

Dendroécologie et état sanitaire de l'Arolle dans le Mercantour

par Laurence DALSTEIN * et Jean-Luc DUPOUEY **

Introduction

Les forêts de conifères situées dans la zone de reconquête de la forêt sur les pelouses d'altitude ne suscitent que peu d'intérêt car elles sont généralement de productivité médiocre. Considérées plutôt comme des forêts de protection, elles sont peu étudiées en France d'un point de vue dendrométrique. Pourtant la croissance radiale des arbres en fonction de l'âge cambial peut être intéressante à analyser en raison des conditions extrêmes qui caractérisent les limites écologiques des espèces. Parmi les conifères présents à haute altitude dans les massifs alpins figure le pin cembro ou arolle. Existant en Sibérie au Tertiaire, *Pinus cembra* L. est une essence intra-alpine venue de l'Est qui s'est développée aux époques interglaciaires. En France, sans doute à cause de sa rareté géographique, les publications concernant cette essence sont moins nombreuses que chez nos voisins helvétiques ou autrichiens. Néanmoins, dans l'étage subalpin des Alpes françaises, Barbero, (1972), Contini et Lavarello (1982) lui consacrent un important travail monographique; son écologie, son écophysiologie et son état sanitaire font également l'objet de recherches (FOURCHY, 1968 ; TRANQUILLINI, 1969 ; DALSTEIN, 1997).

D'après l'inventaire forestier national, son aire de production en France (2207 ha) s'étend sur trois grandes régions alpines :

* Groupe International d'Etude des Forêts Subalpines, 69, Av. des Hespérides, 06300 Nice

** INRA, Equipe Phytoécologie forestière, 54280 Champenoux

- Hautes Alpes : Briançonnais, Queyras et Embrunais représentent à eux trois 42% de cette surface.

- Savoie : 37% (2/3 Maurienne et 1/3 Tarentaise)

- Ubaye et Alpes Maritimes : 21%.

Depuis le début des années 1980, dans les Alpes Maritimes et plus particulièrement dans le Parc National du Mercantour, l'état de santé de l'arolle est l'objet d'une attention soutenue. Des jaunissements et défoliations importants ont en effet été signalés sur certains arbres, pour la première fois par les agents du Parc.

L'analyse dendroécologique, qui associe la mesure des cernes d'accrois-

sement annuel des arbres (dendrochronologie) et l'étude de leurs conditions environnementales (écologie), peut apporter des informations pertinentes sur les causes de ces jaunissements ou défoliations. Les principaux facteurs de variation de la vigueur des arbres, qu'ils soient naturels (climat, attaque de pathogènes) ou liés à l'action de l'homme (mode de gestion agro-sylvopastoral, apports atmosphériques) provoquent en effet des variations de la croissance radiale. Les grands " événements " de la vie des arbres sont ainsi enregistrés dans leur séquence de cernes, particulièrement pour le pin cembro dont l'âge peut dépasser plusieurs siècles.



Photo 1 : Pins cembro adultes jaunissants du Mercantour encadrés par deux épicéas.



Fig. 1 : Localisation des zones de carottage en Mercantour

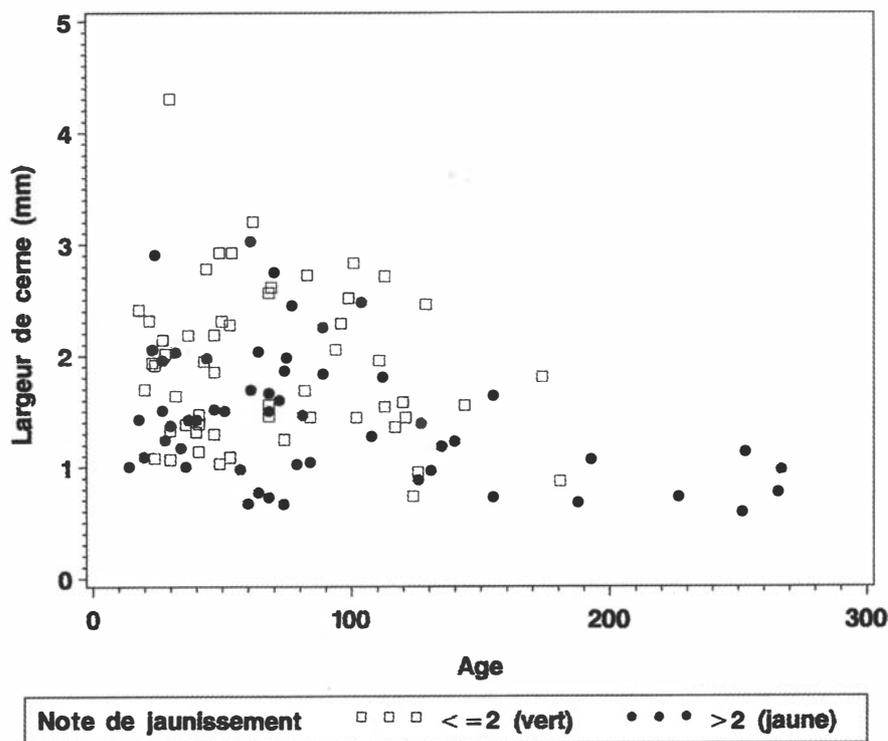


Fig. 2 : Croissance radiale annuelle moyenne en fonction de l'âge des arbres.

	Arbres jeunes (<75 ans)		Arbres adultes (> ou = 75 ans)	
	Jaune	Vert	Jaune	Vert
Etat du houppier	Jaune	Vert	Jaune	Vert
Croissance radiale annuelle moyenne (mm)	1,54	1,96	1,16	1,75

Tab. I : Croissance radiale annuelle moyenne (mm) des pins cembro par classe d'âge et catégorie de couleur des aiguilles.

Cette étude préliminaire a pour objet :

- de reconstruire les variations passées de la croissance radiale du pin cembro dans les hautes vallées du Mercantour, afin de comparer les niveaux actuels et anciens de croissance et d'identifier d'éventuelles pertes de vigueur des arbres ;
- de comparer la croissance radiale actuelle et passée des arbres présentant des états sanitaires contrastés (jaunissants, défoliés ou verts et non défoliés) afin d'aider à la compréhension de ces phénomènes.

Matériel et méthode

L'étude porte sur sept zones des hautes vallées de la Tinée et de la Vésubie : vallons de Mollières, Marges, Velail, Tavel, Chastillon, cols de la Lombarde (versants italiens et français) et de la Mercière (Cf. Fig. 1). Dans chacune de ces zones, sur une dizaine d'hectares environ, sont échantillonnés des arbres verts ou jaunissants en nombre à peu près égal et poussant à peu de distance les uns des autres. Cet échantillonnage est de plus équilibré entre arbres jeunes et âgés. Au total, 110 arbres sont carottés : 65 de moins de 75 ans (44 ans en moyenne, 14 ans au minimum) et 45 de plus de 75 ans (132 ans de moyenne, jusqu'à 267 ans).

Pour chaque arbre, certaines conditions environnementales sont notées : altitude, pente, humidité du sol. L'état de vitalité de l'arbre est relevé (DALSTEIN, 1999) : évaluation du jaunissement (sur une échelle visuelle de 0 à 4) et du pourcentage de défoliation (par classes de 5%). Le carottage, à l'aide d'une tarière de 50 cm, s'effectue dans le tronc jusqu'au cœur entre 1 m et 1,30 m de hauteur selon la taille des arbres et dans une direction perpendiculaire à la pente.

Le cerne de l'année de carottage (1996) est écarté car il est incomplètement formé à la date des prélèvements. La largeur des cernes (LC) de chaque arbre est mesurée au centième de mm à l'aide d'une loupe binoculaire couplée à une chambre claire et à une table à digitaliser reliée à un micro-ordinateur.

L'interdatation est ensuite réalisée. Elle consiste à repérer les cernes manquants, faux cernes ou erreurs de saisie. Le calcul du dendrochronogramme moyen permet de déterminer la "carte d'identité" de la croissance radiale des arbres. Cette moyenne est calculée pour différents groupes d'arbres, selon l'état de jaunissement, la défoliation, l'âge des arbres ou l'humidité du sol.

Résultats et interprétation

1.- Croissance radiale annuelle moyenne des arbres (Cf. Fig. 2 et Tab. I)

Nous confirmons le caractère longévif du pin cembro. Quatre arbres échantillonnés ont plus de 250 ans, et le premier cerne mesuré date de 1730. Une diminution normale de la croissance radiale moyenne annuelle (longueur totale de la carotte prélevée divisée par l'âge de l'arbre) est constatée avec l'âge. Au sein d'une même catégorie d'âge, les arbres verts montrent une croissance radiale moyenne très significativement supérieure à celle des arbres jaunissants (Cf. Tab. I). Cependant, une part de ces différences est due à un âge plus élevé en moyenne des arbres jaunissants par rapport aux arbres verts. La figure 2 montre en particulier que presque tous les arbres de plus de 150 ans sont jaunissants, suggérant un effet du vieillissement sur l'état des houppiers. Si l'on écarte ces arbres de plus de 150 ans, la perte de croissance des arbres jaunes par rapport aux arbres verts est de l'ordre de 20% en moyenne.

2.- Evolution de la croissance radiale des pins cembro du Mercantour depuis le siècle dernier

Largeur moyenne des cernes par classe d'âge et de date

La figure 3 indique, pour chaque classe d'âge cambial et chaque période pour lesquelles nous disposons d'un nombre suffisant d'observations, la croissance radiale annuelle moyenne.

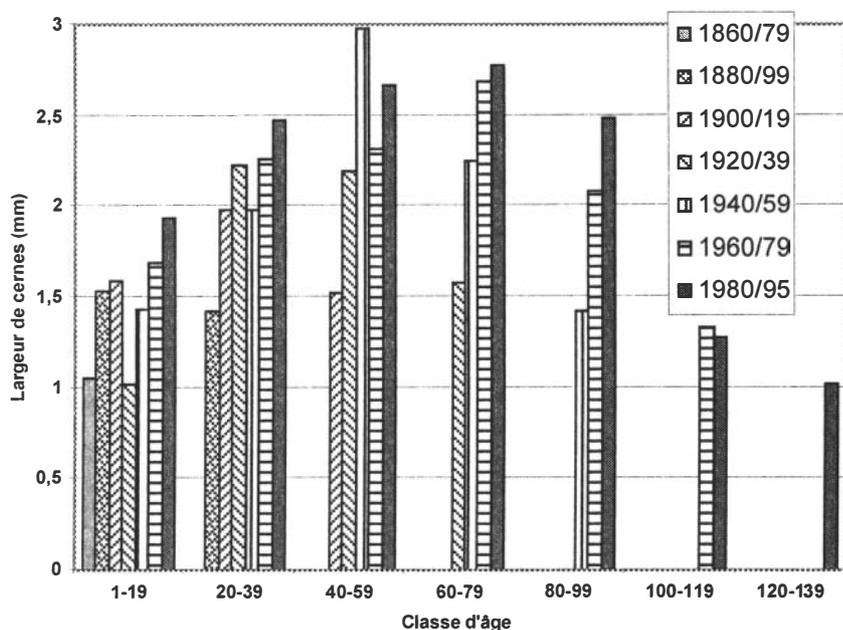


Fig. 3 : Croissance radiale annuelle moyenne par catégorie d'âge et de date

On observe une tendance assez nette à l'augmentation de la largeur des cernes annuels au cours du dernier siècle, surtout depuis les années 1950.

Croissance radiale antérieure et couleur actuelle du feuillage

La croissance radiale des jeunes pins cembro se différencie nettement en

fonction de leur état de jaunissement actuel (Cf. Fig. 4). Alors que les jeunes arbres au feuillage vert connaissent une forte progression de leur croissance radiale depuis 1980, les arbres jaunissants montrent un niveau constant, fluctuant autour de 1,5 mm/an, depuis les premières années de nos mesures. En conséquence, l'écart de croissance radiale entre ces deux catégories d'arbres se

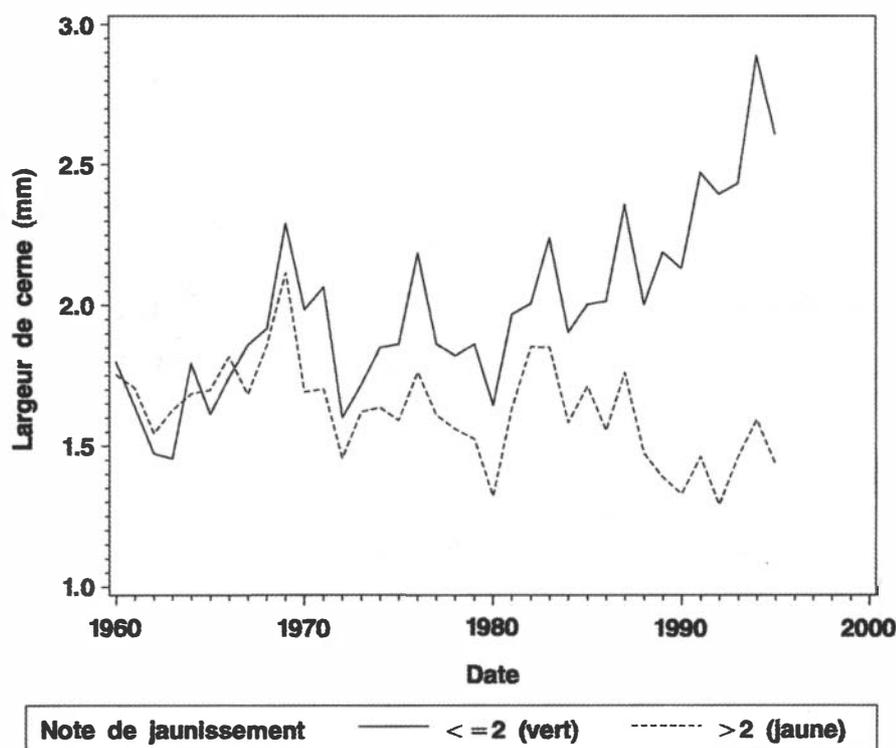


Fig. 4 : Courbes moyennes de croissance radiale annuelle des jeunes arbres en fonction de la couleur actuelle des aiguilles.

creuse depuis 1980 (Cf. Fig. 6).

Cette différence de croissance radiale s'observe également parmi les arbres plus âgés et ce depuis le début du siècle (Cf. Fig. 4). L'écart de croissance radiale entre les arbres aujourd'hui verts et ceux présentant un feuillage jaunissant est maximal vers 1950 (Cf. Fig. 5). Depuis cette date et contrairement à ce qu'on observe pour les jeunes arbres, la différence de croissance radiale entre les deux catégories d'arbre s'atténue.

Les écarts entre arbres verts et jaunissants se creusent souvent à l'occasion d'années ou de périodes climatiquement défavorables, ou juste après : 1919, année froide, 1921 à 1924, fortement déficitaires en pluie, janvier 1945 très froid, période 1980 à 1983, années de fortes sécheresses hivernales (Centre Scientifique de Monaco, 1997).

Croissance radiale antérieure et perte d'aiguilles

Les résultats obtenus en comparant la croissance radiale des arbres défoliés et celle des arbres présentant de faibles pertes foliaires sont sensiblement identiques à ceux observés précédemment pour le jaunissement. Cette similitude s'explique par la corrélation étroite entre jaunissement et défoliation comme le montre le tableau II de répartition des arbres par catégories de défoliation et de jaunissement. Cependant, alors que presque tous les pins cembro notés jaunes sont défoliés, ceux qui sont notés verts sont soit majoritairement non défoliés (jeunes arbres), soit indifféremment défoliés ou pas (arbres âgés).

Si l'on se base sur ces deux descripteurs de l'état des houppiers, on peut donc distinguer trois catégories d'état sanitaire : (1) les arbres verts non défoliés, (2) les arbres verts défoliés et enfin (3) les arbres défoliés et jaunissants. Cet ordre est confirmé par la figure 7 où ces trois états présentent des croissances radiales bien distinctes. Les pertes foliaires seules sont associées à une diminution de croissance radiale moins importante que la présence combinée d'un jaunissement et d'une défoliation : les arbres défoliés, qu'ils soient jaunes ou non, montrent une croissance radiale annuelle plus faible que les arbres verts non défoliés dès 1965-1970. En revanche,

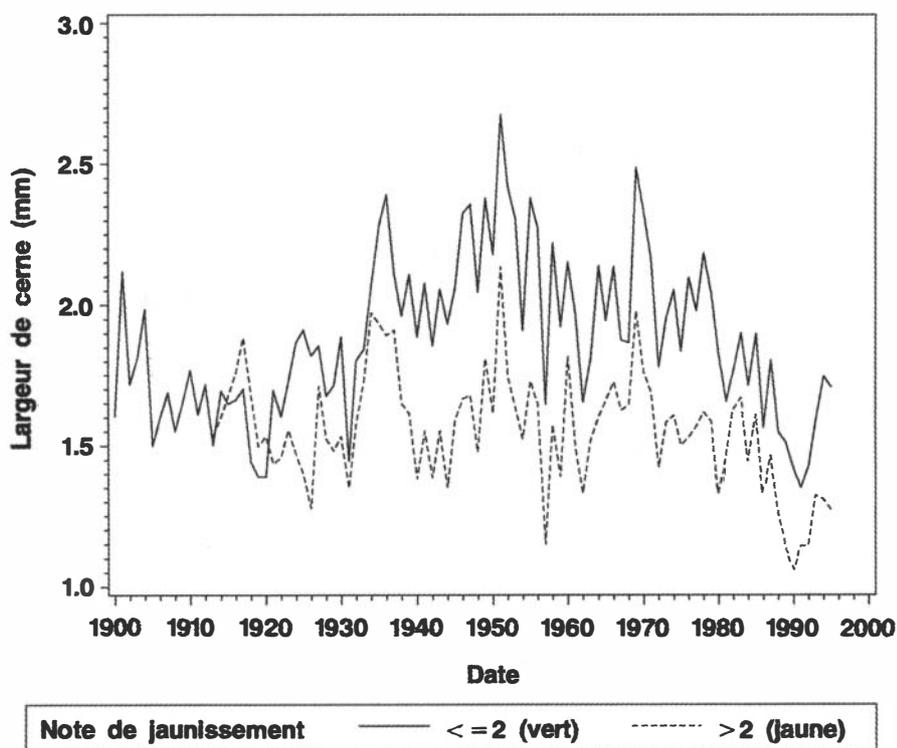


Fig. 5 : Courbes moyennes de croissance radiale annuelle des vieux arbres en fonction de la couleur actuelle des aiguilles.

	Arbres jeunes		Arbres adultes		
	Jaunes	Verts	Jaunes	Verts	
défoliés	36	11	défoliés	27	11
sains	1	29	sains	1	12

Tab.II : Fréquence des arbres dans chaque catégorie de défoliation et de jaunissement.

la croissance radiale des arbres aujourd'hui jaunissants et défoliés ne "décroche" que plus récemment, vers 1985. Le même phénomène s'observe pour les arbres plus âgés.

Discussion

1.- Niveau général de la croissance radiale des arbres

On observe, dans la zone du Mercantour étudiée, les mêmes tendances positives de croissance radiale observées pour de nombreuses essences en France et en Europe au cours du XX^e siècle (BECKER et al., 1994). Lorsqu'on retire l'effet de l'âge, qui provoque une diminution de la largeur des cernes au cours du temps,

afin de ne conserver que les éventuels signaux liés à des changements environnementaux (changement climatique, baisse de l'activité pastorale ou pollution atmosphérique), il apparaît une tendance croissante nette (Cf. Fig. 3). Notre échantillon est cependant de taille trop limitée pour pouvoir conclure définitivement sur ce point. Il serait intéressant de confirmer ou d'infirmer sur un plus grand nombre d'arbres cette tendance de croissance positive.

2.- Relations entre croissance radiale, jaunissement et défoliation

Défoliation et jaunissement sont étroitement liés, associés à une croissance radiale réduite toutes tranches d'âge confondues. Le jaunissement

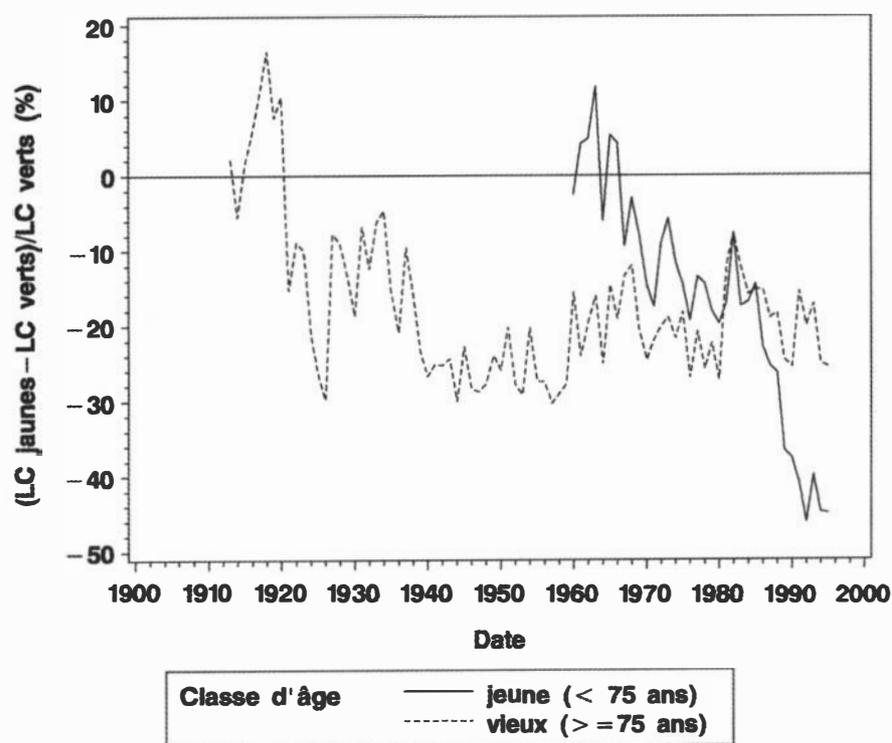


Fig. 6 : Différence entre la croissance radiale des arbres actuellement jaunissants et celle des arbres verts par catégorie d'âge, en pourcentage de la croissance des arbres verts.

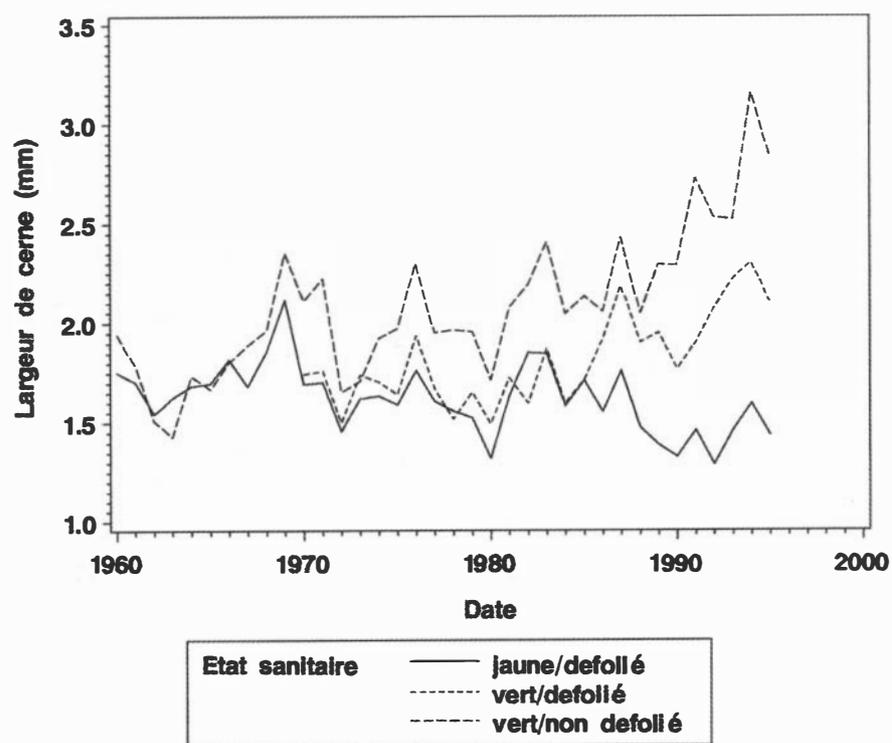


Fig. 7 : Courbes moyennes de croissance radiale annuelle des jeunes arbres en fonction de leur état sanitaire actuel.

représente une dégradation de l'état sanitaire des pins plus significative que la défoliation, dans la mesure où il n'apparaît quasiment jamais seul, et où il est effectivement associé à une perte de croissance radiale plus grande que la seule perte d'aiguilles. Plusieurs mécanismes peuvent expliquer ces variations concomitantes de la vitesse de croissance radiale et de l'état des houppiers :

- le micro-environnement où pousse chaque arbre est plus ou moins favorable à sa croissance, ceci dès sa naissance et tout au long de sa vie. L'état de santé des houppiers pourrait traduire ces différences stationnelles, avec un houppier d'autant plus dense et vert que la station est favorable. L'humidité excessive des bas de valon, observée à Mollières, est par exemple un facteur stationnel néfaste à l'état du houppier : 22% des sujets ayant une note de jaunissement supérieure à 2 poussaient en milieu hydromorphe, contre 6% seulement pour les arbres à houppier vert. Cette interaction entre couleur du houppier et type de station existe aussi bien chez les jeunes que chez les vieux arbres ;

- les mécanismes physiologiques normaux de vieillissement des arbres conduisent à une stabilisation, voire une baisse de leur croissance en volume qui s'accompagne d'une baisse de leur croissance radiale et, comme on le constate ici, d'une dégradation de l'état de leur houppier ;

- les différences entre arbres de sensibilité aux aléas climatiques, d'origine génétique ou micro-environnementale, permettraient une différenciation progressive de la croissance et de l'état du houppier au fur et à mesure des événements climatiques défavorables (BECKER, 1989; PEDERSEN, 1998). Dans le cas étudié ici, on constate que les arbres adultes aujourd'hui jaunissants sont probablement en difficulté depuis le début du XX^e siècle ;

- enfin, la dynamique de croissance radiale des jeunes arbres jaunissants ou défoliés n'est pas incompatible avec l'hypothèse d'un effet des polluants atmosphériques puisqu'une augmentation du décalage de croissance radiale est constatée entre les arbres verts et jaunissants depuis une quinzaine d'années. Cette rupture est nettement plus marquée que celle observée au même âge pour les arbres âgés. De tels effets ont déjà été observés : impact de pol-

lution gazeuse sur des sols pauvres et acides qui se manifeste par une diminution de la largeur des cernes, phénomène d'autant plus visible qu'il est associé à des perturbations climatiques (PETERSON et al., 1987). Il ne faut donc pas négliger le rôle des apports atmosphériques, véhiculés sur de longues distances et qui à long terme peuvent provoquer des modifications sur les appareils végétatifs et leur croissance. Les influences à distance dans le Mercantour (DALSTEIN, 1997) montrent qu'il existe dans cette région des apports ozoniques excessifs provenant de régions proches à forte densité de population et dont l'activité industrielle est importante (littoral niçois et plaine du Pô).

En conclusion, cette première étude dendroécologique des pins cembro du Mercantour montre une évolution à long terme de la croissance radiale conforme à la plupart des observations faites antérieurement, dans d'autres régions et pour d'autres espèces. Le jaunissement apparaît comme un état de moindre vigueur de l'arbre, souvent ancien, et ayant des causes multiples, tels que l'âge élevé des arbres, ou leur sensibilité aux excès d'eau. L'étude des cernes ne permet ni de confirmer ni d'infirmer le rôle de la pollution à l'ozone sur l'état de santé du pin cembro dans le Mercantour. Cette essence pourrait prendre une place plus importante dans les études dendroécologiques,

en particulier pour les reconstructions climatiques à long terme dans les montagnes du sud de l'Europe.

L.D., J.-L.D.

Remerciements

Je remercie V. Normand et F. Rubini pour leur aide lors des prélèvements. Je remercie également toute l'équipe de Phytoécologie forestière de l'I.N.R.A de Nancy pour la préparation des échantillons et la mise à disposition de leur matériel.

Références

- BARBERO M., (1972). - Etudes phytosociologiques et écologiques comparées des végétations alpine, subalpine et mésogénne des Alpes Maritimes et Ligures. Thèse Université de Provence, Marseille. Koeltz Antiquariat, Koenigstein, 418 p.
- BECKER M., (1989). - Le dépérissement des forêts : importance du climat et de la sylviculture. Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France, 75, 9, 117-124.
- BECKER M., BERT G.D., BOUCHON J., PICARD J.F., ULRICH E., (1994). - Tendances à long terme observées dans la croissance de divers feuillus et résineux du Nord-Est de la France depuis le milieu du XIX^e siècle, Revue Forestière Française, 46 (4), 335-341.

CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO, (1997). - Un siècle d'observations météorologiques à Monaco. Bulletin du Centre Scientifique de Monaco, 3, 1-77.

CONTINI L., LAVARELO Y., (1982). - Le Pin cembro (*Pinus cembra* L.) : répartition, écologie, sylviculture et production. I.N.R.A Publications, Versailles, 197 p.

DALSTEIN L., (1997). - Etat physiologique des cembraies du Mercantour et du Queyras en liaison avec la pollution atmosphérique et les facteurs écologiques. Thèse de 3^{ème} cycle, Université d'Aix-Marseille, 229 p.

DALSTEIN L., (1999). - La méthode d'inventaire des dommages forestiers appliquée à l'étude de la cembraie du vallon de Mollières, Parc National du Mercantour. Forêt Méditerranéenne, 20 (3), sous presse.

FOURCHY P., (1968). - Notes sur le Pin cembro dans les Alpes françaises. Revue Forestière Française, 2, 77-94.

PEDERSEN B.S., (1998). - The role of stress in the mortality of midwestern oaks as indicated by growth prior to death. Ecology, 79, 79-93.

PETERSON D.L., ARBAUGH M.J., WAKEFIELD V.A., MILLER P.R., (1987). - Evidence of growth reduction in ozone-injured jeffrey pine (*Pinus jeffreyi* Grev. & Balf.) in Sequoia and Kings Canyon National Parks. Journal of the Air Pollution Control Association, 37, 906-912.

TRANQUILLINI W., (1969). - Photosynthese und Transpiration einiger Holzarten bei verchieden starkem Wind. Cbl. ges. Forstwesen, 86, 35-48.

Résumé

Une étude dendrochronologique du pin cembro dans le Mercantour a été menée afin de reconstituer l'historique de la croissance radiale des arbres, en relation avec leur état de santé actuel. L'étude de 110 arbres d'âges variés ne montre pas de variations alarmantes de la croissance depuis un siècle. On retrouve au contraire la tendance de croissance radiale positive observée dans la plupart des études européennes.

Les arbres aujourd'hui jaunissants, qui présentent aussi pour la plupart des pertes foliaires, ont une croissance inférieure à celle des arbres verts depuis le début du XX^e siècle. L'âge et l'excès d'eau dans le sol favorisent l'apparition de ce jaunissement. L'effet éventuel des dépôts d'ozone ne peut être confirmé ou infirmé dans le cadre de cette étude, mais le pin cembro présente les caractéristiques requises pour mener de plus larges études dendroécologiques.

224

Summary

A dendro-ecological study of the *Pinus cembra* in the Alps of the Mercantour (southeastern France)

The aim at this study has been to give an account of the growth periods of the *Pinus cembra* in the few high valleys of the Mercantour (southeast Alps, France). The information presented establishes a correlation between a general level of growth and/or the yellowing and less of fottage.

Riassunto

Studio dendroecologico sui "Arolles" (pino cembro) del Mercantour.

Questo studio ha per scopo di esporre storicamente gli episodi di crescita del pino cembro in qualche alta valle del Mercantour. Le informazioni consegnate permettono di stabilire correlazioni tra il livello generale di crescita di questi alberi e/o il loro ingiallimento e la loro sfogliazione.