

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber:	Schweizerischer Forstverein
Band:	145 (1994)
Heft:	9
Artikel:	Influence stationnelle sur la croissance du Pin à crochets (<i>Pinus uncinata</i> Ramond)
Autor:	Schueller, Jeanne / Rolland, Christian
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-766626

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 08.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Influence stationnelle sur la croissance du Pin à crochets (*Pinus uncinata* Ramond)

Par Jeanne Schueller et Christian Rolland

FDK 11: 174.7 Pinus: 56

1. Introduction

Dans les Alpes internes françaises, le Pin à crochets (*Pinus uncinata* Ramond) représente 25 % des forêts dans le Briançonnais (Ackermann, 1989) et 23 % dans le Queyras (Hautes-Alpes, France) (Grados, 1987). Ceci explique l'intérêt porté à l'étude dendroécologique de sa croissance et de sa productivité.

Cette espèce rustique est capable de pousser dans des conditions écologiques variées, sur différents types de sols et selon une grande amplitude altitudinale. Ainsi, on le trouve depuis 250 mètres d'altitude dans les tourbières des Vosges jusqu'à plus de 2300 mètres dans les Pyrénées Occidentales, et entre 1300 et 2300 mètres dans les Alpes internes (Plaisance, 1961).

De nombreux travaux ont porté sur cette essence subalpine, surtout dans les Pyrénées Occidentales, soit Françaises (Probst, Rouane, 1984), (Puig, 1982), (Cantegrel, 1984, 1987), soit Espagnoles (Genova Fernandez, 1987), (Carpenter, Collazo, 1967). Par contre, peu d'études lui ont été consacrées dans les Alpes Françaises (Sandoz, 1983), (Ackermann, 1989), (Edouard, Tessier, Thomas, 1991).

Pour cerner de plus près l'écologie du Pin à crochets dans les Alpes, nous analyserons l'influence de trois facteurs stationnels importants: l'altitude, le sol et l'exposition. Deux objectifs sont recherchés ici:

- 1) Etudier l'influence de ces trois facteurs sur la croissance en hauteur.
- 2) Caractériser en fonction de ces paramètres la dynamique de la croissance radiale.

2. Méthodes et techniques

2.1 Les sites

En Briançonnais et Queyras, 15 peuplements monospécifiques ont été choisis dans l'aire naturelle de répartition du Pin à crochets, sur substrats variés (Figure 1). Leur surface terrière varie de 17 m²/ha à 24.7 m²/ha.

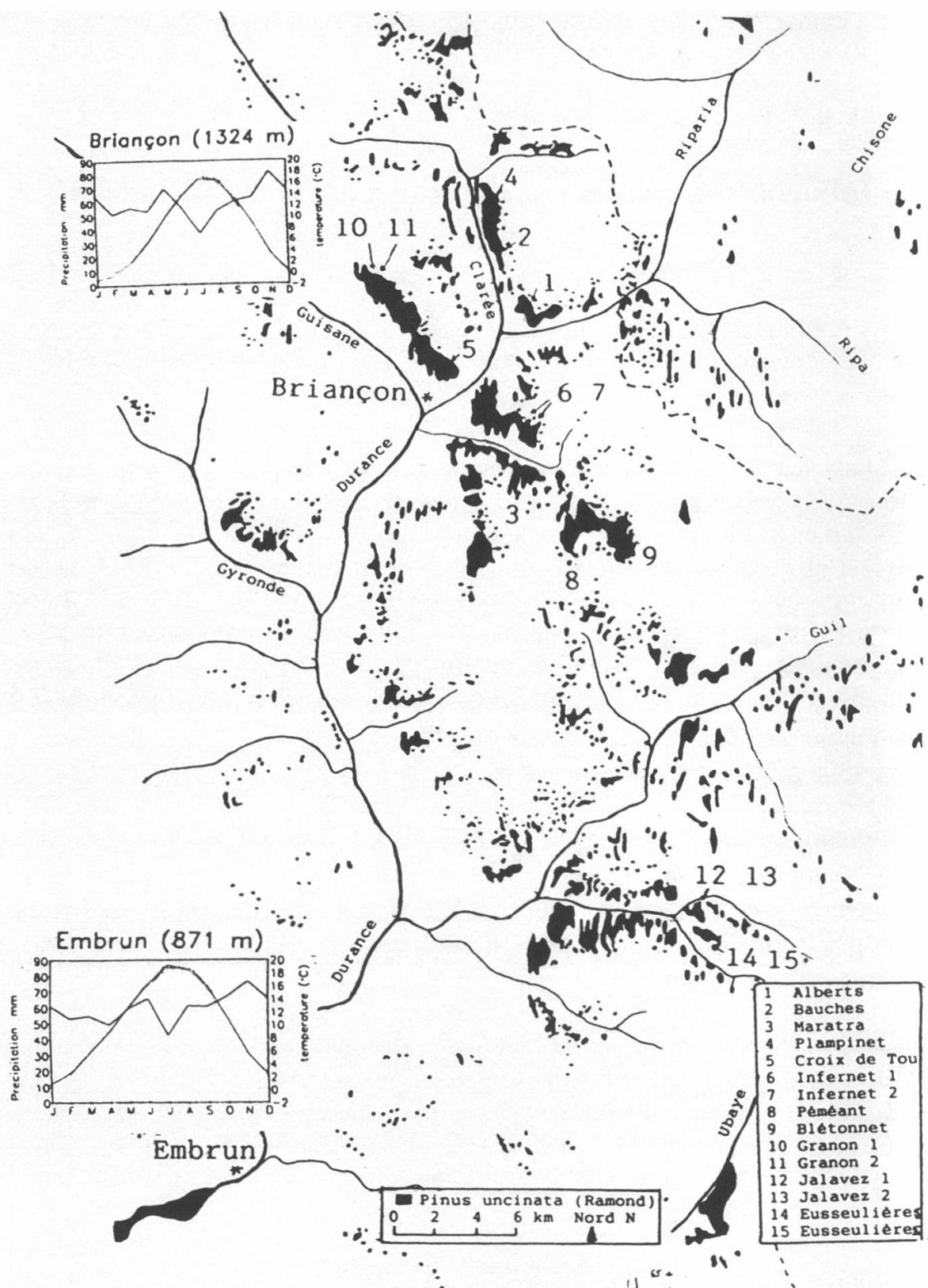


Figure 1. Carte de répartition du Pin à crochets simplifiée d'après les cartes de végétation au 200 000ème de Gap (Gobert, Ozenda, Tonnell, 1964) et Tignes-Larche (Barbero, Cadel, Gensac, Ozenda, Richard, 1991). Localisation des 15 sites échantillonnés.

Le climat régional caractérisé par les données météorologiques de Briançon et Embrun est sec et continental.

(Commission météorologique départementale, 1986).

	Altitude	Pluie	Température	Période
Briançon	1324 m	714 mm/an	7,45 °C/an	1961–1985
Embrun	871 m	715 mm/an	10 °C/an	1948–1985

Ces faibles précipitations sont associées à un ensoleillement intense et à une hygrométrie minimum particulièrement faible en moyenne annuelle:

	Insolation	Hygrométrie	Période
Briançon	2362 h	37 %	1949–1985
Embrun	2551 h	41 %	1949–1985

L'indépendance des précipitations avec l'altitude (*Ozenda*, 1985) et la similitude des diagrammes ombrothermiques des deux stations (*Figure 1*) permet de considérer le climat comme suffisamment homogène dans la région étudiée pour permettre des comparaisons entre sites différents.

Les stations retenues se répartissent comme suit selon les trois facteurs étudiés: l'altitude, l'exposition et le type de roche-mère.

Sols Exposition		Calcaire		Siliceux
	Nord	Sud	Nord	Sud
Montagnard	Alberts Bauches	Maratra Plampinet	(*)	(*)
Subalpin	Croix de Toulouse Infernet 1 Infernet 2	Péméant Blétonnet	Granon 1 Granon 2 Jalavez 1 Jalavez 2	Eusseulière 1 Eusseulière 2

(*) Dans cette région il n'y a pas de Pinèdes à crochets dans l'étage montagnard sur silice.

2.2 L'échantillonnage

Il a été réalisé en collaboration avec F. Ackermann pour des mesures de productivité soit en relation avec des types d'humus (Ackermann, 1989) soit en relation avec les caractéristiques dendroécologiques: c'est l'objet de ce présent travail.

Les caractéristiques détaillées des 15 stations sont rassemblées dans le *tableau 1*. Chaque site comporte 3 placettes de 6 arbres dominants, soit

18 arbres. L'effectif de cet échantillonnage a été dicté par l'homogénéité des peuplements, et par le fait que l'on s'intéresse à des arbres dominants et co-dominants. Pour chaque arbre la hauteur a été mesurée au dendromètre Blume Leiss, la circonférence à 1 m 30 du sol au mètre ruban, et une carotte a été prélevée à la tarière de Pressler du côté amont du tronc, ce qui représente un total de 270 carottes.

2.3 Mesure des largeurs de cernes

Les largeurs de cernes des carottes ont été mesurées à l'aide d'une loupe binoculaire et d'une chaîne de mesure informatisée (Becker, 1987). Au total, ce sont 41 151 cernes qui ont été mesurés, les arbres ayant en moyenne 155 ans. Ces mesures ont été analysées selon les méthodes classiques en dendroécologie (Schweingruber, 1988).

2.4 Méthodes de calcul

Dans le but d'analyser la productivité, nous avons calculé l'accroissement annuel en volume des troncs ($\delta\text{Vol}/\delta t$), exprimé en m^3/an , par la relation (Pardé, Bouchon, 1988):

$$\delta\text{Vol}/\delta t = \delta\text{Vol}/\delta\text{Diam} * \delta\text{Diam}/\delta t (\text{m}^3/\text{an})$$

- Le premier terme ($\delta\text{Diam}/\delta t$) représente la variation du diamètre d'un tronc durant la croissance. On l'obtient en additionnant toutes les largeurs des cernes $C(\text{âge})$ formés entre deux âges (ici 60 et 110 ans), puis en divisant le résultat par la durée (50 ans).
 - Le second terme ($\delta\text{Vol}/\delta\text{Diam}$) est la dérivée de la formule de cubage: Volume (m^3) = $a + b * \text{Diamètre}^2 (\text{cm}) * \text{Hauteur} (\text{m})$.
- En définitive, on obtient:

$$dV/dt = 2 * b * \text{Diamètre} * \text{Hauteur} * 2/50 * \sum_{i=60 \text{ années}}^{110 \text{ années}} C_i (\text{Age})$$

Pour le Pin à crochets du Briançonnais, $a = 0.001856$ et $b = 0.36670$ (O.N.F., in Ackermann, 1989). Pour chaque site, on détermine l'accroissement annuel en volume de chacun des arbres, et la moyenne des hauteurs dominantes.

Le rayon en fonction de l'âge a également été calculé à partir des largeurs de cernes en additionnant ces largeurs depuis le cœur jusqu'à un âge courant:

Tableau 1. Altitude (mètres), pente (degrés), exposition (N = 0°, E = 90°) et types de sols des 15 stations échantillonnées, avec 3 placettes de 6 arbres dans chacune d'entre elles.

No	Site		Altitude	Pente	Exposition	Type de sol						
1	Alberts	ALB	1390	1400	12	15	12	158	113	113	Cône d'alluvions torrentielles calcaires	
2	Bauches	BAU	1500	1500	15	15	11	248	248	248	Cône d'alluvions torrentielles calcaires	
3	Maratra	MAR	1550	1560	20	25	27	23	23	23	Eboulis calcaire stabilisé	
4	Plampinet	PLA	1570	1580	28	15	15	68	68	68	Eboulis fluvioglaciaire calcaire triasique	
5	Croix Toulouse	TOU	2020	2010	30	27	31	248	203	248	Calcaire triasique	
6	Infernet 1	INF1	1980	1985	1990	30	30	203	203	158	Eboulis calcaire triasique	
7	Infernet 2	INF2	1990	1990	1990	25	25	29	203	203	Eboulis calcaire triasique	
8	Péméant	PEM	1950	1990	2000	19	17	16	0	-22	23	Eboulis calcaire triasique
9	Blétonnet	BLE	2000	2000	2020	18	23	18	338	338	338	Eboulis calcaire triasique
10	Granon 1	GRA1	2060	2070	2070	4	21	24	218	248	203	Schistes houillers
11	Granon 2	GRA2	2080	2080	2060	25	18	20	248	203	248	Schistes houillers
12	Jalavez 1	JAL1	1970	1970	1970	20	22	28	180	180	180	Quartzite
13	Jalavez 2	JAL2	1970	1990	2000	25	20	20	180	180	180	Quartzite
14	Eusseulières 1	EUS1	1920	1910	1910	30	35	33	338	338	338	Grès Permien
15	Eusseulières 2	EUS2	1860	1860	1860	29	23	25	338	338	338	Grès Permien

$$\text{Rayon (âge)} = \sum_{t=0}^{t=\text{Age}} C(t)$$

L'accroissement radial moyen s'en déduit en divisant le rayon par l'âge: Rayon(âge) / âge (en mm/an).

Pour chaque station, les résultats représentent la moyenne de 18 arbres.

3. Résultats et discussion

3.1 Validité de l'échantillonnage

A priori, le prélèvement d'une seule carotte en amont du tronc pourrait faire douter de la validité des résultats. Pour le vérifier, on a comparé la longueur des carottes avec le rayon géométrique des troncs, déduit de la circonference. Ce dernier est plus long en moyenne de 11.3 %, mais ceci est essentiellement imputable à l'épaisseur de l'écorce (Pardé, 1961), et ne provient pas d'une éventuelle excentricité des troncs, négligeable à 1 m 30 du sol. Ceci confirme la validité de ce type d'échantillonnage.

3.2 Croissance des Pins à crochets

Comme l'échantillonnage a porté sur des arbres d'âges différents, les mesures de diamètres ou de volumes présentent une certaine variabilité. Cependant, les hauteurs à âges variables permettent quand même des comparaisons entre sites car il s'agit de hauteurs dominantes, et elles sont suffisamment homogènes à l'intérieur d'un même site. (Figure 2). Il apparaît d'emblée d'importants écarts selon les peuplements. La hauteur dominante étant étroitement reliée à la productivité stationnelle, sa mesure permet de comparer des sites où les paramètres sol, altitude et exposition diffèrent.

3.3 Comparaison des hauteurs dominantes dans 15 sites

Habituellement, pour de nombreuses espèces la croissance est plus faible en altitude, du fait d'une saison de végétation plus courte, des stress thermiques plus accentués et des méfaits du gel. Pour le Pin à crochets il s'avère cependant que la croissance est plus forte dans l'étage subalpin que dans le montagnard (Figure 3). Ainsi, on obtient en moyenne des hauteurs de 17.7 m et 13.4 m dans le subalpin (respectivement sur calcaire et silice), contre 12.3 m seulement dans le montagnard calcaire.

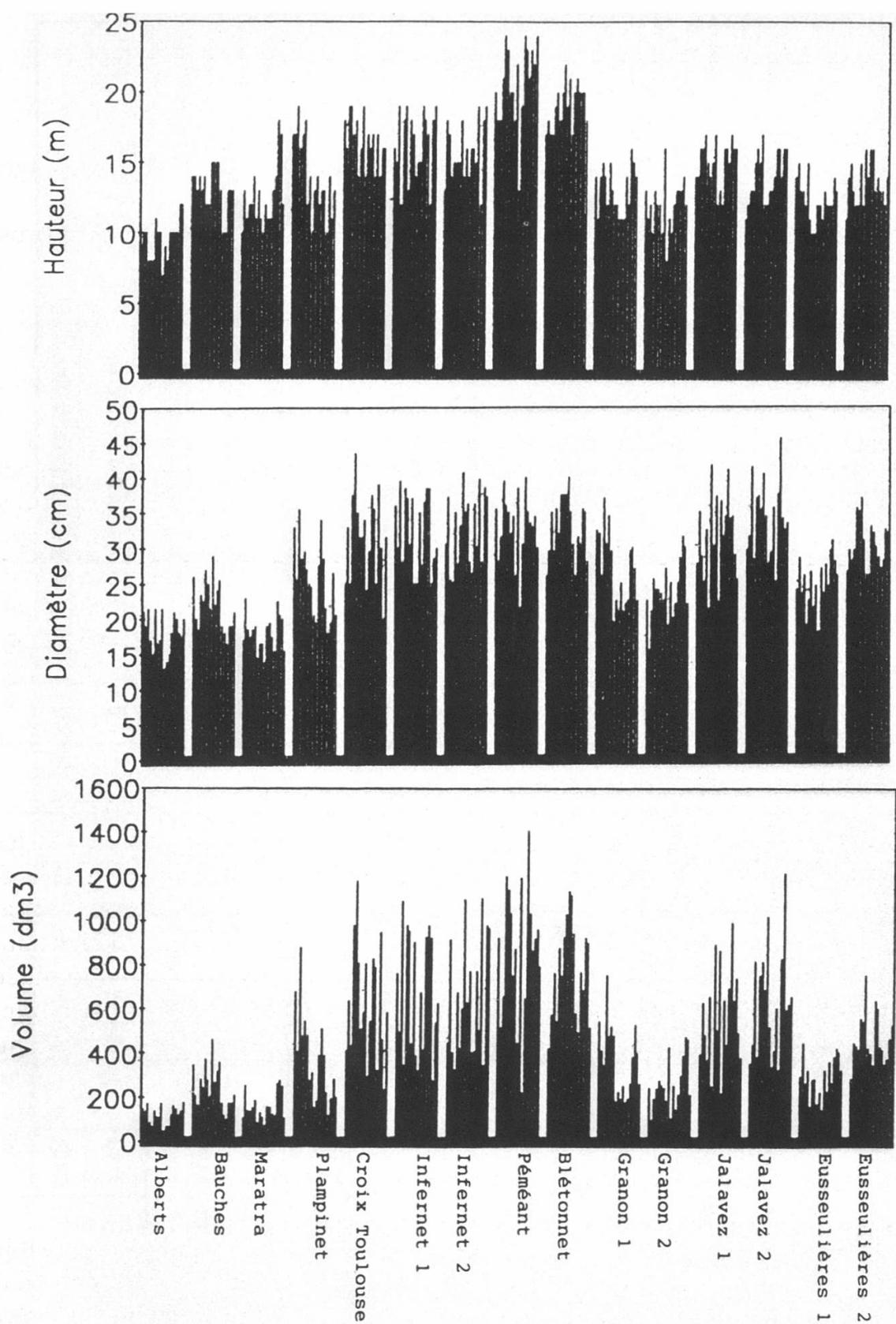


Figure 2. Hauteurs, diamètres et volumes des 270 arbres mesurés.

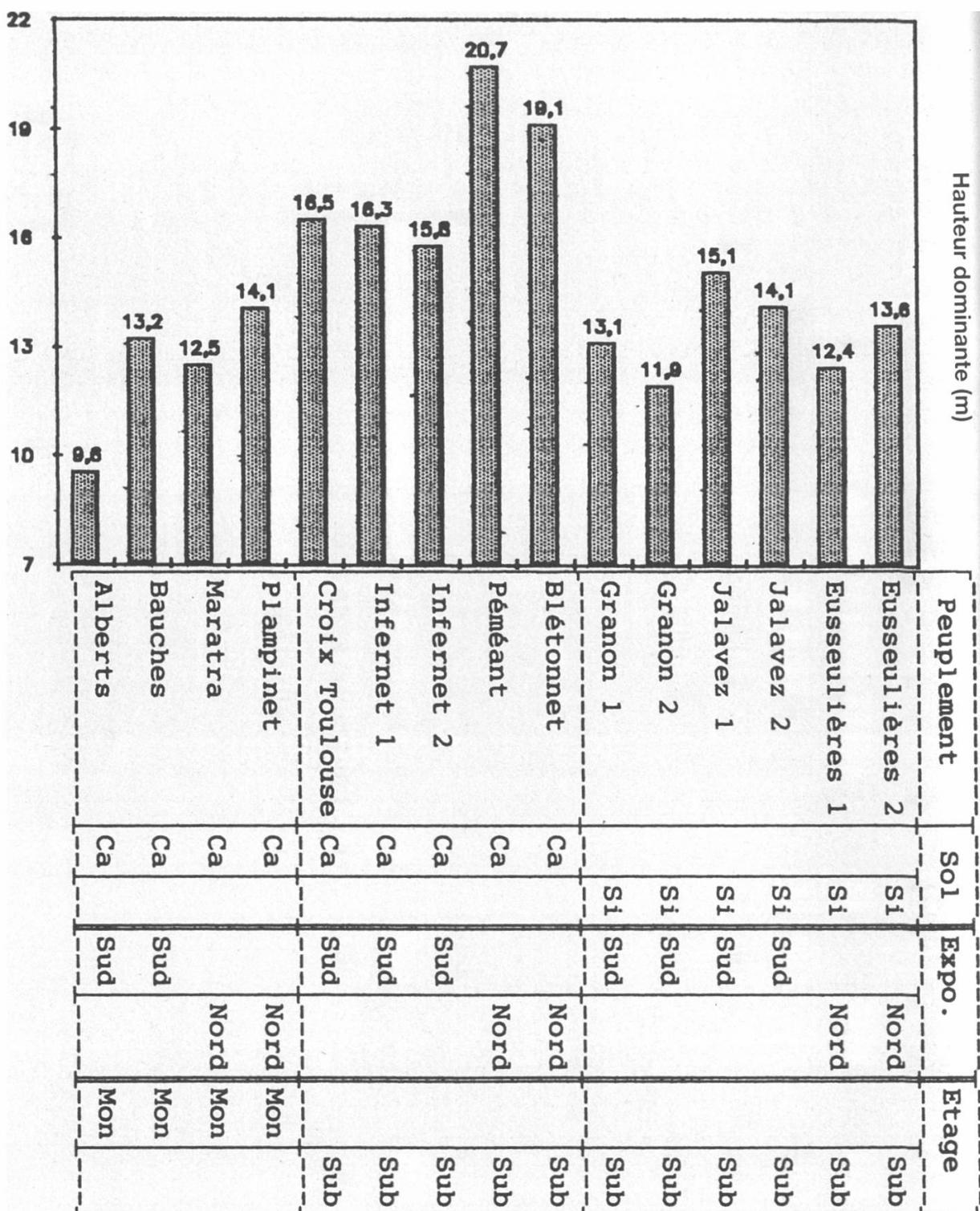


Figure 3. Hauteurs dominantes comparées des 15 stations.

1) Etage montagnard sur calcaire

A Alberts, Bauches, Maratra et Plampinet (entre 1400 et 1570 mètres) les arbres restent relativement petits en dépit de températures plus clémentes. En fait, à de telles altitudes le Pin à crochets est en compétition avec le Pin

sylvestre, qui l'élimine des meilleures stations (Sandoz, 1983). Par conséquent le Pin à crochets se voit relégué sur les sols les plus ingrats tels que les cônes d'alluvions torrentielles calcaires (ALB, BAU), les éboulis (MAR) ou les alluvions torrentielles calcaires très pierreuses (PLA). Très frugal, il s'y comporte en essence pionnière. Une pinède à crochets descendant à seulement 1400 mètres sur sol ingrat telle que celle d'Alberts illustre la grande rusticité de cette essence.

A l'intérieur même de cet étage montagnard, on observe une certaine variabilité des hauteurs dominantes. Celles-ci varient respectivement de 9.5, 13.2, 12.5 et 14.0 mètres dans les quatre sites (ALB, BAU, MAR, PLA). Ceci paraît directement lié à l'épaisseur du sol (mesurée au-dessus de l'horizon pierreux), qui varie de 20, 35, 30 et 50 cm dans le même temps. Entre ces quatre stations, les changements d'altitude et d'exposition ne semblent pas jouer un rôle important. Par contre le sol paraît être le principal facteur limitant, par sa capacité de rétention hydrique plus fortement sollicitée aux basses altitudes.

2) *Etage montagnard sur silice*

Dans cette région, l'absence du Pin à crochets à l'étage montagnard siliceux peut paraître surprenante, étant donné que les sols y sont généralement plus frais que sur calcaire (Cadel, 1980). Mais le Pin à crochets y est éliminé par la concurrence des autres essences.

3) *Etage subalpin sur calcaire*

C'est là que le Pin à crochets trouve son *optimum de croissance en hauteur*. De plus, une exposition en ubac accentue le phénomène. C'est à Blétonnet et Péméant que les plus fortes valeurs sont atteintes (19.1 et 20.7 m). Au contraire, il pousse un peu moins haut en adret à l'Infernet ou à la Croix de Toulouse, sans doute à cause d'une évapotranspiration trop forte, défavorable dans une région à faible pluviométrie.

4) *Etage subalpin sur silice*

Dans le subalpin, la croissance est plus faible sur silice que sur calcaire, mais l'exposition n'y joue pas de rôle notable. Par contre la texture du sol semble importante. La croissance est la plus faible au Granon sur schistes houillers, un peu meilleure à Eusseulières sur grès Permien, les meilleurs résultats s'observant à Jalavez sur quartzites.

3.3 Hauteur dominante et accroissement en volume

Les stations apparaissant suffisamment contrastées, nous avons testé ici la validité de la loi de Eichhorn: «La seule connaissance de la hauteur moyenne d'un peuplement normalement dense, l'âge étant *quelconque et inconnu* peut permettre de préciser sa production ligneuse globale» (Pardé, 1961). A partir de 15 valeurs moyennes (une par site), on obtient une bonne régression linéaire entre hauteur dominante et accroissement volumique annuel (*Figure 4*):

$$\delta V_o / \delta t \text{ (dm}^3/\text{an}) = -3.68 + 0.536 * \text{Hauteur (m)} \quad R = 0.848 \quad N = 15$$

Ceci confirme pleinement la remarque de Pardé, surtout valable pour des peuplements monospécifiques: «Une liaison étroite existe entre la hauteur moyenne atteinte par un peuplement lorsqu'il est mûr (on sait alors que les hauteurs "plafonnent") et son accroissement moyen annuel.»

3.4 Relation entre hauteur et diamètre

En traçant le graphique représentant la hauteur de chaque arbre en fonction de son diamètre (*Figure 5*), on peut clairement distinguer trois groupes

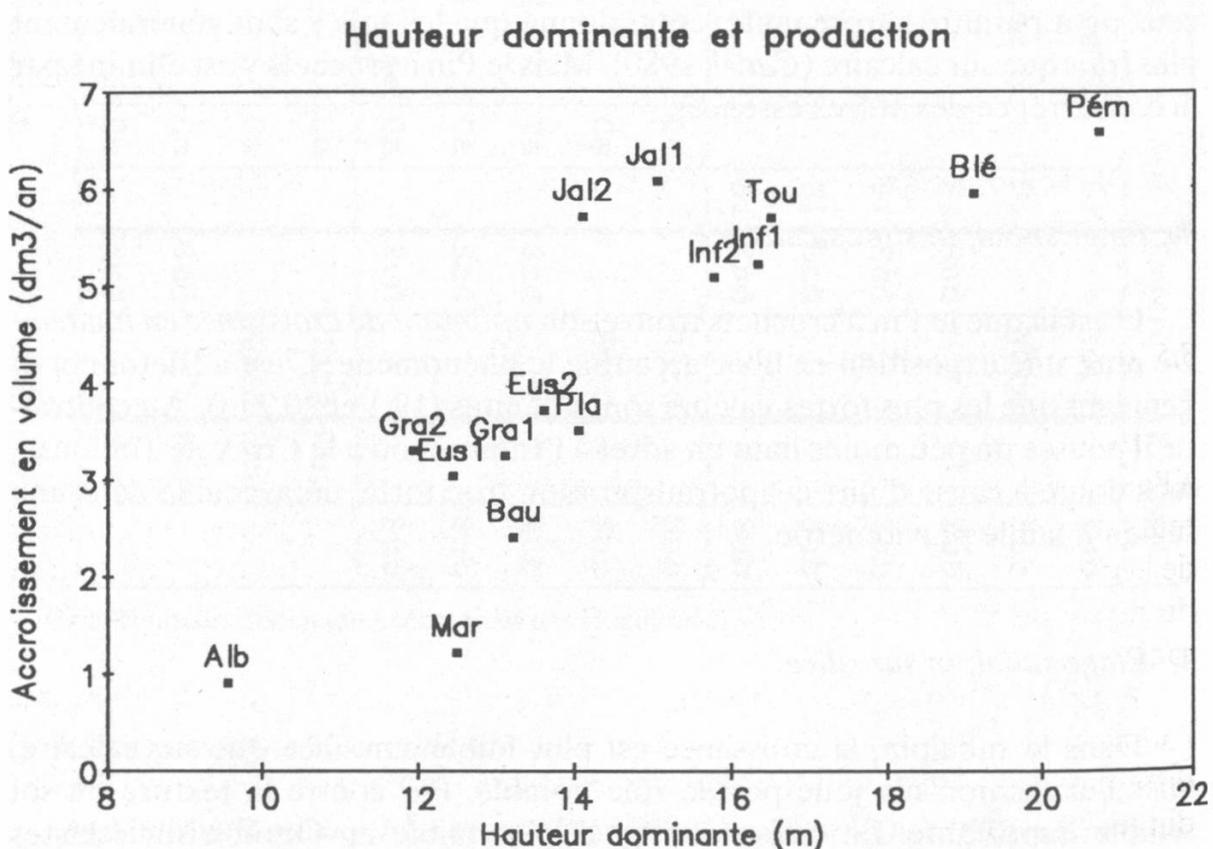


Figure 4. Corrélation linéaire entre l'accroissement annuel volumique et la hauteur dominante des peuplements.

de points, correspondant à 3 types d'arbres. Les Pins sur calcaire à basse altitude sont petits et minces. Au contraire, ceux du subalpin calcaire sont gros et élancés, les Pin à crochets sur silice présentant un cas intermédiaire.

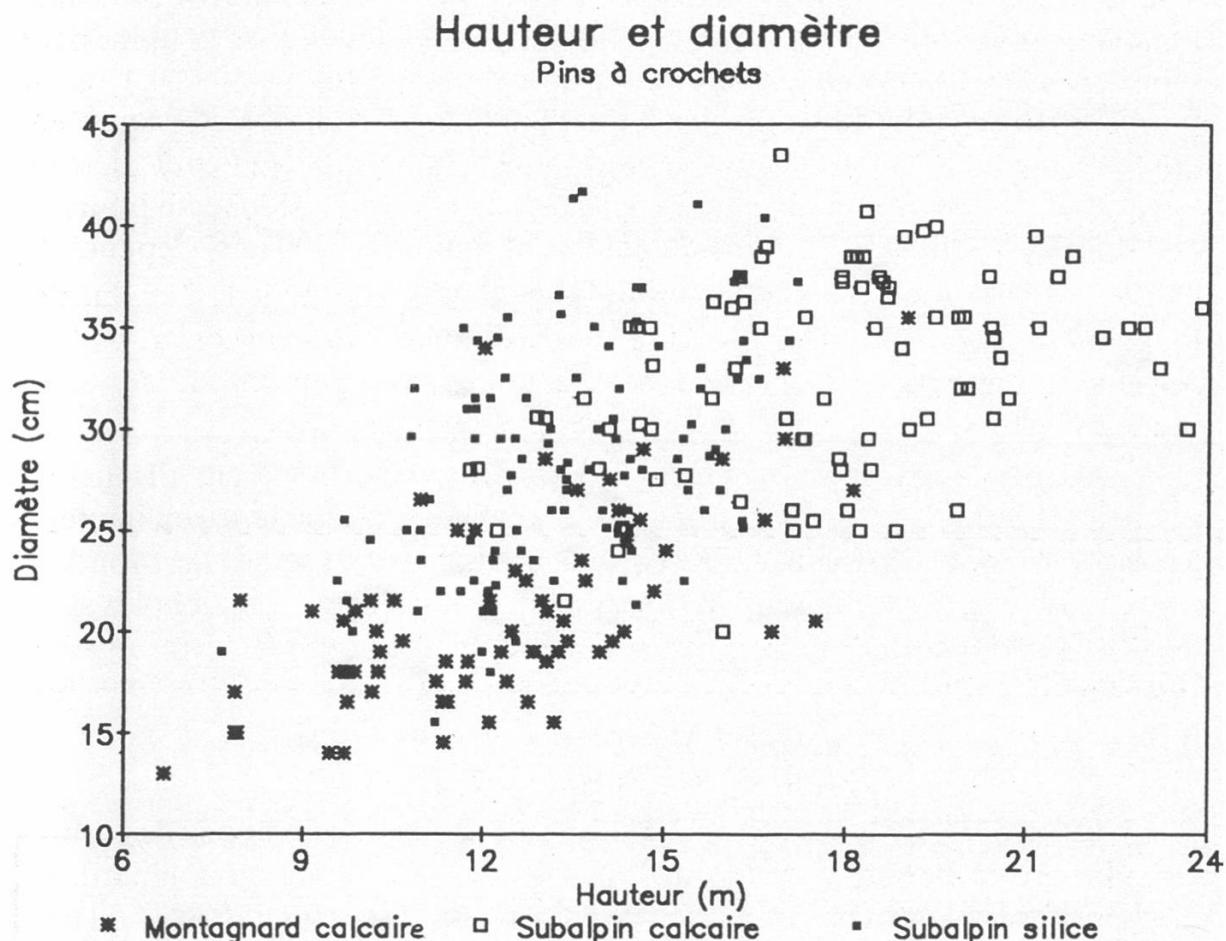


Figure 5. Relation entre hauteur et diamètre de tous les arbres répartis en trois groupes.

3.5 Croissance radiale en fonction de l'âge

Etant donné qu'il y a des différences de densités de peuplement d'un site à l'autre, les accroissements radiaux ne permettent pas aussi bien que les hauteurs dominantes d'analyser la production des stations, car ils dépendent trop de la concurrence et de l'histoire sylvicole. En revanche, l'étude de l'évolution du rayon en fonction de l'âge permet une analyse de la dynamique de croissance.

Pour un arbre donné, ce rayon du tronc en fonction de l'âge s'obtient par l'addition des largeurs de cernes. Etant donné que les arbres ont tous des âges différents, les cernes de différents arbres formés à un même âge se sont formés durant des années distinctes. Par conséquent, les influences climatiques sont éliminées lorsque l'on calcule la moyenne des 18 courbes de croissance individuelles. De plus, les arbres d'un peuplement ont été choisis dans 3 placettes,

ce qui élimine en grande partie d'éventuelles influences sylvicoles locales. Ce procédé de calcul permet d'obtenir des courbes lissées sans aucun artifice de filtrage mathématique, et élimine aussi bien les effets climatiques que sylvicoles. Il ne conserve que l'influence de l'âge et des facteurs stationnels (altitude, sol, exposition...). On peut ainsi comparer précisément des peuplements différents en se basant sur leur dynamique de croissance.

D'une façon générale, dans les 9 peuplements sur calcaire, la croissance radiale présente le même schéma (*Figure 6*). Après un rapide et court démarrage durant les 50 premières années, la croissance se ralentit mais se poursuit longtemps, puisque les diamètres augmentent toujours à 200 ans. Cependant, on remarque des nuances entre les différents étages.

1) *Etage montagnard sur calcaire*

A 100 ans, le rayon est de 4.8 cm seulement à Alberts, 8.5 cm à Bauches, 6.1 cm à Maratra et 8.5 cm à Plampinet. Comme pour la croissance en hauteur, la croissance radiale est donc faible dans le montagnard, et seule la profondeur du sol (données: Ackermann, 1989) permet de différencier fortement les sites, dans le même ordre.

2) *Etage subalpin sur calcaire*

Quatre points peuvent être soulignés. Tout d'abord, les rayons des arbres sont plus gros à 100 ans dans le subalpin calcaire que dans le montagnard. En moyenne, ils mesurent 9.7 cm au lieu de 6.9 (soit 28 % de plus). En second lieu, on notera une grande homogénéité de dynamique entre les 5 stations subalpines. Troisièmement, la meilleure station quant à la hauteur dominante (Péméant, en ubac) présente par contre la moins bonne croissance radiale, les arbres semblant chercher la lumière en adoptant un port fin et élancé. Enfin, cette méthode permet de mettre en évidence des nuances supplémentaires, en accord avec la caractérisation phytosociologique des stations. Par exemple, les Pins à Infernet 1 poussent plus vite qu'à Infernet 2 malgré une altitude et une exposition semblables. Cependant, le sol est sans doute plus frais dans le premier site, où l'on trouve *Vaccinium myrtillus* L. et *Pinus cembra* L., tandis que le second est caractérisé par *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng. plus xérophile.

3) *Etage subalpin sur silice*

Sur silice, deux types de dynamiques de croissance peuvent être observés. A Eusseulières (en ubac), la croissance est continuellement faible mais se maintient longtemps, tandis qu'au Granon (en adret) le démarrage est vigou-

Rayon des troncs
Pins à crochets

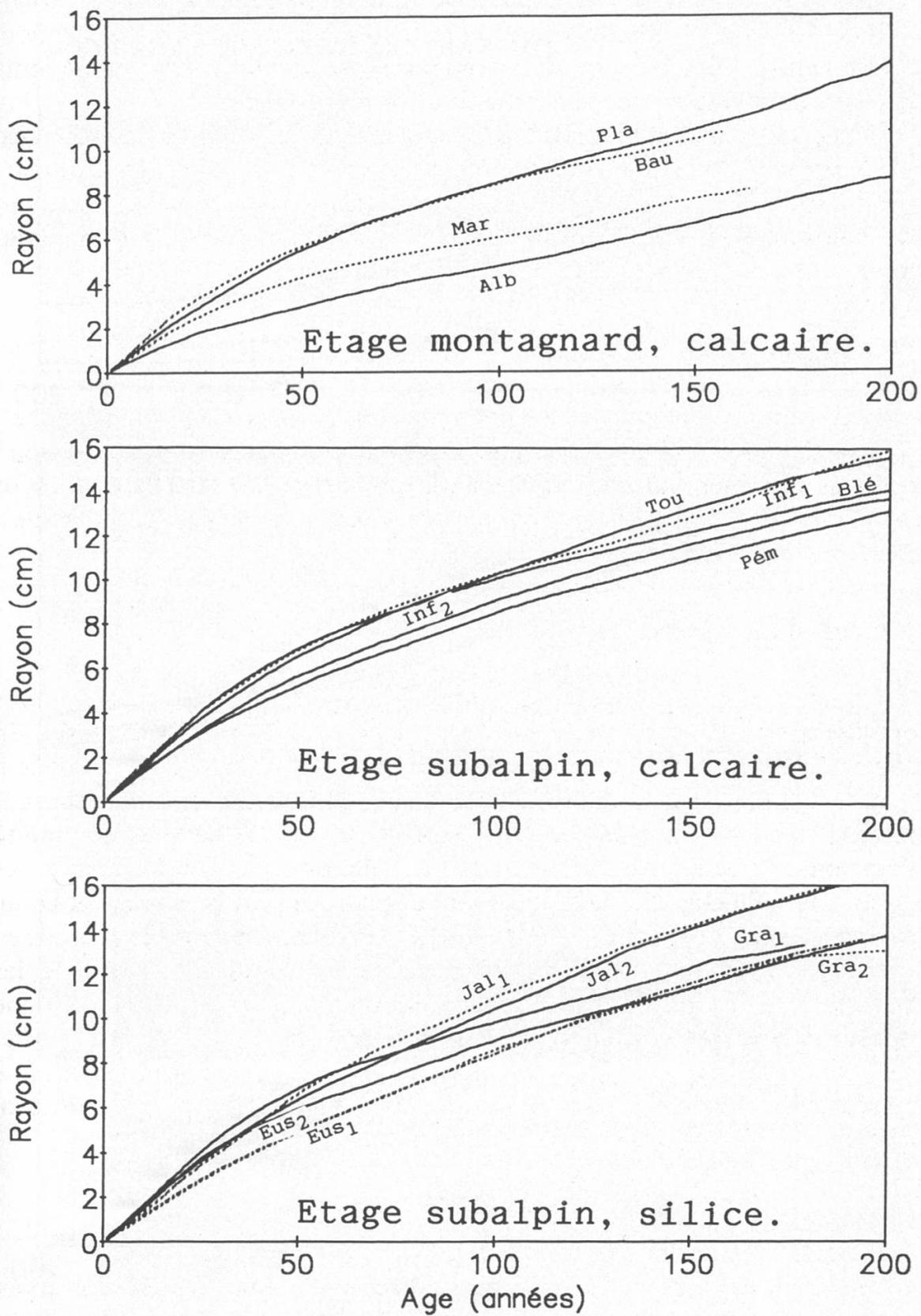


Figure 6. Dynamique de la croissance radiale des 15 peuplements.

Accroissement radial moyen
Pin à crochets

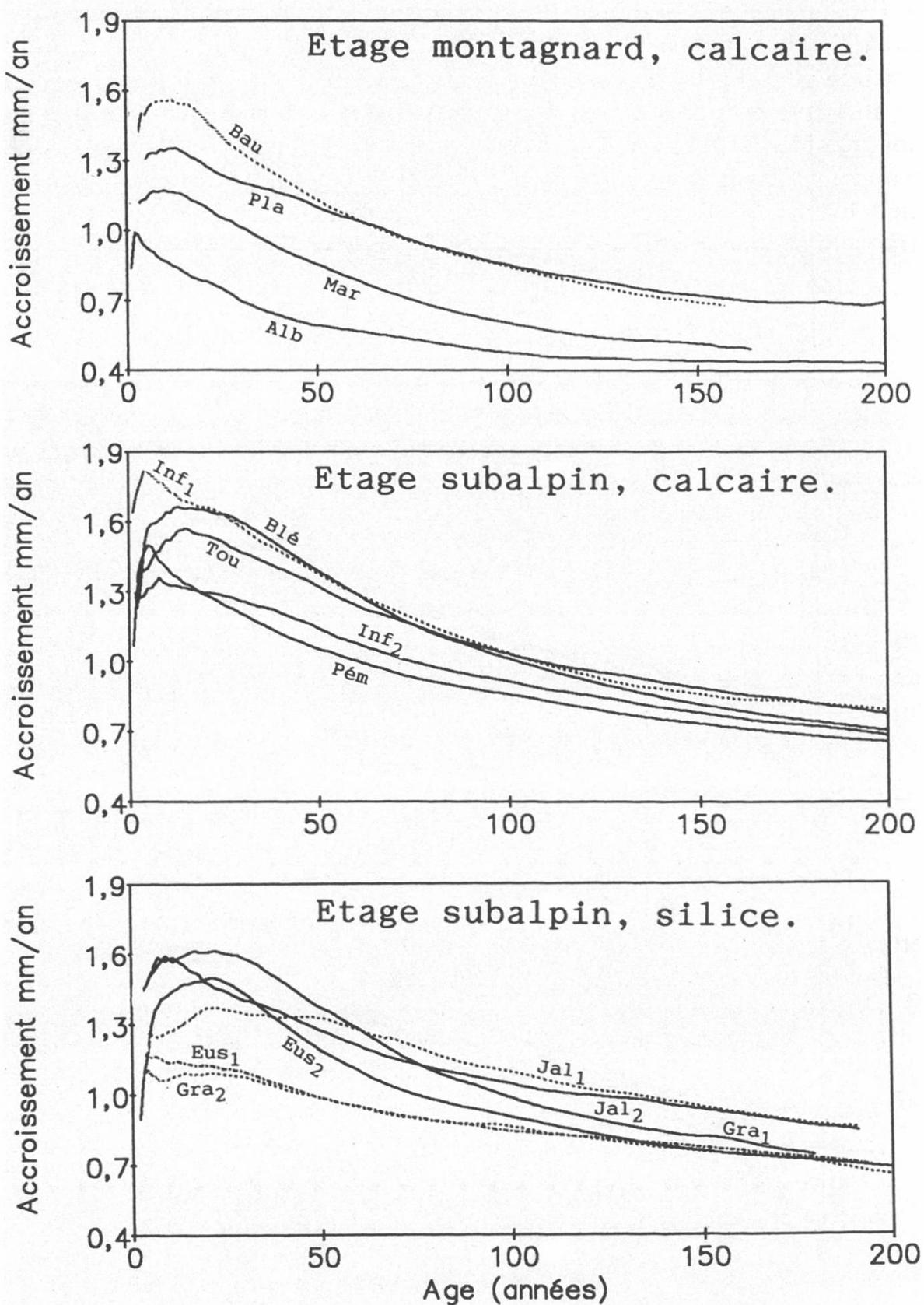


Figure 7. Accroissements moyens des 15 peuplements.

reux quand les arbres sont jeunes mais la croissance radiale se ralentit ensuite. Par exemple, à 25 ans les rayons mesurent respectivement 4.0 et 2.8 cm à GRA₁ et EUS₁ (soit 30.7 % de différence), tandis qu'ils deviennent presque similaires à 150 ans, valant 12.3 cm et 11.6 cm (soit un écart de 5.7 % seulement). Il apparaît donc que la croissance radiale est plus dynamique pour les jeunes Pins en adret subalpin par rapport à l'ubac, sans doute par manque de lumière en ubac pour les jeunes arbres. L'impact de ce phénomène disparaît quand ils cessent d'être dominés. Le Pin à crochets peut donc être considéré comme fortement héliophile dès sa phase juvénile. Sa sensibilité à la concurrence proviendrait alors d'un manque de lumière dans les peuplements trop denses.

3.6 Accroissement radial moyen

Afin de caractériser le rythme de croissance, nous avons également calculé le taux d'accroissement radial moyen en fonction de l'âge. En moyenne, tous sites confondus, l'accroissement chute de 1.32 mm/an à 25 ans à 1.14 mm/an à 50 ans, 0.89 mm/an à 100 ans et seulement 0.76 mm/an à 150 ans. Selon le site, le maximum de chaque courbe d'accroissement (*Figure 7*) est atteint à des âges variables, compris entre 10 et 30 ans (déterminés à 1 m 30 du sol).

Dans certains cas, un «démarrage» élevé est suivi par un déclin rapide (Bauches, Infernet 1, Eusseulières 2 par exemple). Dans d'autres cas, la croissance est plus régulière (Infernet 2, Granon 2, Eusseulières 1, Jalavez 1). Ces différences de comportement sembleraient liées à l'exposition ou à la densité des peuplements lors de l'installation des arbres.

4. Conclusion

Bien que basée sur un échantillonnage limité (15 stations et 270 arbres), cette étude fait ressortir 6 points importants:

- Dans les Alpes internes, la croissance en hauteur du Pin à crochets est optimale en ubac subalpin sur calcaire, atteignant une moyenne de 17,7 m, contre 13,4 m dans le subalpin sur silice et 12,3 m dans le montagnard calcaire.
- Dans l'étage montagnard, le Pin à crochets est éliminé des meilleures stations par le Pin sylvestre. Il est relégué sur les sols les plus ingrats où sa croissance est essentiellement limitée par la profondeur du sol.
- Dans le subalpin, l'influence édaphique prime nettement sur le rôle de l'exposition.
- Sur calcaire, la croissance en hauteur est meilleure en ubac, augmentée par rapport à l'adret de +14,2 % dans le montagnard et +18,6 % dans le subalpin.

- En revanche, sur substrat siliceux l'influence de l'exposition ne paraît pas intervenir.
- Comme pour d'autres essences, la hauteur dominante est reliée linéairement à l'accroissement volumique annuel moyen.

En outre, une méthode particulière de calcul de la croissance radiale basée sur le cumul des largeurs de cernes permet d'aborder la dynamique de croissance et son rythme. Elle fait ressortir différents types de croissance au stade de jeunesse. Aussi, à l'âge de 100 ans, les rayons moyens sont compris entre 4.8 et 11 cm selon les stations, tandis que les taux d'accroissement moyens varient entre 0.48 et 1.10 mm/an.

L'ensemble de ces résultats précise le caractère rustique du Pin à crochets, et les limites de sa plasticité écologique. D'autres facteurs non étudiés ici tels que la densité des peuplements ou la présence de mycorhizes permettraient sans doute d'affiner ces résultats. Un complément utile pourra être fourni par une étude dendroclimatique en cours sur ces mêmes peuplements.

Zusammenfassung

Einfluss des Standorts auf das Wachstum der Hakenkiefer (*Pinus uncinata* Ramond; schweizerisch: aufrechte Bergföhre)

An 15 reinen Hakenkiefernwäldern der französischen Zentralalpen wurden dendrometrische Messungen vorgenommen, um das Wachstum der Baumart in Abhängigkeit von der Meereshöhe, des Bodentyps und der Exposition zu untersuchen.

Die Oberhöhenmessungen zeigen, ohne Berücksichtigung der Bestandesalter, dass der optimale Volumenzuwachs in der subalpinen Stufe, auf Kalk und in nordexponierter Lage erreicht wird. Zudem wird die Linearität des Eichhorn'schen Gesetzes bestätigt.

Die Untersuchung der 270 Bohrkerne (18 Bohrkerne pro Standort), mit insgesamt 41 151 gemessenen Jahrringbreiten, erlaubt es, den Wachstumsverlauf der Bestände, unabhängig von klimatischen und waldbaulichen Einflüssen, abzuleiten. Die maximale Zuwachsrate wird im Alter von 10 bis 30 Jahren erreicht (1,0 bis 1,7 mm pro Jahr). Später nimmt sie ab und erreicht im Alter von 100 Jahren 0,48 bis 1,10 mm pro Jahr.

Die Untersuchung zeigt die Widerstandsfähigkeit der Hakenkiefer und die Grenzen ihrer Anpassungsfähigkeit bezüglich der untersuchten Standortsmerkmale, besonders des Bodentyps.

Übersetzung: Adrian Lanz

Remerciements

Les mesures ont été effectuées au Laboratoire de Phytoécologie Forestière de Nancy avec l'aide de Mr Geremia et J. Lucas, grâce à M. Becker que nous remercions également pour ses conseils

et suggestions. Nous sommes reconnaissants à A. Poncet, G. Cadel, et B. Souchier qui nous ont aidés dans le choix de stations, ainsi qu'à F. Ackermann qui a partagé avec nous le travail de terrain dans le but d'une étude commune.

Références bibliographiques

- Ackermann, F.* (1989): Etude de quelques Pinèdes à crochets du Briançonnais. Caractérisation des types fonctionnels d'humus et relations possibles avec la productivité. DEA Grenoble, «Géologie, écologie et aménagement des montagnes», 63 p.
- Barbéro, M., Cadel, G., Gensac, P., Ozenda, P., Richard, L.* (1991): Carte de végétation de la France du CNRS au 200 000ème. Feuille de Tignes-Larche, no 55-61, Ed.: CNRS, Toulouse.
- Becker, M.* (1987): Bilan de santé actuel et rétrospectif du Sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Vosges. Etude écologique et dendrochronologique. Ann. Sci. For., 44, 4: 379-402.
- Cadel, G.* (1980): Séries de végétation et sols du subalpin Briançonnais sur roches mères silico-alumineuses. Comparaison avec la Maurienne et la Tarentaise. Science du sol, Bulletin de l'AFES, 4: 249-264.
- Cantegrel, R.* (1984): Contribution à l'étude de la variabilité biologique et biochimique du Pin à crochets (*Pinus uncinata* Ramond) dans les Pyrénées. Ann. Sci. For., 41, 3: 273-302.
- Cantegrel, R.* (1987): Productivité ligneuse et organisation des marges forestières à *Pinus uncinata* Ram. en Pyrénées occidentales. Pirineos (Logroño) Jaca, 130: 3-27.
- Carpenter, P.A. P., Collazo, A. M.* (1967): Crecimiento y producción de las Masas Españolas de *Pinus pinaster* (Continental), *Eucalyptus camaldulensis* y *Pinus uncinata*. Anales del Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Resumen de la medición de parcelas, 346-387.
- Commission Météorologique Départementale* (1986): Département des Hautes-Alpes, année 1985. Bull. de la Commission Météorologique, 40 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: 125-142.
- Genova Fernandez, R.* (1987): Análisis y significado de los anillos de crecimiento de dos especies forestales: *Pinus uncinata* y *Pinus sylvestris*, en la Península Ibérica. Tesis Doctoral, Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona, 355 p.
- Gobert, J., Ozenda, P., Tonnel, A.* (1964): Carte de végétation de la France du CNRS au 200 000ème. Feuille de Gap, no 60. Ed.: CNRS, Toulouse.
- Grados, J. J.* (1987): Le guide du Queyras. Ed.: La Manufacture.
- Ozenda, P.* (1985): La végétation de la chaîne Alpine. Ed.: Masson, 344 p.
- Pardé, J.* (1961): Dendrométrie. Ed.: Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy, 350 p.
- Pardé, J., Bouchon, J.* (1988): Dendrométrie. Ed.: Ecole Nationale des Eaux et Forêts, Nancy, 2ème édition, 328 p.
- Plaisance, G.* (1961): Guide des forêts de France. Ed.: La NEF de Paris, 411 p.
- Probst, A., Rouane, P.* (1984): Introgression entre *Pinus sylvestris* L. et *Pinus uncinata* Ramond dans la forêt d'Osséja (Pyrénées-Orientales). Documents d'Ecologie Pyrénéenne, 3-4, Colloque International «Ecologie et biogéographie des milieux montagnards et de haute altitude» Gabas, 10-12 septembre 1982, 523-529.
- Puig, J. N.* (1982): Recherches sur la dynamique des peuplements forestiers en milieu de montagne: contribution à l'étude de la régénération en forêt d'Osséja. Thèse 3ème Cycle, Toulouse, 188 p.
- Sandoz, H.* (1983): Recherches taxonomiques, biogéographiques et phytoécologiques sur les principaux conifères subalpins des Alpes: Mélèze d'Europe, Pin à crochets et Pin mugho. Etudes de terrain centrées sur les Alpes Maritimes et Ligures. Thèse Dr ès sciences, Aix Marseille 3, 650 p.
- Schweingruber, F. H.* (1988): Tree rings, Basics and Applications of Dendrochronology, Kluwer Academic Publishers, 267 p.

Auteurs: Jeanne Schueller et Christian Rolland, Centre de Biologie Alpine, Université Joseph Fourier, BP 53X, F-38041 Grenoble Cedex.