur conservée est souvent d'un mètre. Les âges moyens sont ceux d'individus adultes, entre 130 et 300 ans au moment de leur fossilisation. Il est difficile de les distinguer de souches d'arbres morts récemment si ce n'est par leur position anormale dans les torrents et leur odeur très particulière due à la résine qui se dégage lors de leur échantillonnage à la tronçonneuse. Pourtant les « anciens » du pays connaissaient bien ces bois étranges qui apparaissaient dans les torrents. Ils racontent encore comment, lorsque le manque de bois de chauffage se faisait trop cruellement sentir, ils brûlaient dans le poêle ou la cheminée les « tias » (nom local donné aux pins subfossiles). Ils ne le faisaient que rarement car une odeur désagréable envahissait alors leur maison ! Certains racontent même qu'ils en utilisaient des morceaux pour fabriquer des torches pour aller pêcher la nuit !

2 - Chronologies de cernes et datations radiométriques

Les travaux récents ont porté en priorité sur les gisements de pins datés du Tardiglaciaire dans le but de trouver des séquences de cernes permettant de prolonger la chronologie européenne absolue et d'améliorer la réplique des chronologies flottantes. Deux sites principaux ont été étudiés : le torrent du Drouzet et celui des Barbiers (Figure 3). Les chronologies de cernes ont été mesurées sous loupe binoculaire. Les tests de synchronisation, effectués à l'aide du logiciel TSAP (Rinn, 2003), se fondent sur le pourcentage de coïncidence (Gleichlaufigkeit), sur le *t* de Student calculé sur les séries indicées (Baillie et Pilcher, 1973) et sur la longueur de chevauchement entre les chronologies. Les positions les plus intéressantes parmi celles délivrées par les tests statistiques font systématiquement l'objet d'une vérification de la concordance visuelle des courbes de croissance correspondantes.

a - Des enregistrements à haute résolution dès la fin du Bölling

Le site du torrent du Drouzet (44°32'N ; 5°51'50E), affluent de rive gauche du Petit Buëch, repéré il y a une dizaine d'années par Sivan (2002), est un gisement important de pins subfossiles (Sivan et Miramont, 2008) dans lequel de nouveaux arbres ont été découverts en 2008. Plus d'une centaine d'arbres sont enracinés in situ dans des sédiments limoneux-sableux riches en macro-restes végétaux (débris de racines, pommes de pins, etc...). Les bois, enfouis sont répartis sur au moins trois niveaux stratigraphiques superposés. Ils témoignent de la reconquête forestière après le dernier maximum glaciaire et du début de la tendance à l'aggradation dans les rivières.

Des stress d'origine géomorphologiques ont perturbé la croissance de ces pins qui enregistrent des

chutes de croissance brutales, des périodes de croissance très faible et des cicatrices fréquentes. Malgré des difficultés, 72 chronologies d'arbres ont été mesurées et synchronisées en 6 séquences moyennes (DRA, DRB, DRC, DRD, DRE et DRF) (Figure 6a). Une dizaine d'arbres n'ont pu être interdatés encore. Une vingtaine de troncs sont encore en cours d'étude. Les âges radiocarbone (20 datations) s'échelonnent entre 12500 et 11800 BP (Bölling-Alleröd).

Certaines séquences individuelles présentent des tests de synchronisation assez bons avec les chronologies contemporaines suisses des environs de Zurich (chronologie DAETBOECH et ZCHLG1 Figure 6a (Kaiser *et al.* soumis). Si, aujourd'hui, l'interdatation des séries n'est pas encore assez robuste, la possibilité de rassembler les séquences de cernes dans une chronologie moyenne franco-suisse existe.

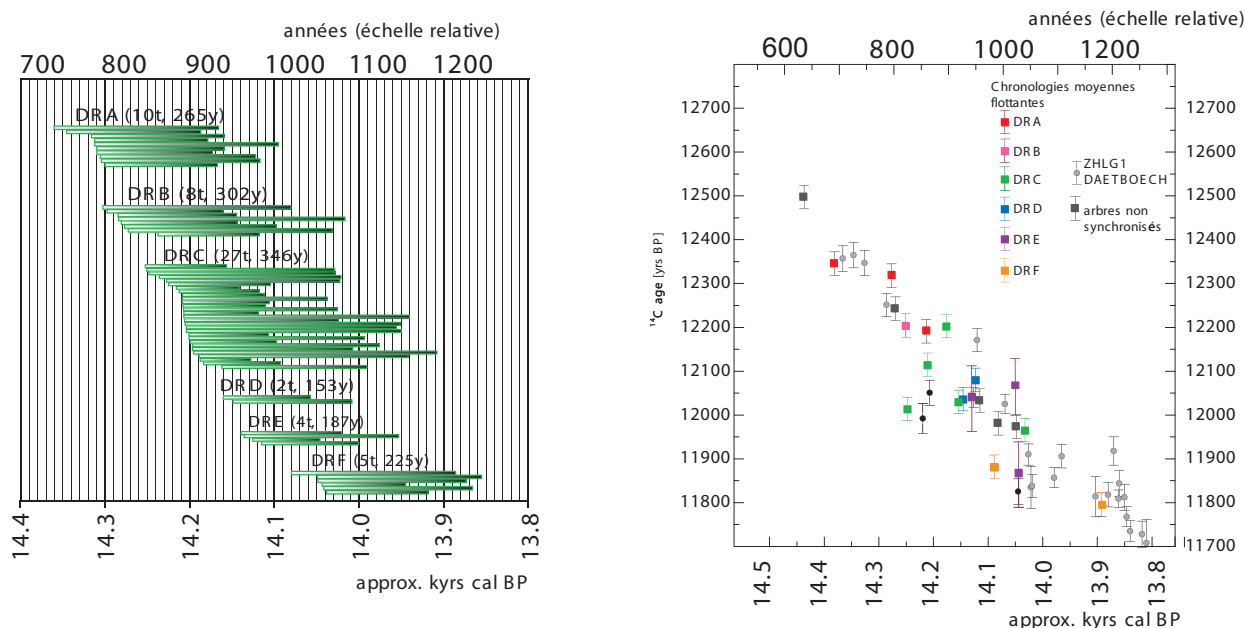
b - Des chronologies du Dryas récent : un lien possible entre chronologies flottantes et absolue

Le gisement de bois du torrent des Barbiers (44°21'11"N ; 5°49'50"E) a été repéré en 2000 (Sivan, 2002 ; Sivan et Miramont, 2008). Récemment, de nouveaux arbres ont été découverts dans un affluent de rive gauche. Au total, 18 arbres sont recensés, répartis dans trois couches de sédiments superposés.

Les datations radiocarbone (réalisées sur des échantillons de 10 cernes repérés dans les chronologies) montrent que les arbres du site des Barbiers sont datés à la transition entre l'Alleröd et le Dryas Récent. Ainsi, ce site revêt une importance majeure puisque les séries dendrochronologiques offrent la potentialité de combler le hiatus existant entre la chronologie absolue européenne et les longues chronologies tardiglaciaires flottantes.

Deux chronologies moyennes BARBA (6 arbres) et BARBB (3 arbres) ont été construites (Figure 6b). Les neuf autres bois analysés ont fourni des séquences individuelles qui ne sont pas synchronisées.

La méthode du « wiggle matching » (mise en concordance des oscillations des nuages de points représentant les datations radiocarbone des cernes de croissance) permet de positionner précisément dans le temps les séquences des cernes. Les deux chronologies moyennes BARBA et BARBB datées entre 11050 et 10600 BP enregistrent, comme la partie récente de la chronologie tardiglaciaire flottante de Zurich (ZHLG1, Schaub *et al.* 2008a,b), la diminution très rapide des âges radiocarbone qui caractérise le début du Dryas Récent (phénomène provoqué par une augmentation de la teneur en ¹⁴C atmosphérique) (Kromer *et al.* 2004). De plus, la forme du nuage de points constitué par les dates ¹⁴C réalisées sur l'arbre Barb17 composant la fin de la chronologie BARBA est similaire à celle des dates ¹⁴C des arbres constituant le début de la chronologie absolue (YDB). Ainsi



6 a - Site du Drouzet

6 b - Site des Barbiers

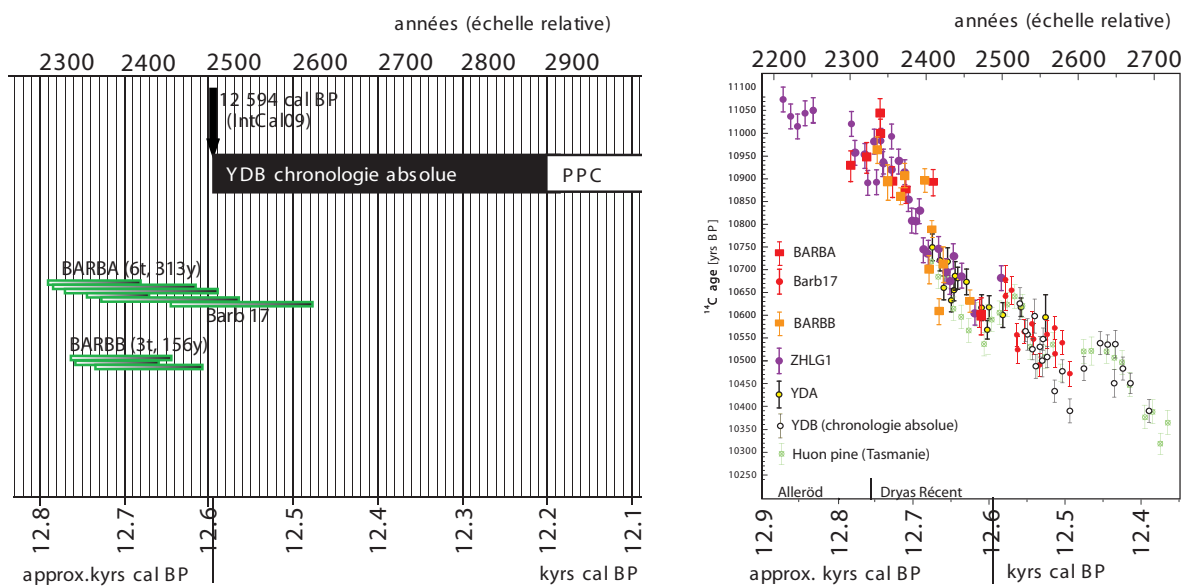


Figure 6 - Chronologies moyennes tardiglaciaires et datations radiocarbone dans les Alpes du sud. A gauche : séquences individuelles composant les chronologies moyennes. A droite : âges 14C des échantillons de bois (10 cernes) positionnés dans les séquences moyennes.

les séquences dendrochronologiques des Barbiers couvrent le hiatus temporel entre la chronologie absolue et les chronologies tardiglaciaires flottantes. Malheureusement, aucune synchronisation des variations de largeur des cernes n'a encore pu être établie entre les séquences suisses et françaises.

Nos résultats sont en parfaite concordance avec les données publiées par Hua *et al.* (2009) qui, grâce à la méthode du « wiggle matching » proposent de relier la chronologie absolue et les chronologies flottantes tardiglaciaires européennes, comblant ainsi le hiatus temporel (Figure 6b). La liaison est réalisée grâce à

des datations 14C d'arbres subfossiles (Huon Pine, *Lagarostrobos franklinii*) découverts dans les alluvions de la rivière Stanley dans le nord-ouest de la Tasmanie. Il est rassurant que les résultats obtenus en Moyenne Durance confirment ceux obtenus dans l'hémisphère Sud. En effet, la croissance très lente et irrégulière qui caractérise l'espèce endémique *Lagarostrobos franklinii* empêche toute synchronisation des séquences individuelles entre elles. Par ailleurs, des incertitudes demeurent sur la variabilité spatio-temporelle de la teneur en radiocarbone atmosphérique entre les deux hémisphères (Hua *et al.*,

2009 ; Hogg *et al.*, 2009). Selon le calendrier dendrochronologique, l'augmentation du ^{14}C atmosphérique qui marque le début du Dryas Récent (~12760 cal BP) a lieu ~240 ans plus tard que dans l'enregistrement marin de Cariaco (Hughen *et al.*, 2004) qui ne reflète pas directement les variations du ^{14}C atmosphérique

et qui est soumis à des changements d'effet-réservoir au cours du temps. Ainsi, pour l'intervalle 12550-12950 cal BP, les données marines de Cariaco ne sont pas utilisées dans la nouvelle version de la courbe de calibration Intcal09 (Reimer *et al.*, 2009).

CONCLUSION

Les séquences de cernes des arbres subfossiles de la Moyenne Durance permettent par la méthode du « wiggle matching » de couvrir le hiatus temporel entre la chronologie absolue qui remonte jusqu'en 12594 cal BP et la longue chronologie flottante tardiglaciaire suisse (ZHLG1), fournissant ainsi un calendrier continu du temps du radiocarbone pour les derniers 14000 ans. Mais, alors que de bonnes synchronisations entre les séquences moyennes tardiglaciaires du nord, de l'est, du sud-est de l'Allemagne et du plateau Suisse sont avérées, les arbres de Moyenne Durance ne permettent pas de couvrir le hiatus entre la chronologie absolue et les chronologies flottantes tardiglaciaires sur la seule base des corrélations dendrochronologiques. La situation géographique de la Moyenne Durance, à l'abri des

influences thermiques d'Europe du nord et de l'est, et exposée aux influences méditerranéennes explique sans doute cette absence de synchronisation. De plus, les perturbations de la croissance des arbres sous l'effet de stress géomorphologiques liés à leur enfouissement dans les dépôts alluviaux ajoutent une difficulté supplémentaire à l'interdatation.

La région des Alpes du sud bénéficie d'une situation méridionale qui en fait une région privilégiée pour y découvrir des bois subfossiles anciens, vestiges d'une recolonisation végétale précoce après le dernier maximum glaciaire. Ainsi, il est tentant de penser que, dans l'avenir, de nouvelles découvertes pourront autoriser les téléconnexions entre le nord, l'est et le sud des Alpes et combler ainsi le hiatus dendrochronologique.

Remerciements

Les recherches ont été financées par l'ESF dans le cadre du programme EUROCLIMATE "Dendrochronology, ^{14}C time-scale and mechanisms of rapid climate change during the last deglaciation (TREE_14, FP14)" et par le CNRS dans le cadre du projet PICS n° 4418 « Longues séquences dendrochronologiques, calibration et reconstitutions paléoclimatiques au Tardiglaciaire en Europe médiane et méditerranéenne ». La partie du projet à Zurich a été financée par le « Tiefbauamt des Kantons Zurich » (Otto Schnell) et supportée par l'Institut de la Recherche WSL, Birmensdorf. R. Bourdin, C. Bouterin, E. Brisset, H. Bruneton, J.L. Edouard, N. Fontvieille, A. Friedlander, Y. Monnier, F. Richard, T. Rosique, V. Robin, V. Tamisier, S. Valleteau et M. Weirich ont apporté leur concours lors des opérations de prélèvement des troncs sur le terrain. Que tous en soient remerciés.

BIBLIOGRAPHIE

- ARCHAMBAULT M., 1967. Découverte des restes d'une formation forestière fossile entre deux nappes colluviales quaternaires. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 265, 104-107.
- ARCHAMBAULT M., 1968. Recensement provisoire des arbres et des formations forestières fossiles du bassin de la Moyenne Durance (Hautes Alpes). *C.R. Acad. Sci. Paris*, 267, 101-2104 et 2284-2287.
- BAILLIE M.G.L., PILCHER J.R., 1973. A simple cross-dating program for tree-ring research. *Tree-Ring Bulletin*, 33, 7-14.
- BARD E., MENOT-COMBES G., ROSTEK F., 2004. Present status of radiocarbon calibration and comparison records based on Polynesian corals and Iberian Margin sediments. *Radiocarbon*, 46, 1189-1202.
- BECKER B., 1993. A 11,000-year German Oak and Pine dendrochronology for radiocarbon calibration. *Radiocarbon*, 35, 201-213.
- CAO L., FAIRBANKS R.G., MORTLOCK R.A., RISK M.J., 2007. Radiocarbon reservoir age of high latitude North Atlantic surface water during the last deglacial. *Quaternary Science Reviews*, 26, 732-742.
- CORONA E., 1984. Una curva trisecolare per larice del Dryas Antico. *Dendrochronologia*, 2, 83-89.
- DELIBRIAS G., GABERT, J., JORDA M., 1984. Données nouvelles sur la chronostratigraphie et l'évolution paléomorphologique postglaciaire des Alpes du Sud (Moyenne Durance). *C.R. Acad. Sci.*, II, 299, 263-266.
- FAIRBANKS R.G., MORTLOCK R.A., CHIU T.-C., CAO L., KAPLAN A., GUILDERSON T.P., FAIRBANKS T.W., BLOOM A.L., GROOTES P.M., NADEAU M.-J., 2005. Radiocarbon calibration curve spanning 0 to 50,000 years BP based on paired $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ and ^{14}C dates on pristine corals. *Quaternary Science Reviews*, 24(16-17), 1781-1796.

- FRIEDRICH M., HENNING H., 1996. Dendrodate for the Wehringen Iron Age wagon grave (778± 5 BC). *Journal of European Archaeology* 4, 281-303.
- FRIEDRICH M., KROMER B., SPURK M., HUGHEN K.A., JOHNSEN S.J., 2001. High-resolution climate signals in the Bølling-Allerød Interstadial (Greenland Interstadial 1) as reflected in European tree-ring chronologies compared to marine varves and ice-core records. *Quaternary Science Reviews*, 20, 1223-1232.
- FRIEDRICH M., KROMER B., SPURK H., HOFMANN J., KAISER K.F., 1999. Paleo-environment and radiocarbon calibration as derived from Lateglacial/Early Holocene tree-ring chronologies. *Quaternary International*, 61, 27-39.
- FRIEDRICH M., REMMELE S., KROMER B., HOFMANN J., SPURK M., KAISER K.F., ORCEL C., KÜPPERS M., 2004. The 12,460 year Hohenheim oak and pine tree-ring chronology from Central Europe - A unique annual record for radiocarbon calibration and paleo-environment reconstructions. *Radiocarbon*, 46 (3), 1111-1122.
- GAUTIER E., 1992. Recherches sur la morphologie et la dynamique fluviales dans le bassin du Buëch (Alpes du Sud). Thèse de géographie, Université de Paris-X-Nanterre, 439 p.
- HOGG A., PALMER J., BOSWIJK G., BRONK RAMSEY C., TURNER C., McCORMAC G., BROWN D., 2009. Assessment of the integrity of the Southern Hemisphere 14C calibration curve and its extension from AD 785 to 195 BC, with particular emphasis on the interhemispheric offset. In: Abstracts for the 20th International Radiocarbon Conference, 31 May–5 Jun 2009, Hawaii, USA, 6-7.
- HUA Q., BARBETTI M., FINK D., KAISER K. F., FRIEDRICH M., KROMER B., LEVCHENKO V. A., ZOPPI U., SMITH A., M. BERTUCH F., 2009. Atmospheric 14C variations derived from tree rings during the early Younger Dryas. *Quaternary Science Reviews*, 28 (25-26), 2982-2990.
- HUGHEN K.A., SOUTHON J.R., BERTRAND C.J.H., FRANTZ B., ZERMENO P., 2004. Cariaco basin calibration update: revisions to calendar and 14C chronologies for core PL07-58PC. *Radiocarbon*, 46, 1161–1187.
- KAISER K.F., 1993. Beiträge zur Klimageschichte vom Hochglazial bis ins frühe Holozän, rekonstruiert mit Jahrringen und Molluskenschalen aus verschiedenen Vereisungsgebieten. Ziegler Druck- und Verlags-AG, Winterthur, 206 p.
- KAISER K. F., FRIEDRICH M., MIRAMONT C., KROMER B., SGIER M., SCHAUB M., BOEREN I., REMMELE S., TALAMO S., GUIBAL F., SIVAN O., soumis. Challenging process to make the Late-glacial tree-ring chronologies from Europe absolute - an inventory. Submitted to *Quaternary Sciences Reviews*.
- KROMER B., FRIEDRICH M., HUGHEN K.A., KAISER K.F., REMMELE S., SCHAUB M., TALAMO S., 2004. Late Glacial 14C ages from a floating, 1382-ring pine chronology. *Radiocarbon*, 46 (3), 1203-1209.
- MAGNY M., MIRAMONT C., SIVAN O., 2002. Assessment of the impact of climate and anthropogenic factors on Holocene Mediterranean vegetation in Europe on the basis of palaeohydrological records. *Palaeogeography Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 186, 47-59.
- MIRAMONT C., 1998. Morphogenèse, activité érosive et détritisme alluvial holocènes dans le bassin de la moyenne Durance. Thèse de doctorat de Géographie, Université d'Aix-Marseille I, 286 p.
- MIRAMONT C., SIVAN O., EDOUARD J.L., JORDA M., ROSIQUE T., 2000a. Subfossil trees (*Pinus silvestris* L.) of the Durance basin (Southern Alps, France): environmental changes from Allerød to Atlantic. *Dendrochronologia*, 18, 83-89.
- MIRAMONT C., SIVAN O., ROSIQUE T., EDOUARD J.L., JORDA M., 2000b. Subfossil trees deposits in the middle Durance (Southern Alps, France). Environmental changes since Allerød to Atlantic. *Radiocarbon*, 42, 3, 423-435.
- MUSCHELER R., BEER J., WAGNER G., FINKEL R.C., 2000. Changes in deep-water formation during the Younger Dryas event inferred from 10Be and 14C records. *Nature*, 408, 567-570.
- MUSCHELER R., KROMER B., BJÖRCK S., SVENSSON A., FRIEDRICH M., KAISER K. F., SOUTHON J., 2008. Tree rings and ice cores reveal 14C calibration uncertainties during the Younger Dryas. *Nature Geoscience*, 1, 263-267.
- PEARSON G. W., BECKER B., QUA F., 1993. High-precision 14C measurement of German and Irish oaks to show the natural 14C variations from 7890 to 5000 BC. *Radiocarbon*, 35, 93-104.
- REIMER P-J., BAILLIE M.G.L., BARD E., BAYLISS A., BECK J.W., BLACKWELL P-G., BRONK RAMSEY C., BUCK C-E., BURR G.S., EDWARDS R.L., FAIRBANKS R.G., FRIEDRICH M., GROOTES P-M., GUILDERSON T-P., HAJDAS I., HEATON T-J., HOGG A-G., HUGHEN K-A., KAISER K-F., KROMER B., McCORMAC F-G., MANNING S., REIMER R-W., RICHARDS D.A., SOUTHON J.R., TALAMO S., TURNER C-S-M., VAN DER PLICHT J., WEYHENMEYER C-E., 2010. INTCAL09 and MARINE09 Radiocarbon Age Calibration Curves, 0–50,000 years cal BP. *Radiocarbon*, 51, 4, 2009, 1111-1150.
- REIMER P-J., BAILLIE M-G-L., BARD E., BAYLISS A., BECK J.W., BERTRAND C-J-H., BLACKWELL P-G., BUCK C.E., BURR G.S., CUTLER K-B., DAMON P-E., EDWARDS R-L., FAIRBANKS R-G., FRIEDRICH M., GUILDERSON T-P., HOGG A-G., HUGHEN K-A., KROMER B., MCCORMAC G., MANNING S., RAMSEY C-B., REIMER R-W., REMMELE S., SOUTHON J-R., STUIVER M., TALAMO S., TAYLOR F-W., VAN DER PLICHT J., WEYHENMEYER C-E., 2004. IntCal04 terrestrial radiocarbon age calibration, 0-26 cal kyr BP. *Radiocarbon*, 46 (3), 1029-1058.
- REIMER P-J., HUGHEN K-A., GUILDERSON T-P., McCORMAC G., BAILLIE M-G-L., BARD E., BARRATT P., BECK J-W., BUCK C-E., DAMON P-E., FRIEDRICH M., KROMER B., RAMSEY C-B., REIMER R-W., REMMELE S., SOUTHON J-R., STUIVER M., VAN DER PLICHT, J., 2002. Preliminary report of the first workshop of the IntCal04 radiocarbon calibration/ comparison working group. *Radiocarbon*, 44(3), 653-61.
- RINN F., 2003. TSAP - Time Series Analyses and presentation dendrochronology and related applications. Franck Rinn, Heidelberg.
- ROSIQUE T., 1994. Les gisements de bois fossiles conservés dans les formations détritiques tardi- et postglaciaires du bassin du Buëch (Hautes Alpes): interprétation géodynamique et paléocologique. *C.R Acad. Sci.*, 319 (II), 373-380.
- ROSIQUE T., 1996. Morphogenèse et évolution des paléoenvironnements alpins de la fin des temps glaciaires au début de l'Holocène: l'exemple de la Moyenne Durance (Alpes françaises du Sud), thèse de doctorat de Géographie, Université d'Aix-Marseille I, 288 p.
- ROUSSET C., GUIOMAR M., 1999. Le début de la torrentialité dans le bassin versant de la Fontarasse, près de Barles (Alpes-de-Haute-Provence, France), marqueur d'une rupture climatique de l'Holocène ancien. *C.R. Acad. Sci., Paris*, 328, 541-546.

- SCHAUB M., KAISER K.F., KROMER B., TALAMO S., 2005. Extension of the Swiss Lateglacial tree-ring chronologies. *Dendrochronologia*, 23, 11-18.
- SCHAUB M., KAISER K. F., FRANK D-C., BUENTGEN U., KROMER B., TALAMO T., 2008 a. Environmental change during the Allerød and Younger Dryas reconstructed from tree-ring data. *Boreas*, 37, 74-86.
- SCHAUB M., BUNTGEN U., KAISER K. F., KROMER B., TALAMO S., ANDERSEN K-K., RASMUSSEN S-O., 2008 b. Lateglacial environmental variability from Swiss tree rings. *Quaternary Science Reviews*, 27, 1-2, 29-41.
- SIVAN O., 2002. Activité érosive et évolution des paléoenvironnements alpins postglaciaires. Etude dendrogéomorphologique des gisements de troncs subfossiles dans les Alpes du Sud. Thèse de doctorat de géographie, Université Aix-Marseille I, 241p.
- SIVAN O., MIRAMONT C., 2008. Les variations temporelles et spatiales de la morphogenèse postglaciaire des fonds de vallons sud-alpins. L'exemple du bassin versant du Drouzet (Hautes-Alpes ; France). *Quaternaire*, 19 (3), 229-238.
- SIVAN O., MIRAMONT C., EDOUARD J.-L., 2006. Rythmes de la sédimentation et interprétations paléoclimatiques lors du Postglaciaire dans les Alpes du Sud. 14C et dendrogéomorphologie, deux chronomètres complémentaires. In ALLEE Ph., dir., LESPEZ L. dir. - L'érosion entre société, Climat et Paléoenvironnement. Table ronde de Clermont-Ferrand en l'honneur de R. NEBOIT-GUILHOT (25-27 mars 2004), Clermont-Ferrand, Presses universitaires Blaise-Pascal, 2006.
- SPURK M., FRIEDRICH M., HOFMANN J., REMMELE S., FRENZEL B., LEUSCHNER H.H., KROMER B., 1998. Paleo-environment and radiocarbon calibration as derived from Lateglacial/Early Holocene tree-ring chronologies. *Quaternary International*, 61, 27-39.
- STUIVER M., BECKER B., 1993. High-precision calibration of the radiocarbon time scale AD 1950-6000 BC, *Radiocarbon*, 35, 35- 65.
- STUIVER M., BRAZIUNAS T. F., 1993. Modeling atmospheric 14C influences and 14C ages of marine samples back to 10,000 BC. *Radiocarbon*, 35, 137-189.
- STUIVER M., REIMER P.J., BARDE E., BECK J.W., BURR G.S., HUGHEN K.A., KROMER B., MCCORMAC G., VAN DER PLICHT J., SPURK M. 1998 a. INTCAL98 Radiocarbon age calibration, 24,000-0 cal BP, *Radiocarbon*, 40(3) : 1041-1083.
- STUIVER M., REIMER P.J., BRAZIUNAS T.F., 1998b. High-precision radiocarbon age calibration for terrestrial and marine samples. *Radiocarbon*, 40, 1127-1151.

image possible