



C. Rolland
J. Florence-Schueller.
J. Cooper

Croissance comparée du pin à crochets et de l'épicéa (*Pinus uncinata* Ram. et *Picea abies* Karst.) sur dalle calcaire karstifiée en moyenne montagne tempérée (Vercors, France) / A comparison of the growth of mountain pine and spruce (*Pinus uncinata* Ram. and *Picea abies* Karst.) on a karstified calcareous flag in a temperate, mid-altitude mountain area (Vercors, France)

In: Revue de géographie alpine. 1995, Tome 83 N°1. pp. 17-32.

Abstract

Abstract : A comparison of the growth of mountain pine and spruce (*Pinus uncinata* Ram. and *Picea abies* Karst.) on a karstified calcareous flag in a temperate, mid- altitude mountain area (Vercors, France). The dendroecological method was used to compare the growth and response to climate of the mountain pine and spruce in particular soil conditions. The trees are found growing on urgonian calcareous soil (lapiaz), between 1300 and 1400 metres in the Vercors mountains, France. Ring-width analysis reveals that the mean radial growth of the mountain pine is faster than that of the spruce, the maximum increase observed being 2.0 mm/year for pine and 1.2 mm/year for spruce. The sensitivity to climate is high in both cases, but spruce exhibits a longer delay in its response to climate. Mountain pine growth is better with high rainfall in July of the previous year (n-1), while high temperatures during July (n-1) and May (n) affect both species, increasing their transpiration.

Résumé

Résumé : Une comparaison dendroécologique de la croissance et de la réponse aux facteurs climatiques du pin à crochets et de l'épicéa a été réalisée en conditions stationnelles particulières, sur dalle de calcaire urgonien karstifié (lapiaz), entre 1 300 et 1 400 mètres dans le massif du Vercors (France). L'analyse des largeurs de cernes révèle une croissance plus rapide pour le pin à crochets, dont l'accroissement radial moyen atteint au maximum 2.0 mm/an, contre 1.2 mm/an seulement pour l'épicéa. La sensibilité au climat est élevée dans les deux cas, avec cependant une plus forte inertie de réponse pour l'épicéa. Le pin profite nettement des précipitations de Juillet durant l'année précédente (n-1), les deux essences étant affectées par de fortes températures en Juillet (n-1) et Mai (n) qui augmentent leur transpiration.

Citer ce document / Cite this document :

Rolland C., Florence-Schueller. J., Cooper J. Croissance comparée du pin à crochets et de l'épicéa (*Pinus uncinata* Ram. et *Picea abies* Karst.) sur dalle calcaire karstifiée en moyenne montagne tempérée (Vercors, France) / A comparison of the growth of mountain pine and spruce (*Pinus uncinata* Ram. and *Picea abies* Karst.) on a karstified calcareous flag in a temperate, mid-altitude mountain area (Vercors, France). In: Revue de géographie alpine. 1995, Tome 83 N°1. pp. 17-32.

doi : 10.3406/rga.1995.3788

http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/rga_0035-1121_1995_num_83_1_3788



Croissance comparée du pin à crochets et de l'épicéa (*Pinus uncinata* Ram. et *Picea abies* Karst.) sur dalle calcaire karstifiée en moyenne montagne tempérée (Vercors, France)

Résumé : Une comparaison dendroécologique de la croissance et de la réponse aux facteurs climatiques du pin à crochets et de l'épicéa a été réalisée en conditions stationnelles particulières, sur dalle de calcaire urgonien karstifié (lapiaz), entre 1 300 et 1 400 mètres dans le massif du Vercors (France). L'analyse des largeurs de cernes révèle une croissance plus rapide pour le pin à crochets, dont l'accroissement radial moyen atteint au maximum 2.0 mm/an, contre 1.2 mm/an seulement pour l'épicéa. La sensibilité au climat est élevée dans les deux cas, avec cependant une plus forte inertie de réponse pour l'épicéa. Le pin profite nettement des précipitations de Juillet durant l'année précédente (n-1), les deux essences étant affectées par de fortes températures en Juillet (n-1) et Mai (n) qui augmentent leur transpiration.

Abstract : A comparison of the growth of mountain pine and spruce (*Pinus uncinata* Ram. and *Picea abies* Karst.) on a karstified calcareous flag in a temperate, mid-altitude mountain area (Vercors, France). The dendroecological method was used to compare the growth and response to climate of the mountain pine and spruce in particular soil conditions. The trees are found growing on urgonian calcareous soil (lapiaz), between 1300 and 1400 metres in the Vercors mountains, France.

Ring-width analysis reveals that the mean radial growth of the mountain pine is faster than that of the spruce, the maximum increase observed being 2.0 mm/year for pine and 1.2 mm/year for spruce. The sensitivity to climate is high in both cases, but spruce exhibits a longer delay in its response to climate. Mountain pine growth is better with high rainfall in July of the previous year (n-1), while high temperatures during July (n-1) and May (n) affect both species, increasing their transpiration.

C. Rolland*
J. Schueller*
Avec la collaboration
de J. Cooper*

Mots-clés :
dendroécologie, *Pinus uncinata*, *Picea abies*,
Alpes françaises,
Vercors

Keywords :
dendroecology, *Pinus uncinata*, *Picea abies*,
French Alps, Vercors

1. Introduction

Dans le massif calcaire du Vercors (Alpes françaises), sur dalle karstifiée appelée lapiaz, on rencontre un biotope spécifique dû à son origine géomorphodynamique. De lents processus de dissolution de la roche conduisent à la formation de dalles creusées de rigoles et de fissures drainant rapidement les précipi-

* Laboratoire de Biologie Alpine, Université Joseph Fourier, BP 53 X - 38041 Grenoble (France).

pitations (Delannoy, 1982 et 1991). En outre, les lithosols superficiels issus de la pédogenèse limitent également la croissance de la végétation (Bottner, 1971) et ne permettent qu'à des arbres suffisamment résistants de se maintenir. C'est le cas du pin à crochets (*Pinus uncinata* Ramond) ou de l'épicéa (*Picea abies* Karst.).

En effet, le pin à crochets préfère habituellement l'étage subalpin (entre 1 600 et 2 200 m) (Faure, 1968), ne s'installant plus bas que lorsque les conditions édaphiques sont trop défavorables à ses concurrents (sapin, hêtre, pin sylvestre).

Le but de cette étude est de comparer quantitativement ces deux espèces dans un biotope original et limitant. A cet effet, on utilise une méthode quantitative et précise, la dendroécologie (Fritts, 1976), (Schweingruber, 1988), (Serre-Bacchet, Teissier, 1989). On étudiera successivement la croissance en hauteur et la croissance radiale, puis le comportement vis-à-vis du climat de ces deux espèces.

Le pin à crochets a déjà été étudié dendroécologiquement dans les Alpes externes, sur silice (Edouard, Teissier, Thomas, 1991), ou en Espagne (Genova, 1986), (Gutierrez, 1991), mais peu de travaux ont été consacrés à sa croissance sur calcaire dans les Préalpes.

2. Sites et méthodes

2.1. Le site

Le site échantillonné se situe dans la forêt du « Clot de la Balme » près de Corrençon en Vercors (Isère, France). (Longitude = 50.015 gr, Latitude = 3.555 gr) (Fig. 1).

Il comporte les trois placettes dont les caractéristiques topographiques sont les suivantes :

Placette n°	Altitude	Exposition	Pente
1	1350 m	NO (310°)	17° (30 %)
2	1400 m	NO (320°)	20° (36 %)
3	1300 m	NO (290°)	25° (46 %)

Dans cette station, la roche nue affleure sur la moitié de la surface, recouverte localement par un lithosol squelettique à



Figure 1
Localisation du site étudié
(le Clot de la Balme) à
Corrençon (Massif du
Vercors, France)

humus brut très acide (Gilot, 1967). Il se caractérise par une série de végétation à *Vaccinium myrtillus* (Gobert, Ozenda, Thiebault, Tonnel, 1963), (Faure, 1968). On y trouve notamment *Juniperus nana*, *Sorbus aria*, *Globularia nudicaulis*, *G. cordifolia*, *Lonicera alpigena*, *L. xylosteum*, *Vaccinium myrtillus*, *Valeriana montana*, *Carex digitata*, *Alchemilla alpina*.

2.2. L'échantillonnage

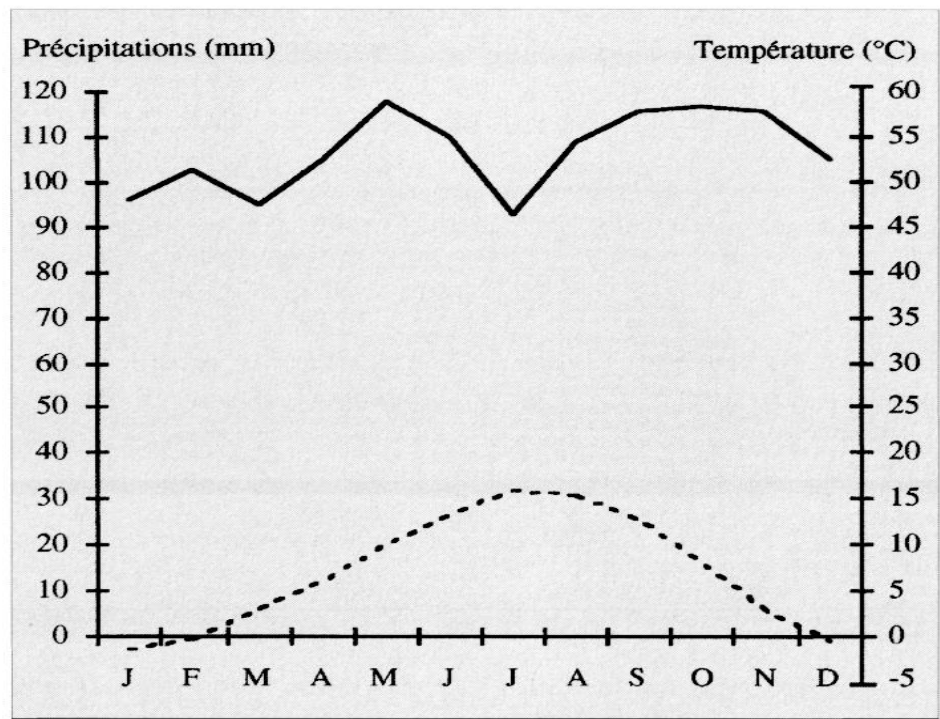
Dans chacune de ces 3 placettes on étudie 5 arbres dominants et co-dominants de chaque espèce (pin et épicéa), soit 30 arbres au total.

Pour chaque arbre, on mesure la hauteur totale (au moyen d'un dendromètre Blume-Leiss) ainsi que la circonférence sur écorce à 1.30 m du sol, et on prélève radialement à la même hauteur une carotte à la tarière de Presler. Après surfaçage des carottes, les largeurs des cernes sont mesurées à l'aide d'une chaîne de mesure informatisée (Rolland, 1993).

2.3. Le climat

Les données météorologiques proviennent de la station de Villard-de-Lans (1040 m), située à 6 km au Nord du Clot de la Balme. Les valeurs moyennes mensuelles ont été calculées sur la période 1920-1990 (C.M.D.I, 1920-1990) (Fig. 2).

Figure 2
Diagramme ombrothermique de Villard-de-Lans (1040 m d'altitude) d'après les précipitations et les températures mensuelles moyennes calculées sur la période 1920-1990



Ce climat à tendance océanique avec une bonne répartition des pluies (Faure, 1968) est modulé par un léger creux estival en Juillet, et un maximum en automne (Septembre, Octobre, Novembre). Les précipitations atteignent 1284 (\pm 229) mm/an, avec une fraction importante sous forme de neige (2.17 m par an). Ainsi, l'angle de continentalité hydrique de GAMS est élevé, comme dans le reste des Alpes externes humides : θ vaut 51°.

$$\theta = \text{Artg}[\text{Pluie}(\text{mm}/\text{an}) / \text{Altitude}(\text{m})]$$

Quant aux températures, la moyenne annuelle de Villard est de 7.1°C. On relève 142 jours de gel par an, dont 42 sans dégel (Faure, 1968).

2.4. Chronologies moyennes

Les séries individuelles de cernes mesurés sont interdatées par confrontation visuelle des courbes des largeurs sur un écran d'ordinateur.

Pour chaque carotte, les largeurs brutes des cernes sont transformées en indices exprimés en pourcentage, en filtrant les mesures par des moyennes mobiles à 7 coefficients (avec les 3 cernes précédents et les 3 suivants) (Rolland, 1993). Pour une même essence, les 3 chronologies moyennes correspondant aux 3 stations sont suffisamment homogènes pour justifier la calcul d'une seule chronologie par espèce. On regroupe donc tous les cernes formés durant une même année, avec davantage d'arbres.

2.5. Caractérisation de la croissance radiale

Dans toute la suite, l'âge est compté à 1.30 m du sol, hauteur des prélèvements. (Ce n'est pas l'âge réel). La dynamique de croissance peut être analysée de manière originale par le calcul de trois paramètres :

— L'accroissement courant en fonction de l'âge est la moyenne de toutes les largeurs des cernes formés à un même âge. Ainsi, on élimine l'influence climatique puisque les cernes utilisés se sont formés durant des années climatiquement distinctes (Becker, 1987).

— L'évolution du rayon en fonction de l'âge s'en déduit en additionnant les cernes moyens jusqu'à un âge donné. On élimine ainsi la variabilité entre arbres (Rolland, 1993).

— Enfin, le taux d'accroissement est simplement calculé en divisant le rayon par l'âge.

On utilise au total 30 carottes et 3605 largeurs de cernes, comportant 1355 cernes de pin à crochets et 2250 cernes d'épicéa.

2.6. Caractérisation de l'impact du climat

La réaction des arbres au climat se traduit par un certain degré de sensibilité (sensibilité moyenne SM et coefficients d'autocorrélation R_k) ainsi que par une réaction aux facteurs climatiques saisonniers (fonctions de réponse) (Richter, Eckstein, 1990).

a) La largeur d'un cerne dépend du climat durant l'année de sa formation. On caractérise cette dépendance par le calcul de la *sensibilité moyenne* (SM) qui représente pour un arbre donné la moyenne des écarts relatifs entre cernes consécutifs. Ce para-

C_i = Cerne numéro i
(avec n cernes)
(Douglass, 1936)

mètre reflète l'impact des fluctuations climatiques interannuelles sur les largeurs de cernes.

$$SM = 2 / (n - 1) \cdot \sum_{i=1}^{n-1} |C_{i+1} - C_i| (C_{i+1} + C_i)$$

b) La formation d'un cerne dépend également de ce qui s'est passé durant les années précédentes, l'arbre présentant une inertie dans sa réponse. On caractérise ce phénomène par les coefficients d'autocorrélation d'ordre k (R_k). Ce sont les coefficients de corrélation linéaire entre une série de largeurs de cernes et la même série, décalée de k années. On calcule ensuite la moyenne $\langle R_k \rangle^2$ pour toutes les carottes d'une même essence.

c) De façon plus détaillée, l'impact du climat durant les années d'initiation et de formation des cernes est analysé grâce au calcul des fonctions de corrélation entre cernes et climat (Blasing, Salomon, Duvick, 1984). On utilise les données mensuelles de quatre paramètres climatiques : les précipitations et les températures moyenne, minimale et maximale sur la période 1920-1990.

Pour un paramètre climatique et une essence donnée, la fonction de corrélation avec le climat est constituée de la série de coefficients de corrélation linéaire entre les indices de croissance et les données climatiques mensuelles. On utilise pour cela l'année précédente complète ainsi que les 9 premiers mois durant l'année de formation du cerne (soit $12 + 9 = 21$ mois) (Fritts, 1976).

Seuls les coefficients de corrélation significatifs au seuil de probabilité de 0.9 sont interprétés ici (soit $|R| > 0.153$).

3. Résultats et discussion

Quatre aspects seront envisagés successivement : la croissance en hauteur, la croissance en diamètre, l'analyse détaillée des largeurs de cernes et l'influence du climat sur ces cernes.

3.1. Croissance en hauteur (Fig. 3)

Les plus grands arbres dominants mesurent respectivement 14.2 m et 13.8 m, pour le pin et l'épicéa. Ces deux essences atteignent en moyenne seulement 9.5 m environ, ce qui caracté-

rise bien la médiocre croissance stationnelle des arbres sur la-piaz, en particulier de l'épicéa. En outre, l'évolution de la croissance en hauteur en fonction de l'âge montre clairement que la croissance du pin à crochets est nettement plus rapide que celle de l'épicéa.

Entre 50 et 200 ans, la croissance présente un rythme constant, ce qui permet d'estimer par une régression linéaire qu'à 100 ans le pin et l'épicéa mesurent respectivement 9.6 m et 8.2 mètres. A 150 ans, les pins atteignent en moyenne 11.9 mètres de haut, contre seulement 9.5 m pour les épicéas*.

L'écart entre les pentes de ces droites de croissance en hauteur est considérable, puisqu'il vaut 44.3 %.

3.2. Croissance en diamètre

Les mesures de diamètres (Fig. 4) confirment ce résultat. En effet, à 150 ans les pins mesurent 30 cm de diamètre, contre 21 cm seulement pour l'épicéa.

Malgré cette différence importante de vitesse de croissance, le port des arbres est assez similaire dans les deux cas, la relation Hauteur/Diamètre étant sensiblement la même.

Ainsi, en considérant la moyenne de l'échantillonnage, le pin à crochets met 93 ans pour atteindre 9.3 m de haut et 22.5 cm de diamètre, alors que l'épicéa met 156 ans (soit 63 ans de plus) pour atteindre pratiquement les mêmes valeurs (9.6 m de haut et 21.3 cm de diamètre). Cette observation peut être précisée par l'étude détaillée de la dynamique de croissance radiale.

3.3. Analyse des largeurs de cernes

a) La courbe de répartition des largeurs de cernes (Fig. 5) fait clairement apparaître une croissance plus réduite et plus uniforme chez l'épicéa.

Le tableau suivant récapitule les principales caractéristiques d'échantillonnage des deux essences. (Les mesures de cernes sont exprimées en 10^{-2} mm, et le coefficient de variation en pourcentage représente l'écart type divisé par la moyenne).

Ces valeurs font apparaître une nette dissymétrie dans la répartition des largeurs des cernes, la valeur dépassant nettement la médiane.

* Ce calcul des hauteurs à un âge constant permet de s'affranchir de l'effet d'hétérogénéité des âges selon les essences.

Figure 3
Hauteurs (en m) des arbres étudiés sur lapiaz : Pins à crochets (en noir) et épicéas (en blanc)

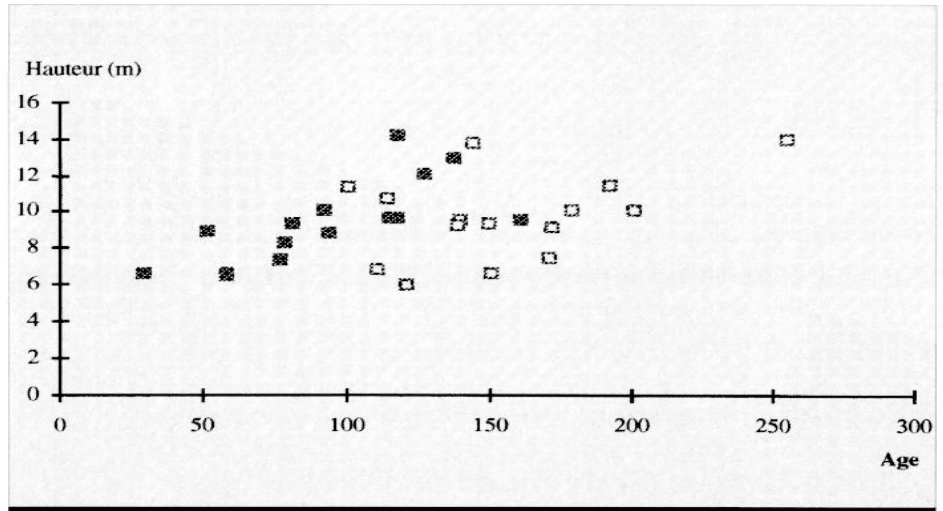


Figure 4
Diamètres (en cm) des arbres étudiés sur lapiaz : Pins à crochets (en noir) et épicéas (en blanc)

Pin à crochets 
Epicéa 

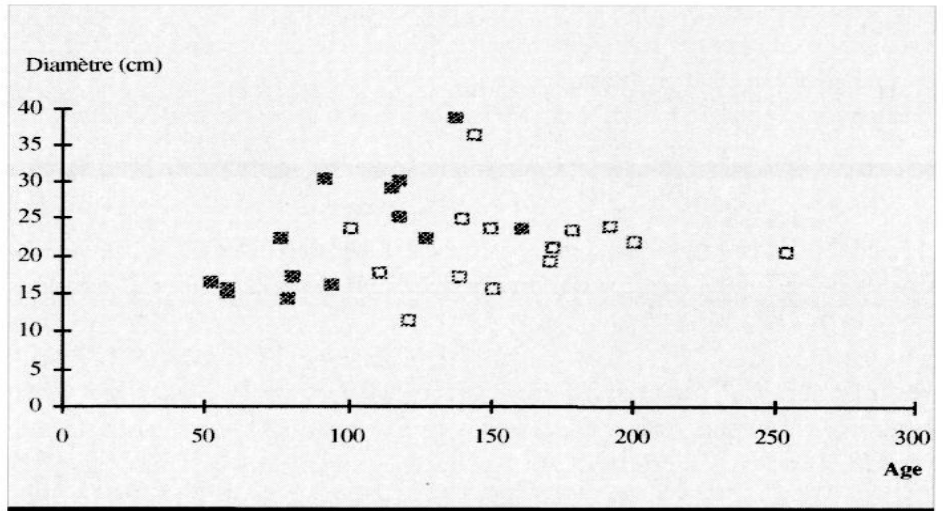
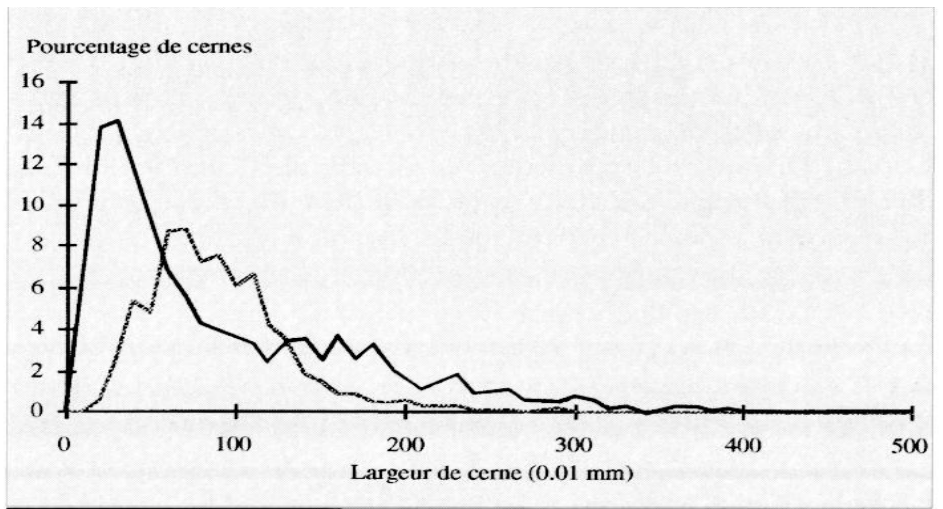


Figure 5
Histogramme de répartition des largeurs de cernes mesurés ($\times 10^{-2}$ mm) de pin à crochets (trait plein) et d'épicéa (pointillé)

Pin à crochets 
Epicéa 



Espèce	Pin à crochets	Epicéa
Mode	70	30
Médiane	96	42
Moyenne	122	64
Ecart type	22	13
Coeff variation	18 %	20 %

b) La courbe des largeurs moyennes de cernes en fonction de l'âge (Fig. 6) fait ressortir une décroissance rapide dès les 50 premières années. De plus, si le maximum de croissance est obtenu presque simultanément pour les deux espèces (vers 10 ans), celui-ci est plus élevé pour le pin à crochets que pour l'épicéa (2 mm au lieu de 1.3 mm). L'écart entre les deux s'amenuise avec l'âge, mais reste important tout au long de la croissance. De façon simplifiée, tout se passe comme si le pin à crochets poussait comme un épicéa qui aurait environ 50 ans de moins.

c) Il en découle que la croissance diamétrale en fonction de l'âge (Fig. 7) présente l'allure d'un arc de parabole dont la courbe s'infléchit plus rapidement pour l'épicéa. A 150 ans, le pin à crochets mesure 10 cm de diamètre de plus que l'épicéa (28 cm au lieu de 18 cm). Une loi de croissance parabolique fournit une excellente modélisation de la croissance en diamètre jusqu'à 200 ans :

Essence	A	B	C	D
Epicéa	0.6990	0.1981	-5.307×10^{-4}	0.998
Pin à crochets	1.1645	0.2857	-7.112×10^{-4}	0.999

$$\text{Diamètre(cm)} = A + B \cdot \text{âge(années)} + C \cdot \text{âge}^2$$

On remarque que le coefficient B qui traduit le démarrage de la croissance est 30 % plus élevé dans le cas du pin à crochets.

d) Enfin, l'accroissement radial moyen maximum atteint par l'épicéa (1.2 mm/an) est nettement inférieur à celui du pin à crochets (2.0 mm/an) (Fig. 8).

Si le pin à crochets vit bien sur des lapiaz, l'épicéa semble plutôt y survivre.

3.4. Influence du climat

L'influence du climat sur les arbres sera envisagée d'après leur sensibilité au climat, la similitude entre les chronologies des cernes, et d'après leur réponse au climat.

Figure 6
Largeurs moyennes des
cernes (en 10^{-2} mm) en
fonction de l'âge des
arbres (en années). Pin à
crochets (trait plein) et
épicéa (pointillé)

Pin à crochets 
Epicéa 

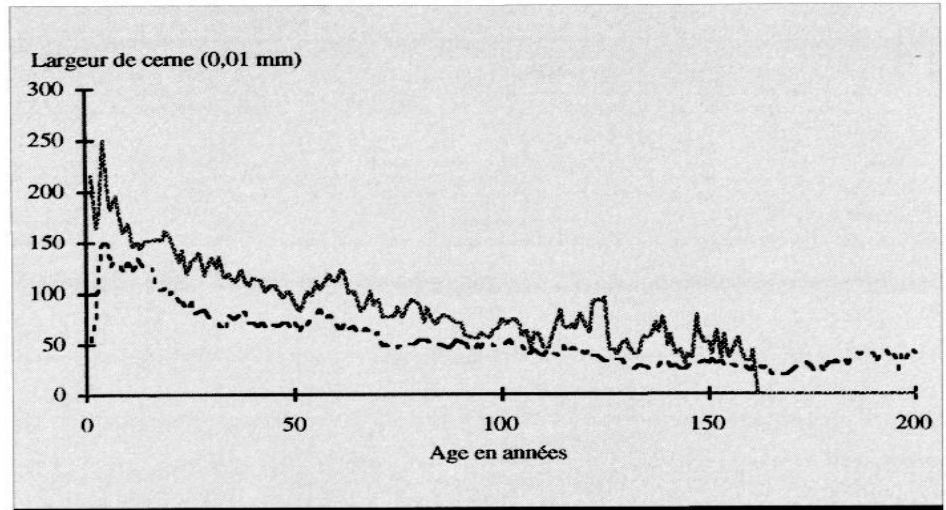


Figure 7
Diamètres des arbres (en
cm) (déduits des largeurs
de cernes) en fonction de
l'âge des arbres. Pin à
crochets (trait plein) et
épicéa (pointillé)

Pin à crochets 
Epicéa 

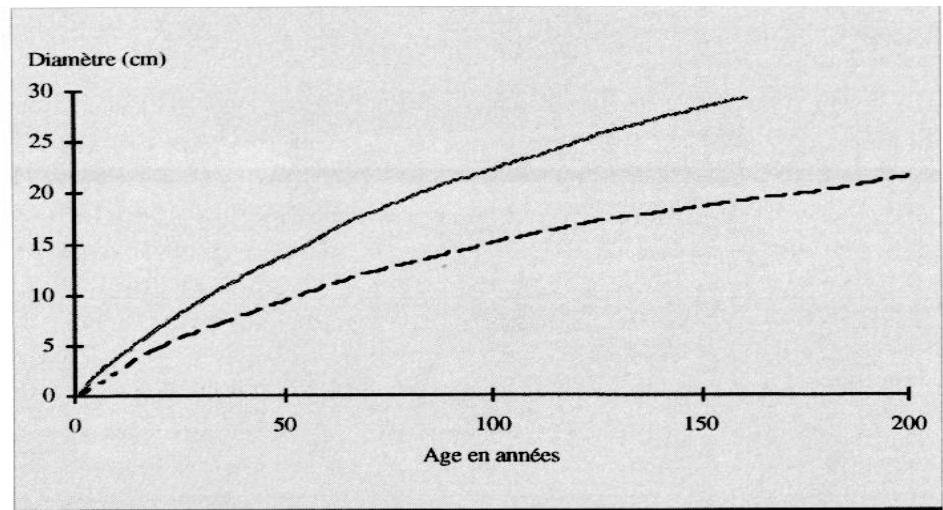
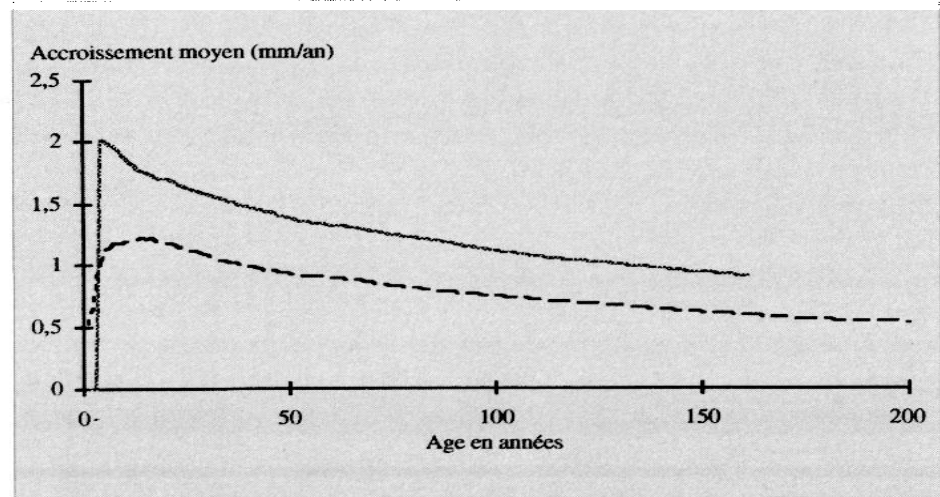


Figure 8
Accroissement moyen
(en mm/an) en fonction
de l'âge des arbres. Pin à
crochets (trait plein) et
épicéa (pointillé)

Pin à crochets 
Epicéa 



a) Sensibilité au climat

Bien que les sensibilités moyennes fassent ressortir peu de différences entre les essences, le pin à crochets présente cependant une valeur maximale de sensibilité moyenne plus élevée que l'épicéa, ce qui témoigne d'une capacité de réponse plus marquée au climat.

De plus, les sensibilités moyennes du pin à crochets sur lapiaz dépassent nettement celles obtenues dans le massif granitique de Belledone (Cirque Achard, entre 1850 et 2050 mètres) pour la même essence, comprises entre 0.13 et 0.23 (Edouard, Tessier, Thomas, 1991).

Sensibilité moyenne	Min	Max	Moyenne
Epicéa	0.198	0.288	0.238
Pin à crochets	0.199	0.325	0.240

Si l'épicéa et le pin à crochets diffèrent peu par leur sensibilité moyenne, les coefficients d'autocorrélation (R_k) sont en revanche nettement plus faibles dans le cas du pin à crochets, et décroissent rapidement. Ainsi, avec 1 an de décalage on obtient $\langle R_1 \rangle^2 = 0.479$ pour le pin, contre $\langle R_1 \rangle^2 = 0.623$ pour l'épicéa. Le pin présente donc un comportement plus « opportuniste », réagissant rapidement aux fluctuations climatiques, tandis que l'épicéa présente une inertie plus élevée et à plus long terme, ce qui explique le peu de variations inter-annuelles dans ses séries de cernes.

b) Similitudes entre chronologies

Pour caractériser quantitativement les ressemblances intraspécifiques (3 placettes d'une même essence) et les différences interspécifiques (entre pin et épicéa), les 6 chronologies brutes sont comparées 2 à 2. On calcule les coefficients de corrélation linéaire (R , ici multipliés par 1000, au dessus de la diagonale), ainsi que les pourcentages de sens de variations similaires (G), pour la période 1920-1990 (en dessous de la diagonale).

Les coefficients de corrélation significatifs au seuil 0.99 sont figurés en caractères gras dans ce tableau. Ils montrent que les chronologies des 3 placettes de pins sont très bien corrélées entre elles (R variant de 0.288 à 0.475), et présentent également des coefficients de sens de variations communs élevés (52.8 % à 69.4 %), contrairement aux chronologies d'épicéa.

R	Pins à crochets			Épicéas			15 arbres	
G	Pin 1	Pin 2	Pin 3	Epi 1	Epi 2	Epi 3	Pins	Épicéa
Pin 1	-	+ 406	+ 288	+ 232	- 195	- 066	+ 805	+ 076
Pin 2	52.8	-	+ 475	+ 301	+ 128	+ 002	+ 774	+ 283
Pin 3	61.1	69.4	-	+ 175	+ 021	- 052	+ 712	+ 128
Epi 1	54.2	48.6	48.6	-	+ 127	+ 143	+ 308	+ 805
Epi 2	37.5	10.3	43.1	47.2	-	+ 123	- 054	+ 612
Epi 3	45.8	48.6	43.1	52.8	55.6	-	- 055	+ 447
Pins	76.4	70.8	76.4	50.0	38.9	47.2	-	+ 196
Épicéa	45.8	48.6	48.6	77.8	66.7	66.7	44.4	-

De plus, les chronologies des deux essences pour l'ensemble des sites diffèrent notablement ($R = 0.196$ et $G = 44.4\%$), ce qui témoigne d'une influence climatique bien différente sur la formation des cernes de pin et d'épicéa.

c) Réponse au climat (Fig. 9)

La difficulté de déterminer la capacité de rétention en eau du sol sur lapiaz et d'évaluer l'évaporation in situ rendent problématique le calcul d'un bilan hydrique, malgré l'importance de ce paramètre sur l'écophysologie des arbres (Hellkvist, 1973 ; Katerji, 1982 ; Badot P.M. et al., 1990 ; Rolland, 1993)...

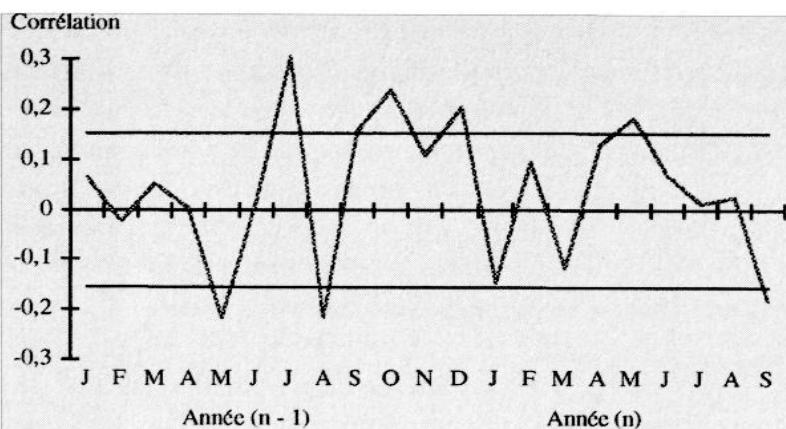
Cependant, l'influence du climat sur l'écophysologie des arbres peut être estimée par le calcul des fonctions de corrélation entre cernes et climat (précipitations et température). Tout d'abord, les résultats montrent que :

— Les précipitations jouent un rôle prépondérant par rapport aux températures. En effet, malgré la pluviométrie abondante du site (1284 mm/an) la capacité de rétention en eau édaphique est faible, étant donné le drainage rapide des lapiaz et la faible épaisseur du sol (le coefficient d'infiltration atteint ici 73 % à 1600 mètres d'altitude (Delannoy, 1982)).

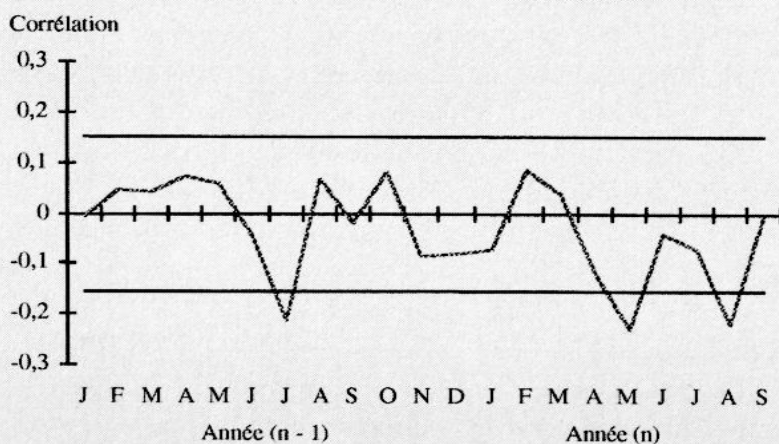
— Le pin à crochets présente au seuil choisi une réponse climatique nettement plus franche que celle de l'épicéa.

Figure 9
Réponse au climat du pin à crochet et de l'épicéa sur lapiaz. Effet des précipitations et de la température

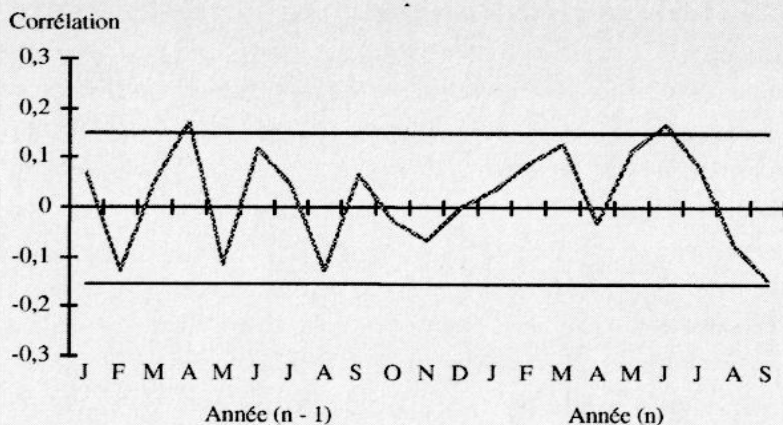
• Réponse du pin à crochets.
Les précipitations de l'année (n-1) qui précède la formation du cerne ont un impact plus important que celles durant l'année (n) de sa formation, comme l'a également obtenu Genova en Espagne, ce qui semblerait imputable à l'initiation cambiale



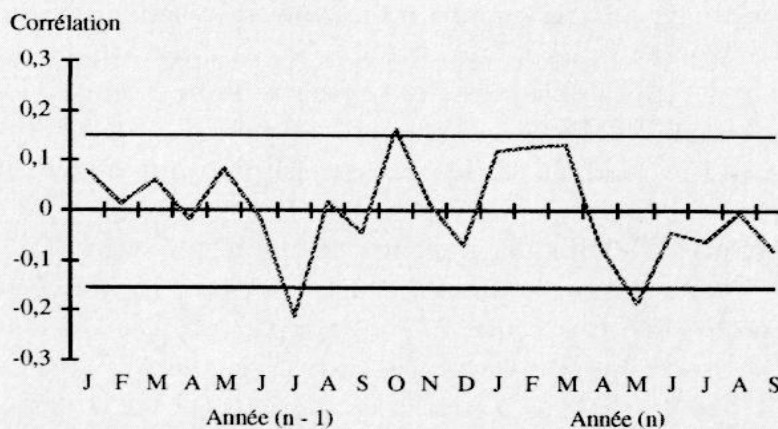
Réponse aux précipitations
Pin à crochets Corrençon



Réponse aux températures
Pin à crochets Corrençon



Réponse aux précipitations
Epicéa



Réponse aux températures
Epicéa

(Genova, 1986). C'est ici particulièrement le cas en Juillet (n-1), durant la pleine période de végétation. On remarque curieusement le même effet bénéfique en Octobre (n-1) et Décembre (n-1) comme l'a également observé Gutierrez dans les Prépyrénées (Gutierrez, 1991). Ce même auteur observe aussi certaines corrélations négatives entre cernes et précipitations durant l'année (n-1). Un printemps pluvieux en Mai (n) est également bénéfique, lors de la reprise de la végétation.

Quant aux températures, il apparaît que de faibles valeurs ne sont jamais préjudiciables de façon significative à la croissance du pin à crochets, d'autant qu'il se trouve ici au-dessous de son étage normal. En revanche, les trop fortes températures estivales en Juillet (n-1) lui sont néfastes car elles conduisent à une forte évapotranspiration, ainsi que celles de Mai (n) et Août (n) l'année suivante. Mieux adapté à l'étage subalpin, le pin à crochets est donc affecté par un bilan hydrique défavorable dans le montagnard.

- Réponse de l'épicéa.

A l'opposé du pin, l'épicéa pousse manifestement mal sur la piaz, résistant moins bien à la sécheresse (Badot & al, 1990), mais croît de façon assez régulière avec une inertie dans sa réponse au climat. Cependant, des précipitations plus fortes que la moyenne en Avril (n-1) et en Juillet (n) peuvent améliorer sa croissance, alors que de fortes chaleurs en Juillet (n-1) et en Mai (n) réduisent ses largeurs de cernes, exactement comme pour le pin à crochets.

4. Conclusions

L'étude comparative de la dynamique de croissance de deux résineux à l'écologie différente sur un biotope très particulier que constitue le lapiaz urgonien apporte des résultats nouveaux en complément d'études déjà réalisées sur ces mêmes essences. La méthode dendroécologique utilisée ici permet à la fois d'étudier la croissance radiale et la réponse climatique de façon quantitative.

Il en ressort qu'à 150 ans, les pins atteignent en moyenne 11.9 mètres de haut, contre seulement 9.5 m pour les épicéas. Contrairement aux apparences, à taille égale (22 cm de diamètre et 9.5 m de haut en moyenne) un épicéa aura 63 ans de plus qu'un pin à crochets. En effet, le démarrage de la crois-

sance radiale est de 30 % plus élevé pour le pin, avec dans les deux cas une loi de croissance en diamètre d'allure parabolique. A âge égal, les cernes d'épicéa sont plus minces, l'accroissement radial moyen ne dépassant pas 1.2 mm/an pour celui-ci contre 2.0 mm/an pour le pin à crochets.

Vis à vis du climat, les deux espèces présentent des sensibilités moyennes assez similaires ($MS = 0.24$). Par contre, les coefficients d'autocorrélation avec un an de décalage font ressortir une plus forte inertie de réponse chez l'épicéa ($\langle R_1 \rangle^2 = 0.623$, contre $\langle R_1 \rangle^2 = 0.479$ pour le pin).

C'est durant l'année précédent la formation du cerne en Juillet (n-1) que les précipitations jouent le rôle le plus bénéfique pour la croissance radiale du pin, tandis que les fortes températures occasionnant une évapotranspiration élevée sont surtout nuisibles en Juillet (n-1) et Mai (n) pour les deux essences. Dans ce type de biotope particulier, chaque espèce adopte une stratégie de croissance qui lui est propre.

Ces résultats seront confrontés ultérieurement avec ceux d'autres études dendroécologiques en cours, portant sur le pin à crochets mais réalisées cette fois dans l'étage subalpin, sur la piaz (à la Combe de l'Ours, à quelques kilomètres de là) ainsi que sur les pâturages boisés de la réserve naturelle des Hauts-Plateaux du Vercors.

**Christian Rolland,
Jeanne Schueller,
Joanne Cooper**

*Manuscrit reçu :
décembre 93*

accepté : novembre 94

Références bibliographiques

- BADOT P.M., PERRIER P., GARREC J.P., BADOT J.M., MERCIER J., 1990. — Implications des récentes sécheresses et de la pollution atmosphérique dans le dépérissement de l'épicéa dans les forêts Jurasiennes. *Annales Scientifiques de l'Université de Franche Comté* (Besançon), Biologie Ecologie, 5^e sér., fasc. 2, pp. 43-49
- BECKER M., 1987. — Bilan de santé actuel et rétrospectif du sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Vosges. Etude écologique et dendrochronologique. *Annales des Sciences Forestières*, 44(4), pp. 379-402.
- BLASING T.J., SALOMON A.M., DUVICK D.N., 1984. — Response functions revisited. *Tree Ring Bulletin*, 44, pp. 1-15.
- BOTTNER P., 1971. — La pédogénèse sur roche-mères calcaires dans une séquence bioclimatique méditerranéo-alpine du Sud de la France. Thèse de Doctorat, Université de Montpellier.
- Commission Météorologique Départementale de l'Isère (CMDI). Bulletins météorologiques annuels de 1920 à 1990.

- DELANNOY J.-J., 1982. — Les variations spatio-temporelles de la corrosion karstique dans un massif de moyenne montagne: Le Vercors. *Revue de Géographie Alpine*, Grenoble. Tome LXX n° 3, pp. 241-255.
- DELANNOY J.-J., 1991. — Vercors. Histoire du relief. Carte géomorphologique commentée. Ed. Parc Naturel Régional du Vercors. 77 p. + Carte couleur.
- DOUGLASS A.E., 1936. — Climatic cycles and tree growth. Vol. III A study of cycles. *Carnegie Inst. Wash. Publ.*, 289 p.
- EDOUARD J.-L., TESSIER L., THOMAS A., 1991. — Limite supérieure de la forêt au cours de l'Holocène dans les Alpes Françaises. *Dendrochronologia*, 9, pp. 125-142.
- FAURE C., 1968. — Feuille de Vif (XXXII - 35). *Documents pour la carte de la végétation des Alpes*. Université de Grenoble, Faculté des Sciences, 6, pp. 7-69.
- FRITTS H.C., 1976. — Tree-ring and Climate. Ed. Academic Press, London, 567.
- GENOVA R., 1986. — Dendroclimatology of Mountain Pine (*Pinus uncinata* Ram.) in the Central Plain of Spain. *Tree-ring Bulletin*, 46, pp. 3-12.
- GILOT J.C., 1967. — Note sur le lithosol à mor de la station subalpine de la R.C.P. 40. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 4(3), pp. 357-383.
- GOBERT J., OZENDA P., THIEBAUT M., TONNEL A., 1963. — Feuille de La Chapelle-en-Vercors (XXXII - 36) *Documents pour la carte de la végétation des Alpes*. Université de Grenoble, Faculté des Sciences., 1, pp. 25-46.
- GUTIERREZ E., 1991. — Climate tree-growth relationships for *Pinus uncinata* Ram. in the Spanish pre-Pyrenees. *Acta Oecologica, Oecologia Plantarum*, 12, pp. 213-225.
- HELLKVIST J., 1973. — The water relations of *Pinus sylvestris*. Comparative field studies of water potential and relative water content. *Physiologia Plantarum*, 29, pp. 371-379.
- KATERJI N.B., 1982. — Etude et modélisation des transferts hydriques dans le système Sol-Plante-Atmosphère. Thèse Etat Paris 7, 198 p.
- RICHTER K., ECKSTEIN D., 1990. — A proxy summer rainfall record for Southeast Spain derived from living and historic pine trees. *Dendrochronologia*, 8, pp. 67-82.
- ROLLAND C., 1993. — Fonctionnement hydrique et croissance du sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Alpes françaises. Thèse, Université de Grenoble, 180 p.
- SCHWEINGRUBER F.H., 1988. — Tree-rings : basics and applications of dendrochronology. D. Reidel Publishing Compagny, Dordrecht, Boston, Lacaster, Tokyo, 276 p.
- SERRE-BACHET F., TEISSIER L., 1989. — Response function analysis for ecological study. In Cook E.R., Kairiukstis L.A. (eds.) : *Methods of dendrochronology : Applications in the environmental sciences*, pp. 247-258, Kluwer Academic Publishers.