

Les arbres subfossiles
des Alpes du Sud, jalons
dans l'histoire des paysages fluviaux.

***Subfossil trees in the Southern Alps of
France, markers of the history
of river landscapes***

Après la dernière glaciation, les remblaiements postglaciaires dans les Alpes du sud

***Post-glacial infill in the Southern Alps after the
last glaciation***

Dans les Alpes du Sud (moyenne Durance, région de Sisteron, Préalpes du Buëch et de Digne), les petits cours d'eau, affluents des grandes rivières, ont construit au cours du Tardiglaciaire et de la première partie de l'Holocène (entre 14500 et 6500 cal BP : Before Present) de très épais

In the French Southern Alps (the Middle Durance, the region of Sisteron, the Buëch and Digne Pre-Alps) during the Late Glacial and the first part of the Holocene (14500 to 6500 cal BP), small tributaries of the main rivers laid down very thick sedimentary infill on valley floors. These deposits, characteristic of the sub-

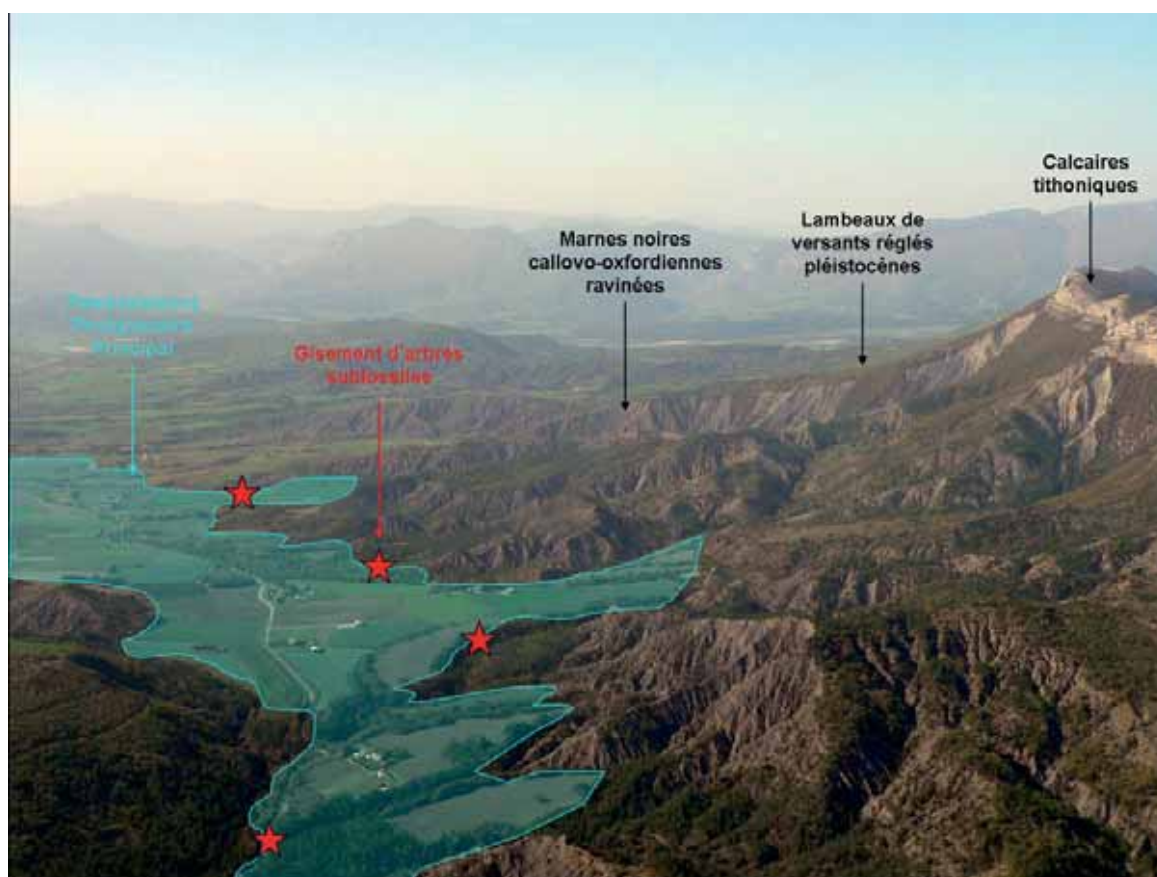


Figure 1 - Le Remblaiement Postglaciaire Principal sur le versant sud de la Montagne de Saint Genis au nord de Sisteron (Commune de Lazer, 05). Des paysages caractéristiques de la région subalpine. Cliché C. Miramont.

Principal Postglacial Infill on the southern slopes of the Montagne de Saint Genis to the north of Sisteron (near the village of Lazer). Characteristic sub-alpine landscape. Photo C. Miramont.

remblaiements sédimentaires de fond de vallons. Ces dépôts, qui caractérisent les paysages subalpins, offrent de

alpine landscape, provide vast and essentially flat areas now used for agriculture. Because of their importance in the land-



Figure 2 - Une coupe stratigraphique dans le Remblaiement Postglaciaire Principal du torrent de Charanc affluent du Buëch (Commune de Chateaufort d'Oze, 05). Le personnage en bas à droite donne l'échelle. En cercle orange : position des troncs de pins subfossiles. En pointillé orange : niveaux d'arbres subfossiles datés au radiocarbone. Cliché C. Miramont

Stratigraphic cross-section through the Principal Postglacial Infill beside the Charanc, tributary of the Buëch, near the village of Chateaufort d'Oze. The person on the face near the bottom right gives the scale. The orange circles indicate the positions of subfossil pine trunks. The orange dotted lines show the levels of subfossil trees, with radiocarbon dating. Photo C. Miramont.

vastes surfaces quasiment horizontales exploitées pour l'agriculture. De part leur importance dans les paysages et leur intérêt scientifique, ils sont qualifiés de «Remblaiement postglaciaire principal» ou «RPP» (Miramont *et al.*, 2004) (Figure 1). En effet, ces sédiments constituent des archives paléoenvironnementales extrêmement riches qui permettent de reconstituer les grandes étapes de l'histoire des paysages fluviaux au cours des 15 derniers millénaires et d'avancer des hypothèses sur les changements paléoclimatiques.

L'originalité de ces corps sédimentaires est de contenir de très nombreux gisements d'arbres subfossiles (*Pinus sylvestris* sp.) (Miramont *et al.*, 2000). Ces pins ont été enfouis par les dépôts de crue des torrents. On retrouve aujourd'hui les souches particulièrement bien conservées, en position de vie, avec souvent encore leur écorce. Elles apparaissent dans les fonds et les berges des torrents sur plusieurs niveaux stratigraphiques superposés (Figures 2 et 3). Elles sont aujourd'hui mises au jour par l'incision linéaire des cours d'eau comme par exemple dans le torrent de Rouchouze à la suite de la crue du printemps 2000 (Figure 4), et racontent leur histoire...

*scape and their scientific interest, they are described as "Principal Post-glacial Infill" (PPI) (Miramont *et al.*, 2004) (Figure 1). These sediments constitute extremely rich palaeoenvironment archives that allow us to reconstruct the major stages of river landscapes over the last 15 millennia, and to propose hypotheses concerning palaeoclimatic changes.*



Figure 3 - Un pin sylvestre subfossile du torrent de Barnèche (commune du Saix, 05). Cliché C. Miramont.

*A subfossil *Pinus sylvestris* in the Barnèche torrent, near the village of Saix. Photo C. Miramont.*

*The originality of these sediments is that they contain a large number of subfossil trees (*Pinus sylvestris* sp.) (Miramont *et al.*, 2000). These pines were buried by deposits during flooding from the mountain torrents, and today we can still find tree trunks in situ in their original position of growth, often still with their bark. They are to be found in the beds or in the banks of torrents, across several superposed stratigraphic levels (Figures 2 and 3). They have been revealed by the linear incision of the watercourses, e.g. in the Rouchouze torrent following a spring flood in 2000 (Figure 4).*

During the Late Glacial and the Holocene...

Using geomorphological analysis of alluvial deposits, in association with radiocarbon dating and with dendrochronological studies of subfossil pines, we are able to propose a scenario of the evo-



Figure 4 - Le gisement de bois subfossiles du torrent de Rouchouze dans la vallée de l'Ubaye (Commune de Larche, 04). Clichés O. Sivan. Le gisement a été découvert à la suite d'une crue importante du torrent. De très gros spécimens de *Pinus sylvestris* sp sont apparus.

*Subfossil wood in the Rouchouze torrent in the Ubayette Valley, near the village of Larche. Photos O. Sivan. The trunks were found following severe flooding in the torrent. Very large specimens of *Pinus sylvestris* sp were uncovered.*

Au cours du Tardiglaciaire et de l'Holocène...

L'analyse géomorphologique des stratigraphies alluviales, associée à l'étude dendrochronologique (relative aux séquences de cernes des pins fossiles), et aux datations radiocarbones, permet de proposer un scénario d'évolution des paysages fluviaux sud-alpins (Figure 5). A la fin du Pléniglaciaire, les versants possèdent une forme réglée sous l'effet des processus périglaciaires qui ont perduré durant des millénaires (Figure 5A).

Durant la première partie de l'Holocène, une forte sédimentation

A partir du Bölling (14500 cal BP), des phénomènes d'érosion régressive s'amorcent depuis les grandes rivières en cours d'incision et des bassins torrentiels latéraux s'ouvrent sur les versants (Figure 5B). Cette érosion contribue à mettre en place en aval de ces nouveaux bas-

lution of river landscapes in the Southern Alps (Figure 5). At the end of the glacial maximum, regulated slopes were present, resulting from millennia of periglacial processes (Figure 5A).

High sedimentation rates in the first part of the Holocene

During the Bölling period (14500 cal BP), as the main rivers dug their beds, regressive erosion phenomena began to appear and lateral catchment basins opened up on the slopes (Figure 5B). This erosion contributed to the first appearance of depositions of post-glacial infill downstream from the new basins. These depositions buried pine stumps, which in their fossilised state continue to bear witness to the re-vegetation that occurred during the Late Glacial. These phenomena continued during the first millennia of the Holocene, until around 6500 cal BP: the catchment basins continued to widen out, and mixed alluvial-colluvial depositions containing subfossil wood were laid down over deposi-

sins les premiers dépôts du RPP. Ceux-ci vont enfouir des souches de pins, qui, devenues fossiles, apparaîtront alors comme les vestiges de reconquête végétale qui s'était effectuée au cours du tardiglaciaire. Ce phénomène se poursuit au cours des premiers millénaires de l'Holocène jusque vers 6500 cal BP : les bassins de réception s'étendent sur des versants et des dépôts mixtes alluviaux-colluviaux à bois subfossiles viennent se superposer aux dépôts tardiglaciaires (Figure 5C et Figure 6). La tendance à la sédimentation s'achève vers 6500 cal BP.

tions from the Late Glacial (Figure 5C and Figure 6). This phase of sedimentation came to an end around 6500 cal BP.

The last 6500 years

Brown forest soils developed locally, particularly in the valley of the Ubaye, where they have been well dated (Jorda *et al.*, 2002). In some torrents alluvial layers are interlocked in the post-glacial infill, but these are discontinuous. This relatively calm phase in the erosion-sedimentation dynamic lasted sev-

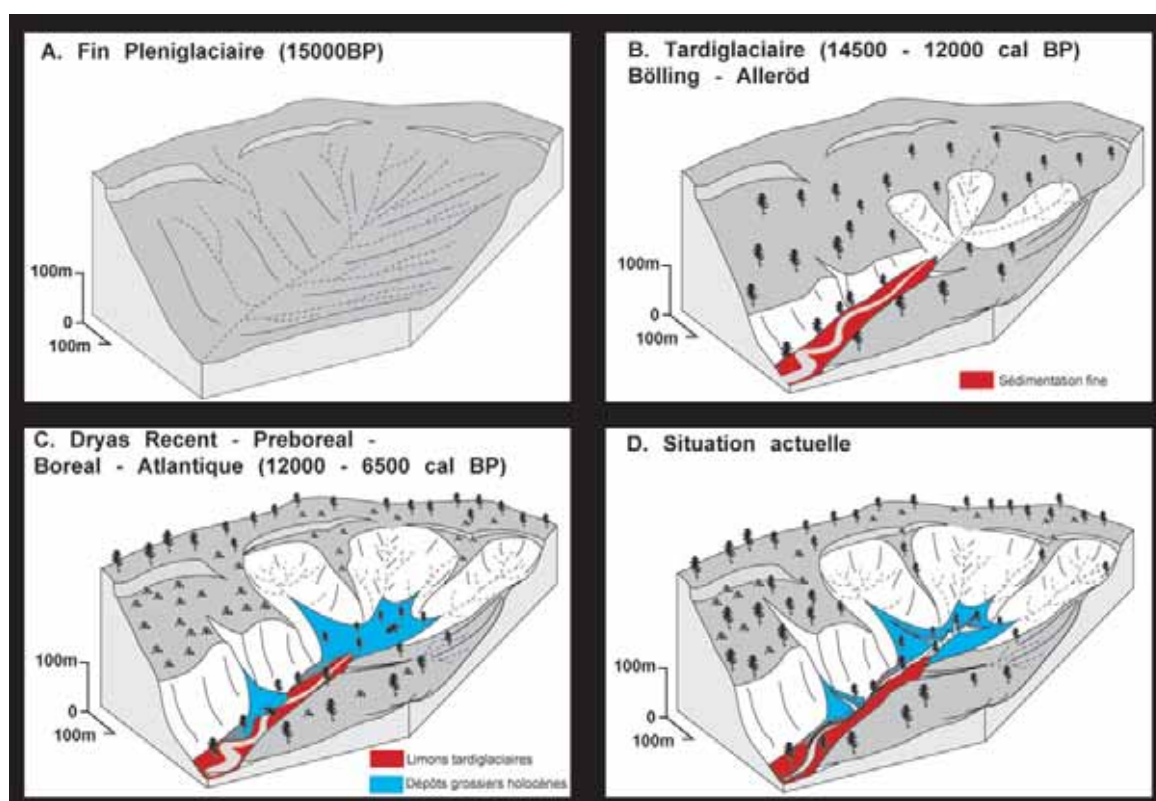


Figure 5 - Scénario d'évolution des paysages fluviaux sud-alpins (Sivan, 2002).

Scenario of the evolution of river landscapes in the Southern Alps. Sivan, 2002.

Depuis 6500 ans

Localement des sols bruns forestiers se développent, en particulier dans la vallée de l'Ubaye où ils sont bien datés (Jorda *et al.*, 2002). Dans certains torrents, des nappes alluviales s'emboîtent à l'intérieur des dépôts du RPP mais n'atteignent jamais l'ampleur des dépôts précédents. Cette phase de calme relatif dans la dynamique érosion-sédimentation dure plusieurs milliers d'années. Puis récemment au cours du dernier millénaire intervient une phase d'incision majeure qui va aboutir aux paysages fluviaux actuels.

eral thousand years. Then, in the last millennium, a phase of major incision occurred, which has led to our present river landscapes.

The episode of the Little Ice Age?

Over the last millennium, rivers have cut between 5 and 20 metres below the surface level of the post-glacial infill (Figure 5D). This incision comes after 2000 BP, but its exact chronology is not well known in the Middle Durance. However, in the Luberon Massif further to the south, where a similar pattern of geomorphological evolution has been recognized, this incision phase has been clearly dated to

L'épisode du Petit âge glaciaire?

Au cours du dernier millénaire, les rivières s'encaissent de 5 à 20 m en contrebas de la surface des RPP (Figure 5D). Cette incision est postérieure au début de notre ère mais son calage chronologique reste encore fragile en Moyenne Durance. En revanche, plus au sud, dans le massif du Luberon où le même schéma d'évolution géomorphologique se retrouve, cette phase d'incision est bien datée entre les 13^e et 17^e siècles de notre ère (Figure 7, Ollivier et al., 2006). Elle est donc contemporaine de la première partie du Petit Age Glaciaire (PAG). Ceci met en évidence le caractère très marqué de la péjoration climatique de cette période où une érosion intense s'est manifestée, comparé aux millénaires qui ont précédés. Dans les Alpes du Sud, on retrouve les conséquences du PAG dans les grandes rivières (Durance, Buëch, Ubaye) où les lits fluviaux s'élargissent et où le tressage se développe sous l'effet des crues répétées. En montagne, les crues des torrents réactivent les cônes de déjection des torrents.

Les grandes lignes de l'évolution du climat au cours de l'Holocène

Les principales tendances plurimillénaires de l'évolution géomorphologique peuvent être interprétées en termes d'évolution paléoclimatique. L'importance de la sédimentation alluviale entre 14500 et 6500 cal BP plaide en faveur de conditions climatiques humides et de précipitations de forte intensité au cours de cette période. Un changement majeur vers un assèchement et un changement des régimes de pluie interviennent aux environs de 6500 cal BP. C'est aussi ce que semble mettre en évidence le schéma d'évolution des lacs et des tourbières des Alpes du Sud (Muller et al., soumis). Après une phase humide qui caractérise les premiers millénaires de l'Holocène, ces milieux s'assèchent et voient se développer une végétation forestière composée d'aulnes dont le maximum de développement se situe entre 6500 et 2500 cal BP. Par ailleurs, cette évolution est aussi comparable à celle des lacs méditerranéens et du nord de l'Afrique (Magny et al., 2002).

Des périodes de plus fortes crues, cohérentes avec l'histoire du Jura et des Alpes du Nord

Au-delà de ces grandes étapes, des périodes de fossilisa-

tion sont observées dans les Alpes du Sud (Figure 7, Ollivier et al., 2006). Il est donc contemporain avec la première partie du Petit Age Glaciaire (PAG). Cette sous-ligne met en évidence le caractère très marqué de la péjoration climatique de cette période, avec beaucoup plus d'intense érosion que pendant les millénaires précédents. Dans les Alpes du Sud les conséquences de la LIA peuvent être vues dans les grandes rivières (Durance, Buëch, Ubaye), où les lits fluviaux se sont élargis et le tressage s'est développé à cause de répétées inondations. Dans les montagnes, les crues des torrents ont réactivé leurs cônes de déjection.

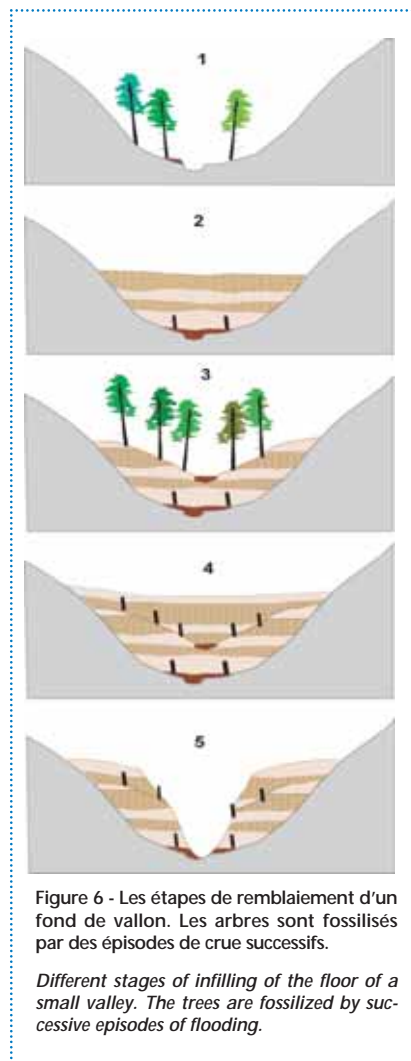


Figure 6 - Les étapes de remblaiement d'un fond de vallon. Les arbres sont fossilisés par des épisodes de crue successifs.

Different stages of infilling of the floor of a small valley. The trees are fossilized by successive episodes of flooding.

Outline of the evolution of the climate during the Holocene

The principal trends in geomorphological change during this multi-millennia period can be interpreted in terms of palaeoclimatic changes.

The significant amount of alluvial sedimentation between 14500 and 6500 cal BP would seem to indicate humid conditions and heavy rainfall during this period. A major shift towards a changed rainfall regime and drier conditions intervened around 6500 cal BP. A similar change is also evidenced by the evolution pattern of lakes and peat bogs in the Southern Alps (Muller et al., submitted). After an initial wetland stage during the first millennia of the Holocene, lakes became swamps generally dominated by *Alnus* and ferns; the widespread development of this vegetation occurred between 6500 and 2500 cal BP, probably triggered by a drought that would have accelerated and synchronized the terrestrialization of lakes over the whole region. A decrease in water levels also occurred during the second part of the Holocene in the lakes of the Mediterranean region and northern Africa (Magny et al., 2002).

Periods of increased flooding, consistent with the history of the Jura and the Northern Alps

Independently of this outline, periods of preferential fossilization of pines can be identified in the Southern Alps (Figure 8). Some of them appear to coincide with periods of high lake levels recorded in the Northern Alps, the Jura and Provence (Magny et al., 2002, Bruneton et al., 2001). They testify to climate fluctuations over several centuries, characterised by the increased frequency of heavy rainfall that led to the burying of the trees. These oscillations correspond also to an increase in the volume of rain necessary to raise the



Figure 7 - Le Remblaiement Postglaciaire Principal (RPP) du ravin du Mirail sur le versant sud du Luberon. L'incision du RPP est clairement datée dans cette région entre le 13^e et le 17^e siècle de notre ère (Ollivier, 2006).

Principal Postglacial Infill in the Mirail ravine on the southern slopes of the Luberon. The incision of the Infill is clearly dated to between the 13th and 17th centuries AD in this region (Ollivier, 2006).

tion préférentielles des pins se distinguent dans les Alpes du Sud (Figure 8). Elles semblent contemporaines de périodes de hauts niveaux lacustres enregistrées dans les Alpes du Nord, le Jura et la Provence (Magny *et al.*, 2002, Bruneton *et al.*, 2001). Elles témoignent de fluctuations climatiques pluriséculaires, caractérisées par une fréquence accrue des précipitations de forte intensité responsable de l'enfouissement des arbres. Ces oscillations correspondent aussi à une augmentation des volumes de pluie nécessaire à une élévation des niveaux lacustres. Nous proposons, pour chacune des principales phases de fossilisation identifiées, quelques pistes de réflexion et d'interprétation paléoclimatique :

- 15350-13000 cal BP : intervalle dans lequel il est possible de distinguer deux sous-périodes : 13750-13650 et 13140-13000 cal BP. Ces dernières apparaissent synchrones des pics de faibles valeurs de δO^{18} identifiés dans les glaces du Groenland. La deuxième sous-période est synchrone d'un haut niveau dans le lac de Morat en Suisse (Magny *et al.*, 2000) et pourrait correspondre à l'épisode froid intra Alleröd (IACP). L'ampleur des intervalles de calibration lors de cette période ne permet pas de dépasser le stade de l'hypothèse.
- 12800-12300 cal BP : cet épisode correspond au

lake levels. For each of the principal phases of fossilization identified we propose some ideas for reflection and for interpreting palaeoclimatic changes.

- 15350-13000 cal BP: We can distinguish two sub-periods in this time interval (13750-13650 and 13140-13000 cal BP), which appear to be synchronous with the dates of particularly low δO^{18} values in Greenland ice cores and which could coincide with high water levels in the Lake of Morat in Switzerland (Magny *et al.*, 2000). The oldest sub-period may correspond to the Intra-Alleröd Cold Period (IACP). The scale of the calibration intervals for this period does not allow us to go beyond the hypothesis stage.
- 12800-12300 cal BP: this episode corresponds to the beginning of the Younger Dryas.
- 11150-10380 cal BP: This episode may be an expression of the Preboreal cold oscillation, recorded in lake level fluctuations in Provence, Switzerland and the Jura.
- 9900-9000 cal BP: This phase is contemporaneous with high lake levels in the Alps of Haute Provence, in Provence and the Jura.
- 8500-7900 cal BP: This positive oscillation is perfectly synchronous with the worsening climate between 8400 and 8000 cal BP (event of 8200 cal BP).

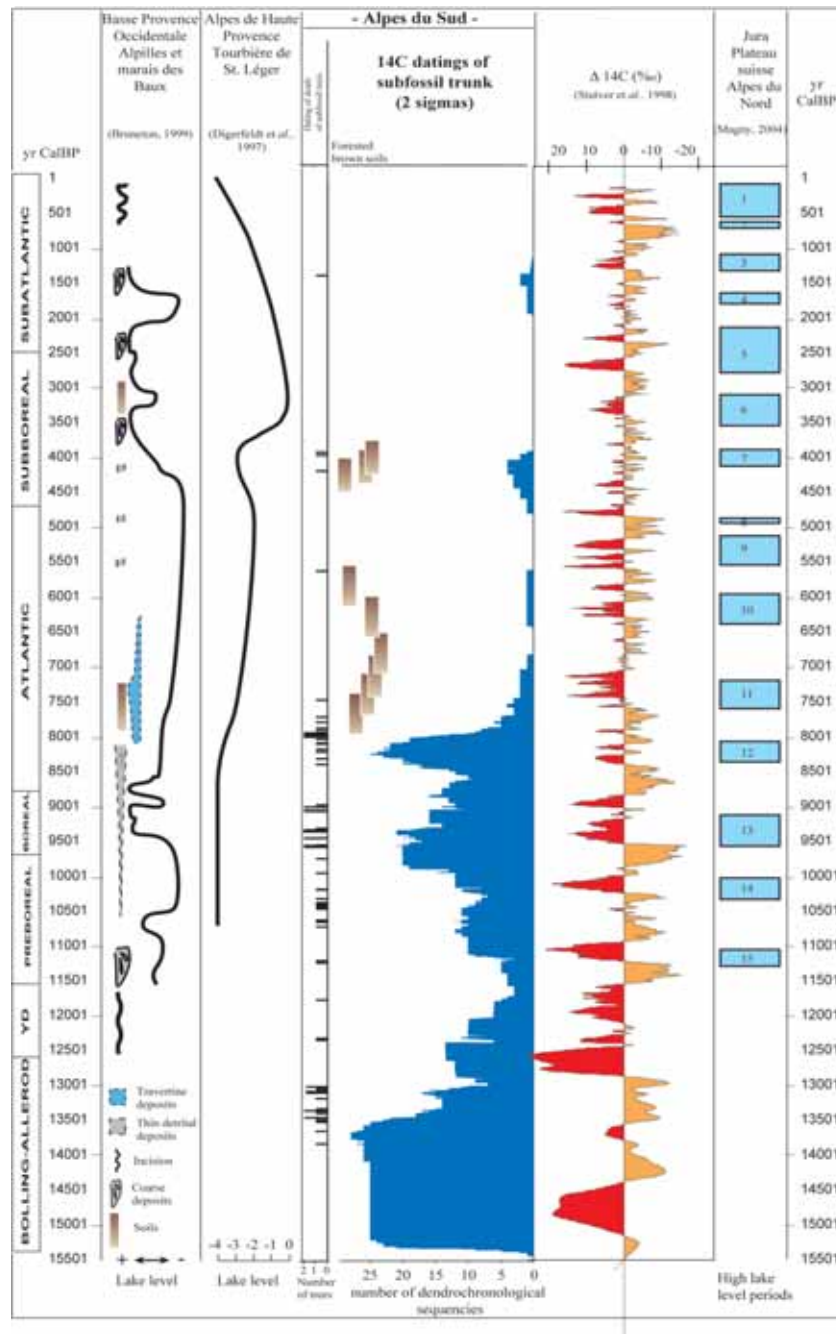


Figure 8 - Relations entre les phases d'enfouissement des bois subfossiles de Moyenne Durance, les fluctuations des niveaux lacustres et les variations du radiocarbone résiduel (Sivan 2002).

Relationship between the phases of burial of subfossil trees in the Middle Durance, lake level fluctuations, and variations in residual radiocarbon (Sivan, 2002).

début du Younger Dryas

- 11150-10380 cal BP : cet épisode pourrait être l'expression de l'oscillation froide du Préboréal enregistrée dans les fluctuations des niveaux lacustres en Provence, en Suisse et dans le Jura.
- 9900-9000 cal BP : phase contemporaine de

- 4500-3900 cal BP: This new detrital event occurred at the regional level on the slopes and in the small rivers of Basse Provence. It is synchronous with high lake levels in the Alps of Haute Provence and in the marshes of Les Baux.
- 1550-1350 cal BP: This event might herald the

hauts niveaux lacustres dans les Alpes de Haute Provence, en Provence et dans le Jura.

- 8500-7900 cal BP : cette oscillation positive est parfaitement synchrone de la péjoration climatique qui s'est développée entre 8400 et 8000 CalBP (événement de 8200 cal BP).
- 4500-3900 CalBP : cette recrudescence du détritisme se retrouve à l'échelle régionale sur les versants en Basse Provence. Elle est synchrone de hauts niveaux lacustres dans les Alpes de Haute Provence et dans le marais des Baux.
- 1550-1350 cal BP : cet événement pourrait annoncer la récurrence torrentielle de l'Antiquité tardive identifiée par ailleurs dans les Alpes du Sud (Jorda, 1992).

La dégradation climatique du PAG a lieu dans un milieu très largement anthropisé. Les conséquences des défrichements et de la fréquence importante de précipitations de forte intensité s'ajoutent et s'expriment différemment selon les types d'espaces géographiques que l'on considère. Dans les petits bassins versants, des phénomènes de vidange sédimentaire interviennent aboutissant à l'encaissement sans précédent des rivières. Dans les grands organismes fluviaux ce sont au contraire les processus d'aggradation sédimentaire qui prédominent.

La fréquence des crues, appréhendée par l'analyse dendrochronologique

L'analyse dendrochronologique des séries de cernes des pins subfossiles associée à l'étude des perturbations de croissance (cicatrices, abrupt growth changes, déformations...) de celle des périodes de germination ainsi que celle de la mort des peuplements permet de travailler sur les rythmes de la sédimentation alluviale à haute fréquence (Figure 9, Sivan *et al.*, 2006). Il est ainsi possible de repérer que des crues de faible intensité interviennent tous les 5 à 10 ans, des crues d'intensité moyenne tous les 20 à 50 ans et des crues de forte intensité tous les 200 ans environ. Les événements de faible intensité perturbent le développement de jeunes arbres, ceux de moyenne intensité ralentissent la croissance d'individus adultes sans pour autant les faire disparaître et ceux de forte intensité détruisent et fossilisent des boisements pluricentennaires. Ainsi, des générations successives d'arbres perturbés régulièrement par des décharges détritiques s'installent sur les sédiments abandonnés par les dernières crues. Ceci se reproduit jusqu'à ce qu'un événement paroxysmal ensevelisse définitivement un boisement clôturant ainsi une phase de fossilisation.

Ces oscillations de hautes fréquences reflètent vraisemblablement la variabilité des précipitations méditerranéennes. Ces travaux démontrent l'intérêt et la complémentarité des deux chronomètres que sont le ^{14}C et la dendro-géomorphologie dans l'étude des rythmes de la sédimentation alluviale. Ils confirment le rôle déterminant

recurring heavy rainfalls of Late Antiquity, identified in other work on the Southern Alps (Jorda, 1992).

The climate degradation of the LIA took place in a milieu that was already widely disturbed by Man. The consequences of land clearance and the high frequency of heavy rainfall events interact and produce different results according to the type of geographical space studied. In small catchment basins sediment is washed out, leading to deeply dug-out riverbeds. On the contrary, processes of sedimentary aggradation dominate in large river systems.

Frequency of flooding, measured by dendrochronological analysis

*Dendrochronological analysis of the rings in the subfossil pines, associated with the study of growth disturbances (scars, abrupt growth changes, reaction wood...) and with the determination of dates of germination and death of tree populations, gives access to precise information on the rhythm of alluvial sedimentation (Figure 9, Sivan *et al.*, 2006). In this way, we have identified a rhythm of minor flooding every 5 to 10 years, major flooding every 20 to 50 years, and very severe flooding events approximately every 200 years. Minor events interfere with the development of young trees, more major events slow down the growth of adult trees, without destroying them, and high-intensity events destroy and fossilize trees several hundred years old. Thus successive generations of trees become established on sediments left by floods, and are regularly disturbed in their growth by the arrival of new flood detritus. This cycle continues until a stronger event buries the trees definitively and closes this phase of fossilization.*

These very frequent oscillations most likely reflect the variability of precipitation in the Mediterranean region. Our work demonstrates that ^{14}C dating and dendro-geomorphology are useful and complementary tools for studying the time-scale of alluvial sedimentation. It also confirms the decisive role of climate in post-glacial morphogenesis, and emphasizes the complexity of the processes responsible and the need to consider the multiple interlacing of the different scales of time and place. Thus low- and medium-frequency variations in morphogenesis would be explained by climate fluctuations identifiable on an extra-regional scale, whereas high-frequency variations would be attributable to local-scale meteorological fluctuations. This emphasizes the degree of prudence that should be exercised when comparing records from different disciplines and from different sedimentation situations.

Current projects

At present, our research is focussed essentially on subfossil pines from the Younger Dryas and the Bölling-Allerød period (EUROCLIMATE - Tree 14 Project funded by the European Science Foundation and co-ordinated by B. Kromer). We will try to extend the absolutely dated Central European oak and

du climat sur l'évolution de la morphogénèse postglaciaire et évoquent la complexité des processus en jeux en soulignant les nombreuses imbrications d'échelles temporelles et spatiales. Ainsi, les variations de la morphogénèse de basse et de moyenne fréquence s'expliqueraient par des fluctuations climatiques reconnues à l'échelle extra-régionale, alors que les événements de haute fréquence s'expliqueraient par des fluctuations météorologiques à l'échelle locale (épisodes orageux). Ceci souligne, notamment, toute la prudence dont il faut faire preuve avant de confronter des enregistrements issus de disciplines et de milieux de sédimentation variés.

Les projets en cours

Actuellement, les recherches portent essentiellement sur les gisements de pins subfossiles tardiglaciaires du Dryas Récent et du Bölling-Alleröd (programme Euroclimate dirigé par B. Kromer, financé par l'ESF).

Ces chronologies de cernes peuvent permettre de prolonger la courbe dendrochronologique de référence européenne (Schaub et al., 2007), et ainsi la courbe de calibration du radiocarbonate sur données continentales. Par ailleurs, les dépôts du RPP contenant de très nombreux niveaux de charbons de bois, une étude est réalisée sur les relations entre les rythmes de l'érosion et les paléoincendies (thèse C. Boutterin). Enfin, des travaux en collaboration avec les archéologues (A. Morin, Institut Dolomieu - Grenoble) sont en cours. Prospections et fouilles montrent en effet que les hommes du Néolithique ont parcouru et occupé les surfaces sommitales du RPP, profitant certainement de nouveaux terroirs construits puis abandonnés par les rivières.

pine chronologies (Schaub et al., 2007) and thus the radiocarbon calibration curve for terrestrial data. Tree ring chronologies from the southern French Alps may make this possible by filling the gap between the absolute chronology and Late Glacial floating pine chronologies built by the Hohenheim and Zurich tree ring laboratories.

In addition, since the depositions of postglacial infill contain many charcoal levels, a study is being carried out on the relationship between the chronologies of erosion and of palaeo-fires (PhD thesis, C Boutterin). There is also collaboration under way with archaeologists (A. Morin, Institut Dolomieu - Grenoble). Prospecting and excavating show that Neolithic communities roamed over and occupied the postglacial infill ground layer, no doubt taking advantage of the new arable land created and then abandoned by the rivers.

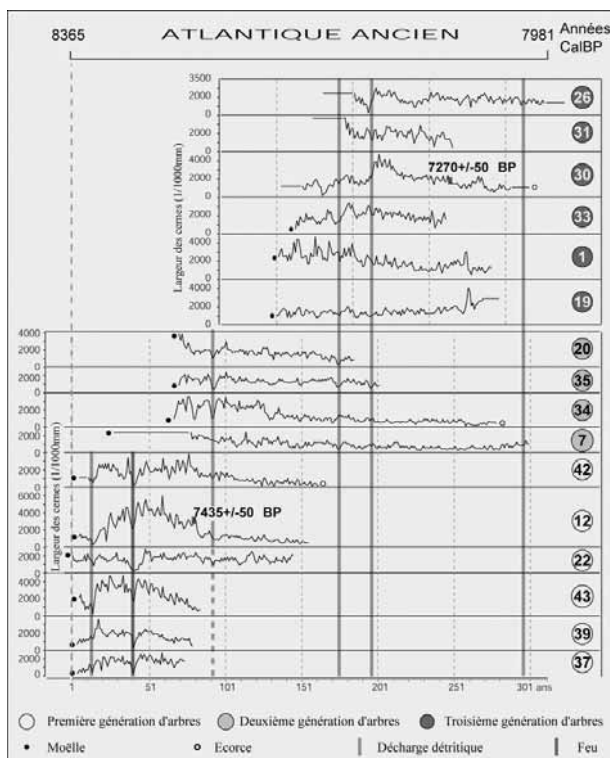


Figure 9 - Identification des chutes brutales de croissance d'origine géomorphologique sur les chronologies de cernes des arbres subfossiles du gisement du torrent de Couton sur la commune de Lazer, 05 (Sivan et al., 2006).

Identification of the sudden decreases in growth from geomorphological stress, in the chronologies of subfossil tree rings from the Couton torrent site near the village of Lazer (Sivan et al., 2006).

Contact : Cécile Miramont
 Institut Méditerranéen d'écologie et de paléoécologie
 UMR 6116, Bâtiment Villemin
 Europôle Méditerranéen de l'Arbois
 BP80- F13545 Aix-en-Provence cedex 04
 cecile.miramont@up.univ-aix.fr

Olivier Sivan
 Institut national de recherches archéologiques préventives
 24 av. de la Grande Bégude - Immeuble le Mozart
 13770 Venelles
 oliviersivan@yahoo.fr