ASSOCIATION DES AMIS DE LA MASSANE

# RESERVE NATURELLE DE LA MASSANE

## TRAVAUX

## 66

## STRUCTURE D'AGE DE LA POPULATION DE PINS NOIRS (*Pinus nigra* Arnold) DANS LA RESERVE NATURELLE DE LA MASSANE

PAR

**CHAUCHARD S., PILLE G., CARCAILLET C., & MAGDALOU, J.-A.**

**2003**

Laboratoire Arago, BP44-66651-BANYULS-SUR-MER Cedex

# STRUCTURE D'AGE DE LA POPULATION DE PINS NOIRS (*Pinus nigra* Arnold) DANS LA RESERVE NATURELLE DE LA MASSANE

PAR

**CHAUCHARD S., PILLE G., CARCAILLET C.*, [1]**
**& MAGDALOU, J.-A. [2]**

Association des Amis de la MASSANE
Laboratoire "ARAGO"
BP 44
66651 BANYULS SUR MER CEDEX
Tél. & Fax 04 68 88 05 89

[1] Centre de Bio-Archéologie et d'Ecologie (CNRS-UMR 5059, Ecole Pratique des Hautes Etudes et Université de Montpellier 2), Institut de Botanique, 163 rue Broussonet, F-34090

[2] Réserve Naturelle de la Massane, Laboratoire Arago, BP44, 66651 Banyuls/mer cedex

* Auteur pour la correspondance : carcaillet@univ-montp2.fr

# SOMMAIRE


INTRODUCTION..... 2

OUTILS ET METHODE..... 3

RESULTATS..... 5
Identification botanique du taxon..... 6
Rectification de l'âge des carottes incomplètes..... 5
Estimation de l'âge à 30 cm (hauteur de carottage) et rectification finale 6
Structure en diamètre..... 6
Structure d'âge..... 7
Relation entre le diamètre et l'âge..... 10

DISCUSSION..... 12
Les bovins structurent la régénération..... 12
La distribution des diamètres ne traduit pas la structure d'âge..... 13

CONCLUSION..... 14

BIBLIOGRAPHIE..... 15

ANNEXES (2 planches)..... 16

CARTOGRAPHIE

# INTRODUCTION

Il existe peu de forêts naturelles protégées en Europe occidentale comme la forêt de la vallée de la Massane dans les Pyrénées-Orientales, qui est une vieille hêtraie-chênaie méditerranéenne. Depuis plus d'un siècle, les processus de vie et de mort se déroulent naturellement sans intervention humaine visant à orienter la gestion sylvicole.

Nous avons étudié une population introduite de pins noirs (*Pinus nigra* Arnold), espèce naturellement absente du Massif de l'Albera. Ces pins auraient été plantés en 1883 dans le but de restaurer les sols, à la suite de la surexploitation de la vallée de la Massane. Du Moyen Age jusqu'à la fin du 19$^{ème}$ siècle, la forêt a été exploitée pour le charbonnage, le bois de chauffage ou même la fabrication de glue (à partir du houx). En outre, le pâturage est attesté à partir du 13$^{ème}$ siècle, et a du être très important jusqu'à la fin du 19$^{ème}$ siècle (Travé, 2000). De nos jours, seul un troupeau de bovins de 100 à 150 têtes (fagines, gasconnes et suisses) est encore présent dans la vallée, essentiellement durant la période végétative (Travé, 1993). Dans un objectif de restauration et de conservation de la vieille forêt, il est important de connaître la dynamique (évolution à long terme) de la population introduite de pins noirs.

Les pins sont de diamètres et de morphologie très différents. Cela conduit à se demander s'il s'agit d'une seule cohorte (cohorte de plantation) présentant une importante variabilité inter-individuelle de croissance, ou de plusieurs cohortes (cohorte de plantation qui a régénéré). La seconde hypothèse implique que les pins noirs se soient acclimatés dans la vallée dans un contexte de dynamique forestière spontanée post-déprise pastorale, puis se soient régénérés posant ainsi des problèmes de conservation de la forêt par rapport à un objectif de préservation de la naturalité de l'écosystème.

Pour décrire et analyser la dynamique de la population de pins noirs, deux zones ont été étudiées. La première est préservée du pâturage (la réserve intégrale) et la seconde est pâturée. Dans ces deux zones nous avons mis en œuvre une étude de la structure d'âge par analyse dendrochronologique, (dendros : arbre ; kronos : temps ; logos : science), c'est à dire par l'étude des cernes de croissances annuelles des arbres (Bergeron, Y., 2000; Kajimoto et al., 2002 ; Johnson et al., 1994 ; Zackrisson et al., 1995). La méthode dendrochronologique est applicable pour les essences présentant un bois initial et un bois final bien différenciés. La croissance annuelle correspond à un cerne, lequel comporte du bois initial (ou bois de printemps) poreux et de teinte claire et du bois final (ou bois d'été) plus dense et plus foncé (Rondeux, 1999). Une rupture nette s'observe entre le bois final de l'année et le bois initial de l'année suivante, correspondant à l'arrêt de croissance cambiale hivernale.

# OUTILS ET METHODE

***Le site d'étude***

Les pins ont été échantillonnés sur le versant du Puig Rodon dans la Réserve Naturelle de la Massane (commune d'Argelès-sur-Mer, Pyrénées-Orientales) qui se situe dans la partie est du Massif de l'Albera. Du point de vue administratif, la réserve fut créée en 1973 (statut de Réserve Naturelle). Elle s'étend sur 336 hectares, de 600 à 1158 mètres d'altitude. Mais dès 1954, dix hectares ont été clôturés pour former une réserve dite « intégrale ». Cette zone, où se trouvent une partie des pins échantillonnés, n'est pas broutée par les bovins. Le reste de l'échantillonnage a été effectué en dehors de la dite réserve intégrale.

Un socle antécambrien, composé de roches acides (schistes et gneiss), constitue la base géologique de la réserve. Les sols sont de type brun acide ou brun ocreux (Travé, 2000). La pente de la forêt est forte (environ 40°) et donc potentiellement sensible à l'érosion en l'absence de couvert végétal.

La station météorologique de la Massane (à proximité du refuge du Laboratoire Arago) donne accès aux relevés climatiques (Font Garcia, 2000). Les températures sont fraîches (moyenne annuelle de 1976 à 1995 : 11,3°C ) avec des hivers assez froids (moyenne du mois le plus froid : 4,7°C) et un fort contraste saisonnier : environ 15°C d'amplitude entre le mois le plus froid et le plus chaud. Les précipitations annuelles sont assez élevées (moyenne annuelle de 1976 à 1995 : 1184,5 mm avec un maximum en 1971 de 1845 mm et un minimum en 1990 de 670,9 mm). Une sécheresse estivale caractérise le régime climatique méditerranéen de la vallée de la Massane. Il faut souligner la forte influence de la tramontane sur le microclimat de la vallée, en raison de son exposition générale vers le nord.

La forêt de la Massane est une hêtraie-chênaie mixte dont les espèces principales sont le hêtre (*Fagus sylvatica* L.) et le chêne blanc (*Quercus pubescens* Willd.). Il faut aussi noter la présence d'autres espèces d'arbres : le chêne vert (*Quercus ilex* L.), les sorbiers (*Sorbus aria* Crantz, *S. domestica* L., *S. torminalis* (L.) Crantz), les érables (*Acer campestre* L., *A. monspessulanum* L., *A. opalus* Miller), le houx (*Ilex aquifolium* L.) et quelques ifs (*Taxus baccata* L.). La strate arbustive est surtout constituée de bruyères (*Erica arborea* L., *E. cinerea* L.), de genévriers (*Juniperus communis* L., *J. oxycedrus* L.) et de genêts (*Cytisus scoparius* (L.) Link, *Genista cinerea* (Vill.) DC).

*Tableau 1. Bojovic (1995) considère que la mesure statistique de la longueur des aiguilles est le critère le plus objectif pour distinguer les différentes sous-espèces de* Pinus nigra.

| Taxon | Longueur des aiguilles (± écart type) |
|---|---|
| *Pinus nigra* subsp *laricio* | 106 mm (± 16mm) |
| *Pinus nigra* subsp *nigra* | 85 mm (± 14mm) |
| *Pinus nigra* subsp *palliasana* | 91 mm (± 14 mm) |
| *Pinus nigra* subsp *salzmanii* | 116 mm (± 21mm) |

### *Identification botanique du taxon*

Des rameaux de pins noirs ont été prélevés en vu de déterminer avec certitude la sous-espèce de *Pinus nigra* introduite dans la vallée de la Massane. La longueur et l'épaisseur des aiguilles ont été mesurées. Ces données ont été comparées avec les critères de discrimination taxinomiques proposé en particulier ceux de Bojovic (1995) (Tableau 1), mais aussi Arbez et Millier (1971), pour la longueur des aiguilles, et Rameau et collaborateurs (1994) pour la présence/absence d'une zone dépourvue d'aiguilles à la base des rameaux de l'année.

### *Echantillonnages et mesures de terrain*

L'échantillonnage des pins a été quasi-exhaustif. Il a été effectué au niveau de deux zones distinctes, l'une au sein de la réserve intégrale et l'autre à l'extérieur.

Les pins au sein de la réserve intégrale ont été préalablement cartographiés en s'appuyant sur le travail préalablement réalisé et rendu accessible sur une base de données gérée avec le logiciel Mapinfo (Garrigue & Magdalou 2000). La base associe à chaque arbre des paramètres de localisation géographique, mais aussi biologique comme la DBH (Diameter at Breast Height = diamètre à hauteur de poitrine = 1,30 m), la circonférence de l'ensemble des arbres dépassant 1,20 m. Pour les pins se situant hors de la réserve intégrale, nous avons mesuré les diamètres et les circonférences. Chaque pin a été décrit : mort ou vivant, couché ou debout, présence et orientation de cicatrices. Les informations ont été reportées sur une carte réalisée à l'aide de Mapinfo. Les pins, ayant une hauteur supérieure à 1,20 m, ont été carottés à l'aide d'une tarière de Pressler (Figure 1). Le carottage est effectué le plus bas possible, à 30 cm au-dessus du collet. Les carottes obtenues ont été collées sur une réglette de bois pour permettre une préparation plus aisée en vue de l'observation microscopique.

Une prospection à vue a été effectuée pour les plantules (hauteur inférieure à 0,5 m) et les jeunes arbres (hauteur comprise entre 0,5 et 1,20 m) à l'intérieur et à l'extérieur de la réserve intégrale. La hauteur et le diamètre ont été mesurés pour chacun d'eux. Leurs statuts ont aussi été consignés : bonzaï - individus présentant des marques d'abroutissement (Figure 2) - ou non, vivants ou morts. Une estimation de leur âge a été réalisée en dénombrant les verticilles (Rondeux,1999). Le pin noir met en place à la fin de chaque unité de croissance, une cicatrice correspondant à la zone d'arrêt de croissance apicale, ce qui permet une mesure de l'age des individus.

### *Estimation de l'âge des individus au laboratoire :*

Les carottes de bois, après fixation sur la réglette, ont été coupées dans le sens transversal au moyen d'un cutter pour rendre les cernes plus visibles. Un ponçage au papier de verre est parfois nécessaire, notamment lorsque les cernes sont très fins. La lecture des cernes a été réalisée à la loupe binoculaire (x20 à x60). Une attention particulière est consacrée à la présence de faux cernes. Dans le cas des pins noirs de la Massane, les faux cernes sont probablement liés à des conditions de précipitations probablement limitées tôt dans la saison entraînent la mise en place précoce de bois final ; une deuxième phase de croissance annuelle se met en place lorsqu'une seconde saison de pluie se met en place avant la fin de l'été permettant une reprise partielle de croissance radiale. Cela génère alors une seconde mise en place de bois initiale.

Des difficultés de carottage ont été rencontrées, ne permettant pas d'obtenir à tous les coups le centre de l'arbre (moelle manquante). Deux corrections de l'âge ont dû être effectuées. À l'aide d'une mire (cercles concentriques), nous avons estimé le rayon jusqu'à la moelle manquante. Un abaque de correction a été réalisé à l'aide des individus (87) pour lesquels la carotte est complète ; les cernes ont été dénombrés tous les centimètres de part et

d'autre du centre. Le nombre moyen de cernes a été calculé (± écart type, erreur standard) par centimètre depuis le centre de l'arbre. Ces moyennes ont été utilisées pour rectifier l'âge en l'absence de moelle sur les carottes.

La seconde correction consiste a estimer l'âge moyen nécessaire aux pins pour atteindre la hauteur de carottage (30 cm) à l'aide de la hauteur et de l'âge des plantules et des jeunes arbres non abroutis (hauteur < 1,20 m, n = 105) (Kajimoto et al., 2002). Les données ont permis de réaliser un graphique « hauteur en fonction de l'âge ». Une courbe de régression de type exponentielle (modèle « âge-hauteur ») permet d'estimer l'âge manquant à 30 cm pour les arbres carottés avec une tarière de Pressler.

## RÉSULTATS

### *Identification botanique du taxon*

Les mesures de longueur (moyenne de 85 mm) et d'épaisseur des aiguilles (moyenne de 0,9 mm) et l'absence d'une zone dépourvue d'aiguilles à la base des rameaux de l'année indiquent que la sous-espèce étudiée est *Pinus nigra* subsp *nigra* Arn, c'est à dire la principale sous-espèce utilisée en reboisement en France à la fin du 19ème siècle et au début du 20ème siècle.

### *Rectification de l'âge des carottes incomplètes*

*Tableau 2. Nombre d'années correspondant à des rayons de 1 à 5 cm de bois central manquant.*

| Rayon (cm) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|
| Moyenne | 7,4 | 11,7 | 16,0 | 18,9 | 22,2 |
| Ecart type | 4,1 | 5,8 | 8,0 | 8,3 | 9,0 |
| Ecart standard | 0,4 | 0,6 | 0,9 | 1,0 | 1,1 |
| Nombres de mesures | 87 | 82 | 78 | 72 | 66 |

Le tableau 2 présente les moyennes de cernes pour un rayon de 1 à 5 cm manquant. On constate une croissance radiale assez régulière des arbres jusqu'à un rayon de 5 cm. Nous obtenons un tableau de correspondance donnant le nombre de cernes à ajouter pour un rayon manquant dont la distance est estimée à l'aide d'une mire pour chaque carotte incomplète, sans moelle centrale (Tableau 3).

*Tableau 3. Correspondance entre le rayon du cerne central manquant estimé et le nombre de cernes manquant déduit du tableau 2.*

| Rayon manquant (cm) | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1 | 1,5 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nombre de cernes manquant | 2 | 4 | 6 | 7 | 10 | 12 | 16 | 19 | 22 |

### *Estimation de l'âge à 30 cm (hauteur de carottage) et rectification finale*

La distribution des hauteurs en fonction de l'âge des plantules et des jeunes arbres (Figure 3) présente une courbe ajustée de type exponentielle. L'équation du modèle age/hauteur donne un âge de 14 ans pour une plantule de 30 cm, c'est-à-dire l'âge manquant lorsque les pins noirs sont carottés à 30 cm. Cette valeur de 14 ans est rajoutée aux années déduites des carottes de bois.

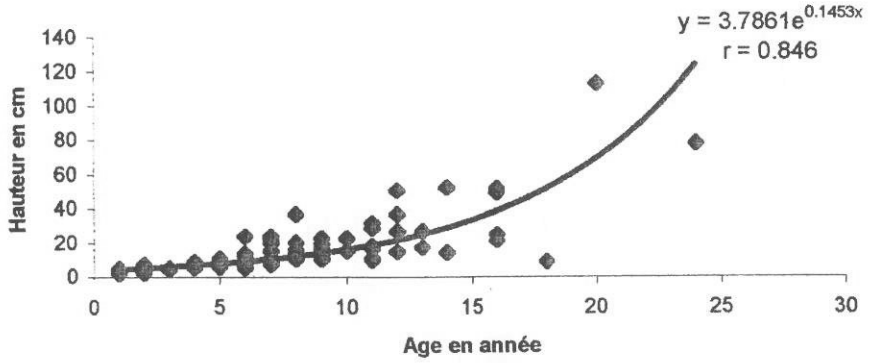


*Figure 3. Hauteur des plantules et des jeunes arbres en fonction de leur âge.*

### *Structure en diamètre*

Dans la réserve intégrale, la structure en diamètre (Figure 4) montre une grande hétérogénéité. Les classes de diamètre de 0 à 5 cm, correspondant aux plantules, sont les plus abondantes. Hormis les plantules, on observe un léger maximum pour les classes ]5-10 cm], correspondant aux arbustes, et ]40-45 cm] correspondant à de grands arbres.

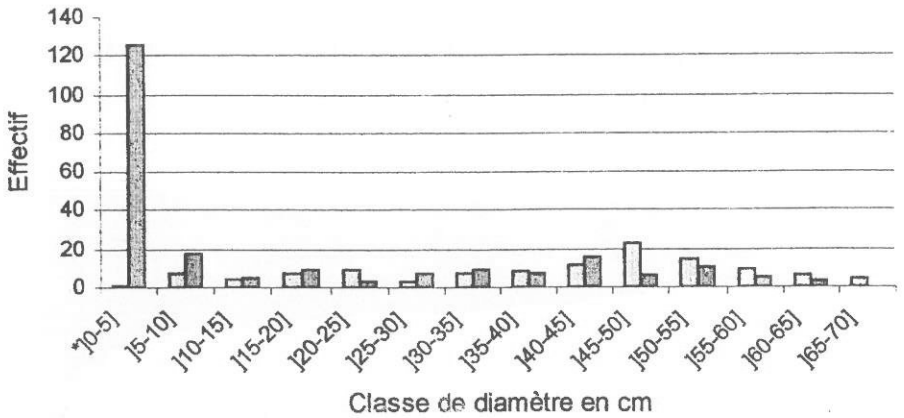


*Figure 4. Distribution des diamètres dans et hors de la réserve intégrale. ■ Pins dans la réserve intégrale. ■ Pins hors de la réserve intégrale. L'astérisque pour la classe ]0-5] correspond à un échantillonnage non exhaustif mais représentatif, ce qui souligne l'importance du nombre d'individus de petits diamètre.*

En dehors de la réserve intégrale, la distribution des diamètres (Figure 4) présente une grande hétérogénéité similaire à celle des pins de la réserve intégrale, si ce n'est que les plantules de ]0-5 cm] font défauts et que les arbustes de ]5-10 cm] sont peu représentés. Les classes de forts diamètres de 40 à 55 cm sont les plus représentées comme dans la réserve intégrale. À l'exception de ce pic, la distribution des diamètres présente peu de variations.

Pour une meilleure comparaison relative des distributions des classes de diamètre en faisant abstractions des effectifs totaux différents dans et hors de la réserve intégrale, les effectifs sont exprimés en pourcentage (Figure 5) ; seuls les effectifs des classes de diamètres ]0-5 cm] et ]5-10 cm] ne sont pas pris en compte dans le calcul des pourcentages. On observe ainsi que les effectifs relatifs des classes de forts diamètres ]45-50] à ]65-70] sont sensiblement supérieurs en dehors de la réserve intégrale.

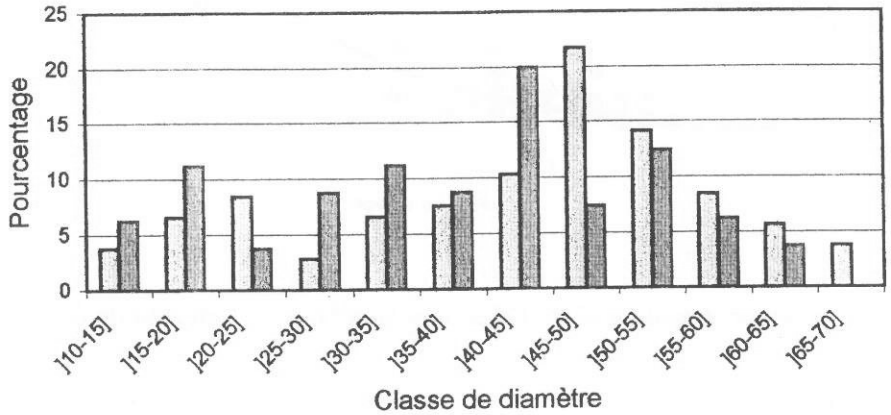


*Figure 5. Distribution comparée, en pourcentage, des diamètres dans et hors de la réserve intégrale. Effectifs, hors classe de diamètres ]0-5], exprimés en pourcentage. ■ Pins dans la réserve intégrale. ■ Pins hors de la réserve intégrale.*

***Structure d'âge***

La structure d'âge des pins est fondée sur le dénombrement de cernes, corrigé lorsque le centre du tronc n'a pas pu être échantillonné.

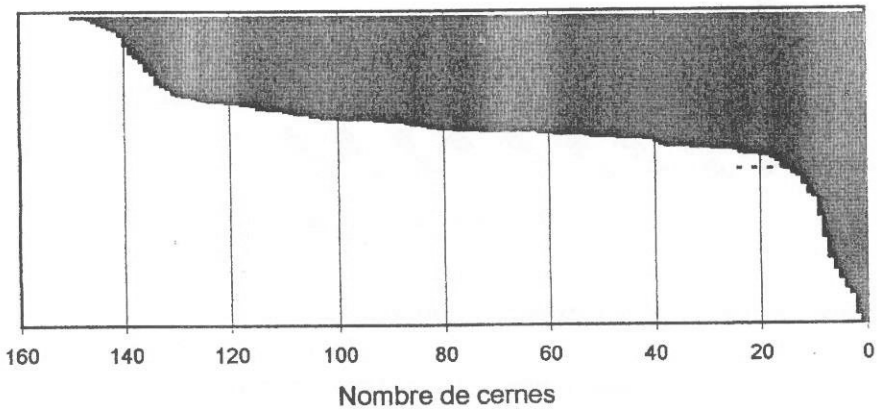


*Figure 6. Fréquence cumulée des pins noirs dans la réserve intégrale en fonction du nombre de cernes par individu. Les pointillés correspondent à des individus dont l'âge est sous-estimé (problème de lecture des cernes).*

Dans la réserve intégrale, l'histogramme des fréquences cumulées des individus en fonction de l'âge se compose de deux zones principales (Figure 6) : une première englobe un ensemble de pins âgés (supérieurs à 110 ans) et une seconde regroupant des individus assez jeunes (inférieurs à 20 ans). La transition entre ces deux zones est rendue progressive par la présence de quelques individus d'âge intermédiaire. La distribution des années de régénération des pins présente un maximum dans les classes des années [1861-1870] et [1991-2000] (Figure 7). Entre ces deux pics, les effectifs sont relativement constants mais faibles. Aucun individu ne semble avoir régénéré avant 1851.

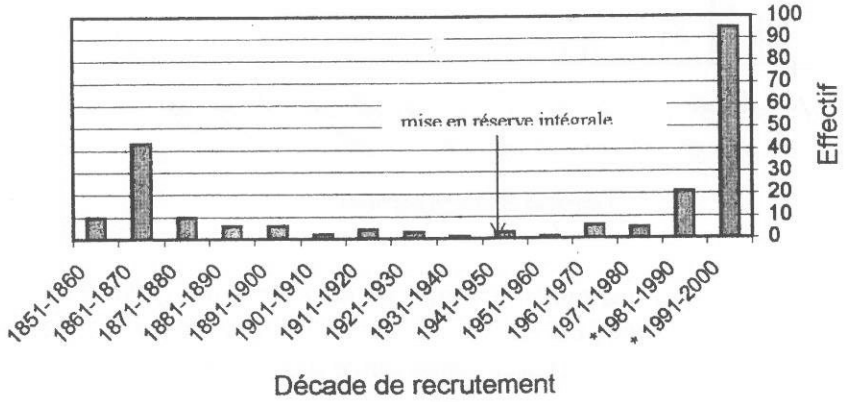


*Figure 7. Distribution des âges des pins noirs dans la réserve intégrale. L'astérisque (*) pour la classe d'ages ]1991-2000] correspond à un échantillonnage non exhaustif, ce qui souligne l'importance des jeunes individus.*

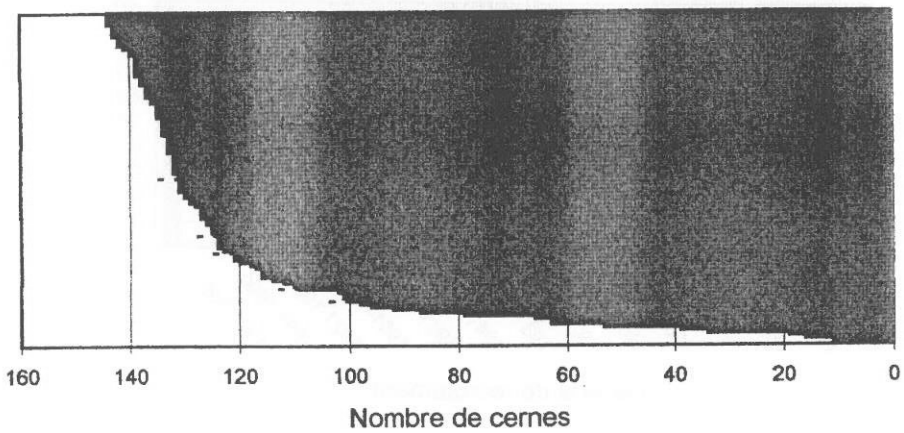


*Figure 8. Fréquence cumulée des pins noirs localisés en dehors de la réserve intégrale en fonction du nombre de cernes par individu. Les pointillés correspondent à des individus dont l'âge est sous-estimé (problème de lecture des cernes).*

En dehors de la réserve intégrale, la majorité des individus a plus de 110 cernes (Figure 8). La distribution unimodale souligne une principale phase de recrutement d'abres de plus de 110 ans et quelques rares individus qui ont pu régénérer au cours du 20$^{ème}$ siècle. L'essentiel de la régénération s'est déroulé de 1851 à 1890, avec un maximum atteint pour la classe des années [1861-1870] (Figure 9). Durant les 110 ans qui ont suivi, de 1891 à 2000, le nombre

de nouvelles recrues est faible et quelques fois nul, notamment pour les classes [1951-1960], [1971-1980].

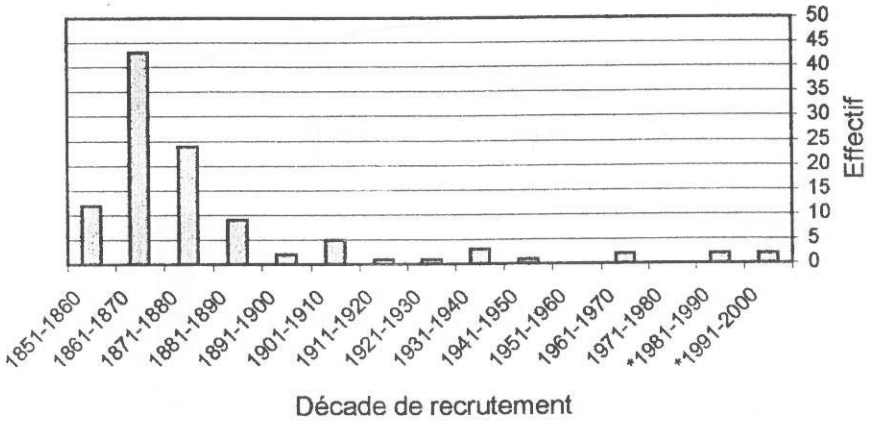


*Figure 9. Distribution des âges des pins noirs hors de la réserve intégrale. L'astérisque (*) pour la classe d'ages ]1991-2000] correspond à un échantillonnage non exhaustif, mais parfaitement représentatif de la très faible importance des jeunes individus de moins de 20 ans.*

La juxtaposition des graphiques 7 et 9 (figure 10) souligne une grande différence de structure d'âge entre les deux zones. Depuis la classe des années [1951-1960], les effectifs de recrutement de la réserve intégrale augmentent fortement alors qu'à l'extérieur ils n'évoluent pas.

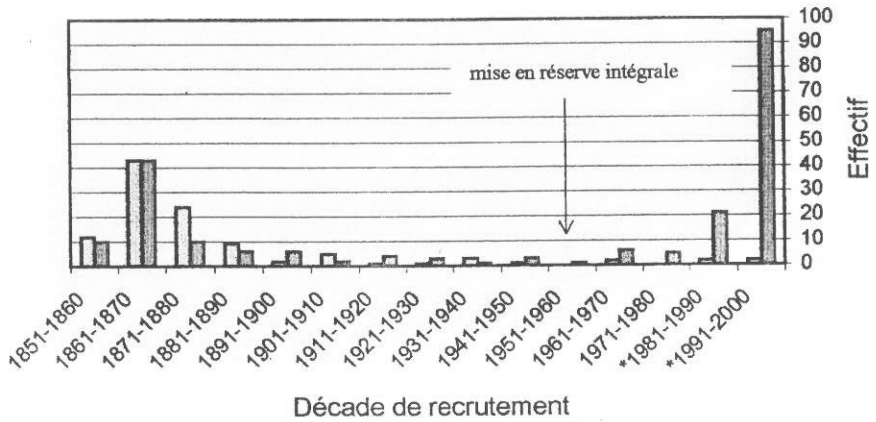


*Figure 10. Comparaison de la structure d'âge des pins à l'intérieur et à l'extérieur de la réserve intégrale. ■ Pins dans la réserve intégrale. □ Pins hors de la réserve intégrale. *Effectif non exhaustif.*

Pour une meilleure comparaison de la période 1851-1950, les effectifs relatifs sont exprimés en pourcentage, mais ne tiennent pas compte des plantules (classes [1991-2000]) et des jeunes arbres (classes [1981-1990]) qui écrasent la figure 10 du fait des effectifs observés dans la réserve intégrale. Les deux structures d'âge sont similaires pour les 100 premières années. Quelques variations peuvent être notées mais elles ne s'accentuent pas avec le temps (figure 11).

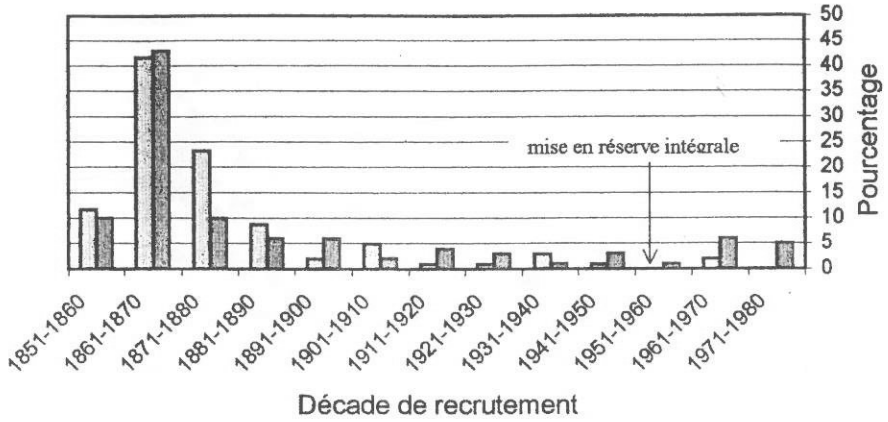


*Figure 11. Comparaison de la structure d'âge des pins à l'intérieur et à l'extérieur de la réserve intégrale. Les pourcentages sont calculés sans les plantules et les jeunes arbres. ■ Pins dans la réserve intégrale. ■ Pins hors de la réserve intégrale.*

***Relation entre le diamètre et l'âge***

La figure 12 présente le diamètre des pins en fonction de l'âge dans la réserve intégrale. La distribution suit globalement une courbe de type exponentielle. La croissance radiale, correspondant à la pente de la distribution, est relativement faible au début puis elle augmente au cours du temps. Pour les jeunes individus, la variabilité des diamètres pour un âge donné est faible, alors que pour les individus les plus âgés, cette variation est très importante. Lorsque les individus sont âgés, on n'observe pas de relation entre le diamètre et l'âge. Des individus du même âge peuvent présenter des diamètres allant du simple au triple.

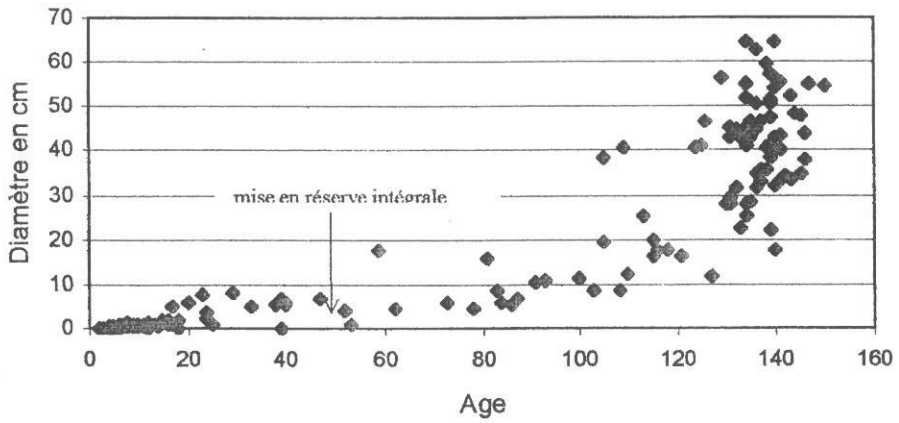


*Figure 12. Relation entre le diamètre et l'âge dans la réserve intégrale.*

En ce qui concerne les arbres situés en dehors de la réserve intégrale (Figure 13), la distribution est similaire à celle des arbres provenant de la réserve intégrale (Figure 12), bien que les classes de diamètres inférieures à 100 cm soient sous-représentées du fait de l'absence de jeunes individus.

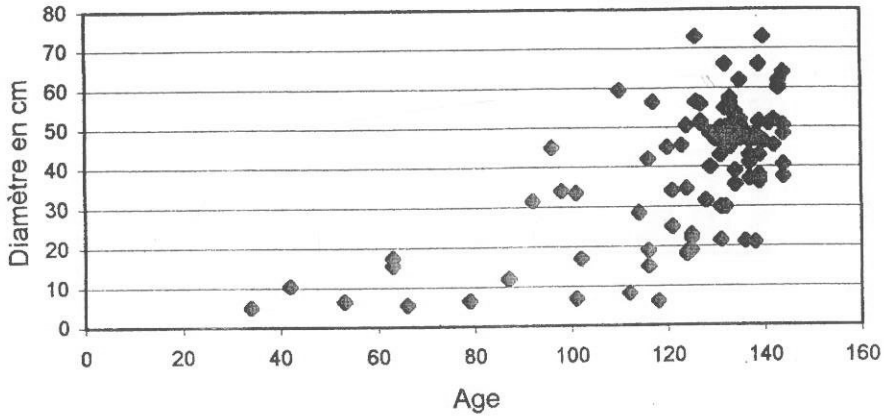


*Figure 13. Relation entre le diamètre et l'âge des arbres hors de la réserve intégrale.*

# DISCUSSION

***Les bovins structurent la régénération***

L'analyse de la distribution des âges donne un accès direct et quantitatif à la dynamique de la population de *Pinus nigra* subsp. *nigra*. Le pic de 1851 à 1880 (30 ans), observé dans les deux zones d'études, pourrait correspondre à l'âge des arbres qui auraient été plantés à la fin du 19ème siècle, en 1883, dans le cadre du programme national de restauration des terrains de montagne. Si l'on admet une date unique de plantation de pins noirs, les pins avaient environ 30 ans lors de leur introduction. Ces pins constitueraient une cohorte unique originelle que nous nommons « cohorte de plantation ». Cette cohorte précède celles qui en sont issues, dites « cohortes de régénération ».

Bien que nous connaissions l'existence d'une seule opération de plantation de pins noirs en 1883, nous pouvons imaginer que les textes qui rapportent ces opérations dans la Massane sont peut-être incomplets ; soit parce que d'autres textes ne nous sont pas parvenus, soit parce que certaines plantations n'ont pas été décrites dans les rapports administratifs ou les documents scientifiques. Compte tenu de la structure d'âges étalée des plus vieux pins du 19ème siècle, on peut facilement imaginer que plusieurs plantations aient pu être réalisées. En outre, le transport de plants de 20 ou 30 ans est rendu difficile et fastidieux dans le contexte montagnard escarpé du Massif de l'Albera, même accompagné d'ânes ou de mules. Ces faits plaident en faveur de plusieurs phase de plantations entre 1860 et 1880, voire jusqu'en 1890. Des dégradations des jeunes plants de pins noirs par les bergers et leurs troupeaux au 19ème siècle (communication J. Travé) ont pu générer plusieurs phases de plantation. En conséquence, des opérations successives de plantation de pins noirs, réparties entre 1860 et 1890, expliquent plus facilement la structure d'âge étalée et sans rupture distincte des plus vieux arbres de la Réserve Naturelle de la Massane, plutôt qu'une seule opération de plantation en 1883 de plants âgés de 10 à 30 ans.

Le fait qu'il n'existe pas de cohorte distincte les unes des autres peut notamment s'expliquer par l'age auquel *Pinus nigra* produit ses premières graines, vers 15 ou 20 ans, qui n'abondent qu'à partir de 25 ou 30 ans (Vidakovic 1991). Les pins noirs ont pu produire des graines et régénérer quelque 5 ou 10 ans après leurs plantations entre les années 1860 et 1890.

Dans la réserve intégrale, la structure d'âge est multi-modale (figure 7). La cohorte dite de plantation ayant régénéré entre 1851 et 1880 est importante mais les cohortes de régénération naturelle dans la vallée de la Massane sont bien caractérisées, notamment depuis les années 1950 ]1951-1960]. On observe en effet un accroissement des effectifs par classe d'âge depuis 1961. Cette date coïncide avec la mise en réserve intégrale d'une partie de la forêt en 1954 et donc avec l'exclusion partielle puis totale des bovins de l'exclos. Hors de la réserve intégrale, dans la zone soumise au pâturage par les bovins, les classes d'âge appartenant aux cohortes de régénération au 20ème siècle sont d'effectifs trop faibles. La structure d'âge est de type uni-modale asymétrique (Figure 9). La population n'est probablement pas pérenne.

Au cours des derniers 50 ans, la réserve intégrale est passee progressivement d'une structure uni-modale (cohortes de plantation) à une structure multi-modale (cohortes de plantation et cohortes de régénération). Cette dynamique n'aurait sans doute pas eu lieu sans la protection de la forêt en excluant les bovins. La structure uni-modale observée hors de la réserve intégrale semble être la résultante de l'absence de protection des plantules. Lors d'échantillonnage en avril 2003 avant que le troupeau ne réoccupe la vallée, nous avons pu observer des germinations de pins noirs de l'année hors de la réserve intégrale. Dans la mesure où la régénération s'opère hors de la réserve intégrale avant la montée en estive des

bovins alors même qu'aucune plantule de plus d'un an y soit observée, on doit admettre que le facteur premier expliquant la non-pérennité des pins est très certainement la présence du troupeau de bovins.

***La distribution des diamètres ne traduit pas la structure d'âge***

La structure en diamètre peut illustrer la dynamique d'une forêt (Parker, 1988 ; Linder et al., 1997). Selon ce postulat, la variabilité des diamètres laisserait supposer une grande variabilité des âges dans le cas de la forêt de la Massane, et probablement des recrutements réguliers depuis l'introduction des pins noirs dans la vallée (Figures 3-5). Mais la distribution des classes d'âges dans les deux zones étudiées diffère quelque peu des interprétations émises à partir de l'analyse de la structure en diamètre car la croissance n'est pas linéaire (Figure 12 et 13).

Nous observons la même relation entre le diamètre et l'âge dans les deux zones étudiées. La croissance radiale est semblable à l'intérieur et à l'extérieur de la réserve intégrale. Ce fait suggère que l'impact du troupeau est négligeable sur les arbres alors qu'il affecte la régénération. Les vaches n'exercent plus d'impact dans la réserve intégrale alors qu'elles « abroutissement » les pins inférieurs à 1,50 m, créant ainsi de véritables « bonzaïs ». L'abroutissement, mais aussi le piétinement, réduisent considérablement les chances de survie des germinations. La régénération n'est effective, hors de la réserve intégrale, que dans les zones inaccessibles en particuliers au niveau des rochers du Puig Rodon où l'on constate des petits plants de pins noirs bien que souvent abroutis.

L'observation détaillée de la relation âge/diamètre montre un changement dans la variabilité des diamètres selon l'âge des individus (Figure 12 et 13) ; lorsque les individus sont jeunes la variabilité est faible, alors qu'elle est très élevée lorsque les individus sont âgés, surtout au delà de 100 ans. Ce changement de variabilité morphométrique suggère un changement de réaction biologique des individus en fonction de l'âge, à moins que ce soit en fonction du temps. En effet, le temps traduit dans le cas de la Massane un changement structurel de la forêt, notamment une fermeture et une élévation de la canopée. De la part d'une espèce préférant la plaine lumière comme *Pinus nigra*, ce changement forestier pourrait expliquer le faible taux de croissance des plantules d'une part, et la faible variabilité de la croissance d'autre part. Lorsque les pins de plus de 100 ans ont été plantés ou ont régénéré spontanément, la végétation était plus en mosaïque qu'aujourd'hui et probablement dominée par un maquis à bruyère arborescente et genévrier dans lequel poussaient de jeunes hêtres et des jeunes chênes. Ce contexte très compétitif, au début du 20$^{ème}$ siècle, mais plus hétérogène peut expliquer pour partie les différences observées dans la relation âge/diamètre des arbres de plus de 100 ans. Enfin, il n'est pas exclus que des différences d'origines génétiques des individus ayant été introduits, éventuellement lors de différentes opérations de plantation successive, puissent expliquer la réponse biologique en termes de croissance des arbres.

## CONCLUSION

Cette étude révèle la dynamique de la population de pins noirs de la forêt de la Réserve Naturelle de la Massane. Elle nous permet aussi d'envisager son évolution. En dehors de la réserve intégrale, la population de pins noirs ne se renouvelle plus et va tendre à disparaître. En ce qui concerne la population à l'intérieur de la réserve intégrale, la régénération a lieu. La mise en exclos protège la régénération de l'ensemble de la communauté forestière. Dans le cas des pins, nous ignorons si elle sera suffisante pour maintenir la population actuelle. Un suivi à plus long terme accompagné d'un monitoring de la régénération et de la mortalité permettrait de mieux comprendre les risques d'invasion du pin noir dans cet écosystème où il est introduit.

Dans le cadre de la gestion de la forêt de la Massane, il apparaît éventuellement nécessaire d'intervenir en éliminant les pins noirs de la réserve intégrale (coupe systématique des semenciers, des jeunes arbres et des plantules). Par contre, en dehors de la réserve, cette opération de restauration écologique est inutile puisque les bovins empêchent la survie des germinations, entraînant ainsi une absence de perpétuation des pins noirs. En revanche, si à l'avenir le troupeau de bovins devait disparaître de la vallée de la Massane, il serait éventuellement envisageable d'intervenir sur les pins situés en dehors de l'exclos de la réserve intégrale afin d'éviter tout risque d'invasion.

## BIBLIOGRAPHIE


Abrams, M.D., Orwig, D.A. et Demeo T. E., 1995. Dendrochronological analysis of successional dynamics for presettlement-origin white-pine-mixed-oak forest in the southern Appalachians, USA. *Journal of ecology* 83, 123-133.

Arbiez, M., Millier, C., 1971. Contribution à l'étude de la variabilité géographique de *Pinus nigra* Arn. *Annales des Sciences Forestières* 28, 23-49.

Bergeron, Y., 2000. Species and stand dynamics in the mixed woods of Quebec's southern boreal forest. *Ecology* 81, 1500-1516.

Bojovic, R., 1995. *Biodiversité du pin noir (*Pinus nigra *Arn.) en region méditerranéenne.* Thèse de doctorat. Université d'Aix Marseille.

Font Garcia, J., 2000. *Estudis botanics de la serra de l'Albera, cataleg floristic general i poblament vegetal de les Basses de l'Albera.* Thèse de doctorat. Université de Gérone, Espagne.

Foster, D.R., Orwig, D.A., McLachlan, J.S., 1996. Ecological and conservation insights from reconstructive studies of temperate old-growth forests. *Trends in Ecology & Evolution* 11, 419-424.

Garrigue, J., Travé, J., Magdalou, J.-A., 2000. Suivi forestier et cartographie assistée par système d'information géographique. *Travaux de la Réserve naturelle de la Massane* 55. 1-44.

Gonzales, G., Groc,F., Louvet, J-J., Nombel, L., Travé, J., 1993. Impact du troupeau de bovins sur la réserve naturelle de la Massane. Réserve naturelle de la Massane, travaux 5.

Johnson, E.A., Miyanishi, K., Kleb, H., 1994. The hazards of interpretation of static age structures as shown by stand reconstructions in a *Pinus contorta-Picea engelmannii* forest. *Journal of Ecology* 82, 923-931.

Kajimoto, T., Seki, T., Ikeda, S., Daimaru, H., Okamoto, T. et Onodera, H., 2002. Effects of snowfal fluctuation on tree growth and establishment of subalpine *Abies mariesii* near upper forest-limit of Mt Yumori, Nothern Japan. *Artic, Antarctic and Alpine research* 34, 191-200.

Linder, P., Elfving, B., Zackrisson, O., 1997. Stand structure and successional trends in virgin boreal forest reserves in Sweden. *Forest Ecology and Management* 98, 17-33.

Parker, A. J., 1988. Stand structure subalpine forests of Yosomite National Park,California. *Forest Science* 34, 1047-1058.

Rameau, J.C., Mansion, D., Dumé, G., 1994. *Flore forestière française.* Tome 2, *Montagnes.* Edition IDF.

Rondeux, J., 1999. *La mesure des arbres et des peuplements forestiers.* Presses agronomiques de Gembloux. Chapitre3 : Autres caractéristiques dendrométriques des arbres. p. 50-51.

Travé, J., 2000. La réserve naturelle de la Massane, un exemple de forêt ancienne protégée. *Forêt méditerranéenne* 21, 278-283.

Vallauri, D., Poncet, L., 2003. Chapitre 12 : Un aperçu de la biodiversité des forêts françaises. Inventaires, enjeux et protection. In: Vallauri D. (ed.) *Le livre blanc sur la protection des forêt naturelle en France. Forêts métropolitaines.* Edition Tec&Doc. p. 127-140.

Vidakovic M., 1991. *Conifers, morphology and variation.* Graficki zavod Hrvatske.

Zackrisson, O., Nilsson, M.-C., Steijlen, I., Hörnberg, G., 1995. Regeneration pulses and climate-vegetation interactions in nonpyrogenic boreal Scots pine stands. *Journal of Ecology* 83, 469-483.

## ANNEXES

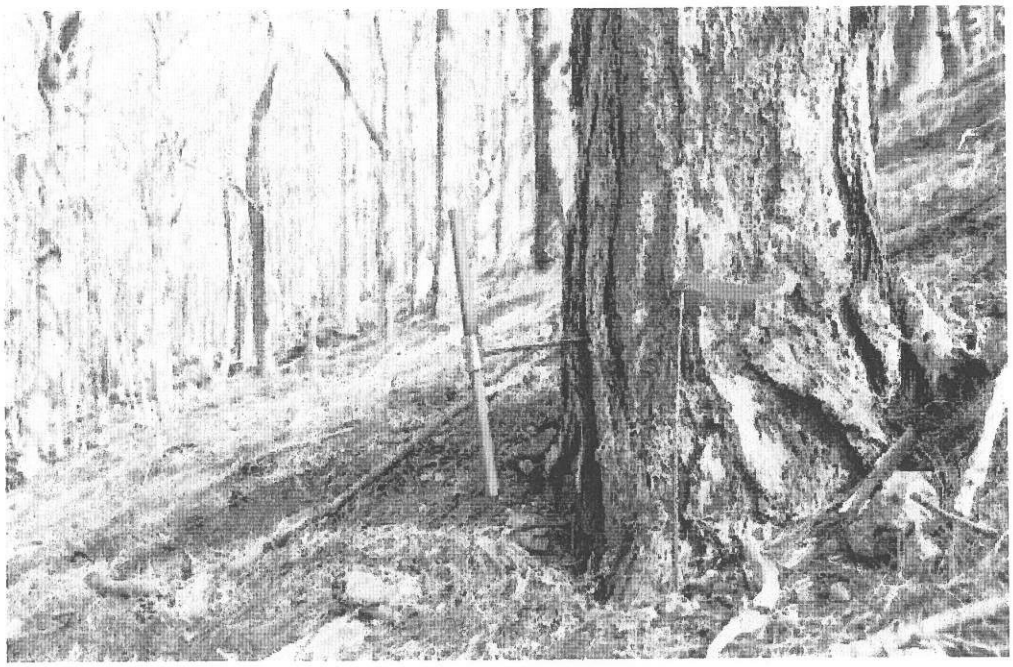

Photo 1 : Tarière de Presler.

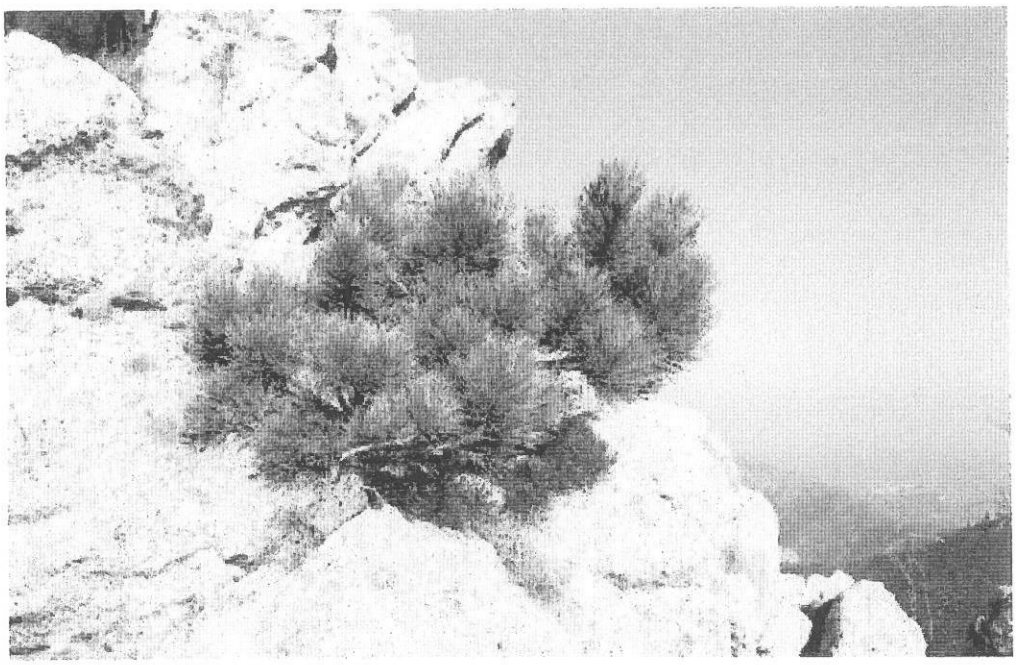

Photo 2 : Bonzaï se développant dans des rochers

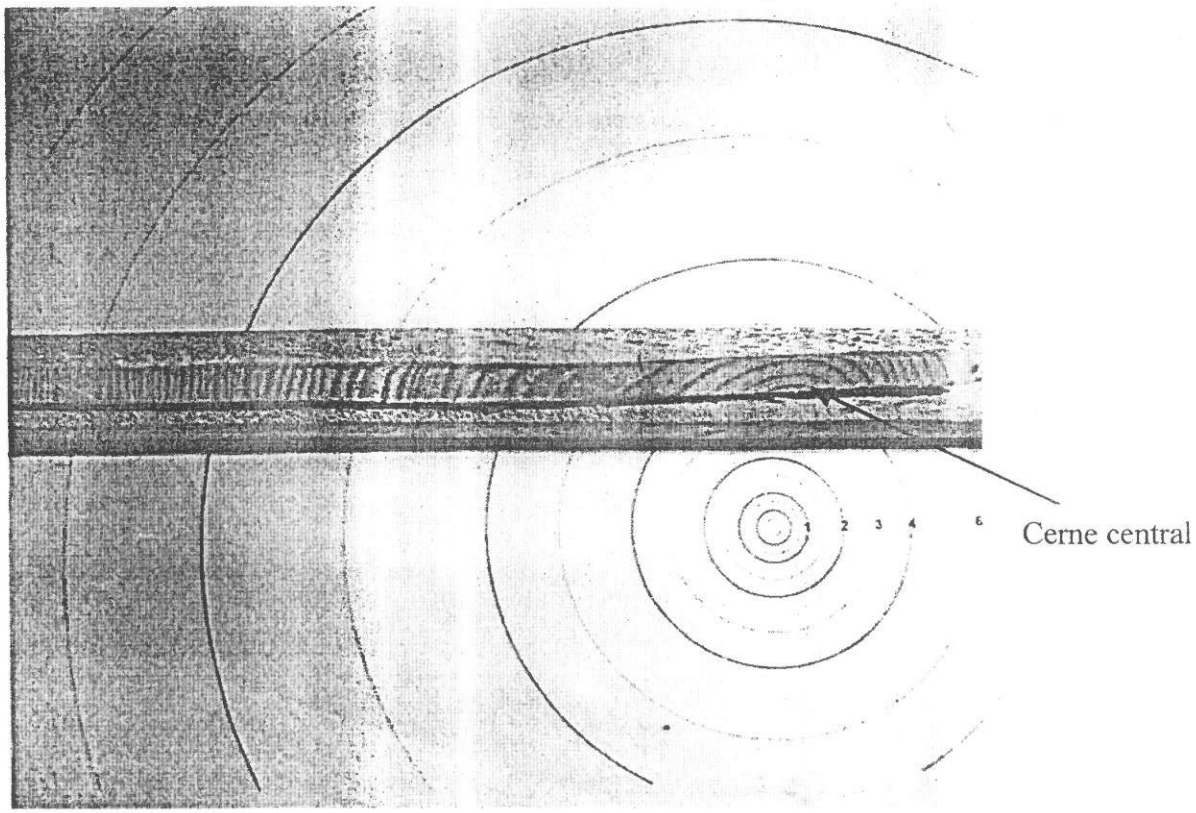


Photo 3 : Exemple de carotte incomplète dont nous cherchons la mire