

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 147 (1996)

Heft: 5

Artikel: Dendroclimatologie du Pin à crochets (*Pinus uncinata* Mill. ex Mirb.) dans le Briançonnais et le Queyras en fonction des conditions stationnelles

Autor: Rolland, Christian / Schueller, Jeanne

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-767036>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 19.03.2025

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

Dendroclimatologie du Pin à crochets (*Pinus uncinata* Mill. ex Mirb.) dans le Briançonnais et le Queyras en fonction des conditions stationnelles

Par *Christian Rolland et Jeanne Schueller*

Keywords: *Pinus uncinata*; site conditions; climate; dendroclimatology; France.

FDK 174.7 Pinus: 181.2: (44)

1. Introduction

Le Pin à crochets (*Pinus uncinata* Mill. ex Mirb.) occupe dans les Alpes occidentales françaises une place importante, surtout dans la zone interne sèche (Briançonnais et Queyras) (*Cadel, Gilot, 1963*). Dans cette zone bioclimatique, une première étude a déjà permis d'analyser l'influence de trois facteurs stationnels (l'altitude, la roche-mère et l'exposition) sur la croissance en hauteur et en diamètre de cette essence (*Schueller, Rolland, 1994*).

L'objet de cette seconde étude est de compléter ces résultats par une analyse dendroclimatologique destinée à préciser l'écophysiologie du Pin à crochets dans ce secteur continental et sec où il est abondamment représenté.

A cet effet, nous allons comparer ici la réponse du Pin à crochets aux facteurs climatiques mensuels dans 15 sites différents par l'altitude, la roche-mère et l'exposition.

Trois points seront envisagés successivement:

- Existe-t-il une réponse climatique commune à tous ces sites variés?
- A quels paramètres stationnels sont liées les éventuelles différences locales de la réponse climatique?
- Comment peut-on hiérarchiser l'influence de ces différents facteurs?

Nous allons essayer de répondre à ces questions en utilisant deux méthodes: le calcul des fonctions de corrélation entre les indices de croissance et le climat, puis l'analyse en composantes principales de ces réponses.

2. Sites et méthodes

2.1 Le climat

Le climat des Alpes internes est particulièrement sec et lumineux, et présente une tendance continentale bien marquée. Nous utiliserons ici les données de la station météorologique de Briançon (1324 m), les moyennes étant calculées sur la période 1961–1985 (C.M.D.I., 1985).

Les précipitations atteignent seulement 714 mm par an, réparties sur 123 jours, avec un minimum pluviométrique en juillet.

L'insolation exceptionnelle y atteint 2362 heures par an et la température moyenne mensuelle varie de 1,8 °C à 12,9 °C (soit 7,4 °C par an), avec des extrêmes absolus de -19,6 °C et + 34,4 °C. On dénombre annuellement 99 jours avec neige au sol et 152 jours avec gelées sous abri, seuls les mois de juin, juillet et août étant exempts de gel.

2.2 Les sites et l'échantillonnage

Une carotte par arbre est prélevée à la tarière de Pressler à 1 m 30 du sol sur 18 pins dominants dans 15 pinèdes de Pin à crochets (Schueller, Rolland, 1994). Ces 270 prélèvements ont été réalisés en commun avec F. Ackerman (Ackerman, 1989). Les stations sont caractérisées par une combinaison de trois variables à deux modalités chacune: l'altitude (montagnard ou subalpin), le sol (calcaire ou silice) et l'exposition (nord ou sud). On obtient donc six groupes de stations, rassemblés dans le tableau 1.

Tableau 1. Les stations sont caractérisées par une combinaison de trois variables à deux modalités chacune.

Pinèdes à crochets échantillonnées

Sites	Albans		Bauges		Marais		Planpinet		Croix de Toulouse			Bléonnet		Péméant		Granon 1		Granon 2		Jalavez 1		Jalavez 2		Eusselières 1		Eusselières 2	
Abréviation	Alb	Bau	Mar	Pla	Tou	Inf1	Inf2	Pém	Blé	Gra1	Gra2	Jal1	Jal2	Eus1	Eus2												
Numéro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15												
Groupe	1		2		3			4		5		6		6													
Etage	Montagnard				Subalpin																						
Sol	Substrat calcaire								Substrat siliceux																		
Exposition	Sud		Nord		Sud			Nord		Sud				Nord													

Les altitudes des stations du montagnard sont comprises ici entre 1390 m et 1580 m, tandis que celles du subalpin se situent entre 1860 m et 2080 m.

2.3 Chronologies des indices de croissance

Après mesure informatisée des largeurs de cernes, les données sont inter-datées par confrontation visuelle des profils de largeurs sur écran d'ordinateur. Pour éliminer l'influence de l'âge et les effets sylvicoles, on les transforme en indices de croissance par des moyennes mobiles (Rolland, 1993). On établit ensuite une chronologie maîtresse par site, qui est simplement la moyenne de tous les cernes formés durant la même année. La plus ancienne chronologie remonte à 1765. Cependant, nous n'avons retenu ici que la période commençant en 1850, pour conserver suffisamment d'arbres dans l'échantillonnage (64 % de l'effectif total).

On calcule également une chronologie générale pour tous les arbres.

2.4 Réponse au climat

A partir de ces chronologies d'indices, on peut alors analyser l'impact du climat sur la croissance radiale, au moyen des fonctions de corrélation entre cernes et climat (Blasing, Salomon, Duvick, 1984). Dans ce but, nous utiliserons les mesures de précipitations et de températures mensuelles de Briançon, durant la période 1947–1990 (du Centre Briançonnais de Recherches Bioclimatiques).

Chaque fonction de réponse au climat est calculée avec 2 paramètres climatiques: les précipitations et les températures. On utilise les 12 mois de l'année précédente ($n-1$) suivis des 9 premiers mois de l'année de formation du cerne (n), soit 21 mois au total. Ainsi, chaque fonction de réponse pour un site donné se compose de 42 coefficients. Ici, seuls les coefficients de réponse significatifs au seuil statistique de 0,9 seront interprétés.

2.5 Analyses en composantes principales

En plus des méthodes classiques de la dendroclimatologie, nous avons cherché à hiérarchiser quantitativement les facteurs agissant sur la croissance (Valmore, La Marche, 1974). Pour cela, une Analyse en Composantes Principales (A.C.P.) est calculée à partir de ces 42 coefficients dans 15 sites, à partir des variables centrées et réduites (Bouroche, Saporta, 1980), (Foucart, 1985). Les premiers axes factoriels permettent alors de mettre en évidence les facteurs essentiels.

3. Résultats et discussion

3.1 Sensibilité moyenne au climat

La sensibilité moyenne au climat (SM) est définie par la moyenne relative des écarts entre cernes consécutifs (*Schulman*, 1956). Ce paramètre qui estime le degré de sensibilité des arbres aux variations climatiques dépend nettement des conditions stationnelles, comme le montrent les *tableaux 2 et 3*.

Tableau 2. Sensibilité moyenne au climat des 15 pinèdes.

Site	Alb	Bau	Mar	Pla	Tou	Inf1	Inf2	Pém	Blé	Gra1	Gra2	Jal1	Jal2	Eus1	Eus2
S.M.	.221	.211	.211	.205	.214	.225	.216	.183	.184	.204	.195	.203	.199	.173	.183

Tableau 3. Sensibilité moyenne au climat.

Moyennes des SM		S.M.	Ecart
Exposition	Adret (S)	0,209	
	Ubac (N)	0,189	9,6%
Substrat	Calcaire	0,207	
	Silice	0,192	7,2%
Etage	Montagnard	0,212	
	Subalpin	0,198	6,6%

Il en ressort clairement que les facteurs agissant le plus sur la sensibilité moyenne au climat sont dans l'ordre l'exposition, le substrat et l'altitude.

Remarquons que Gutiérrez obtient également pour le Pin à crochets des Pré-Pyrénées Espagnoles des sensibilités moyennes assez similaires (0,206 en adret et 0,192 en ubac) (*Gutiérrez*, 1991).

De plus, les stations d'ubac du subalpin sur silice (Eusselières 1 et 2) présentent ici les SM les plus faibles. En effet, l'importante réserve hydrique édaphique sur silice, l'altitude suffisante et l'exposition nord compensent les effets des stress thermiques (*tableau 2*). Ces stations s'opposent ainsi à celles d'adret calcaire du montagnard (Alberts, Bauges) où les conditions de stress hydrique et thermique sont réunies pour que la sensibilité au climat soit maximale.

La sensibilité moyenne est suffisamment élevée pour justifier une étude dendroclimatique, d'autant plus que les principales fluctuations inter-annuelles des indices de croissance se retrouvent dans toutes les chronologies mais avec des nuances locales.

Pour plus de clarté, l'analyse des relations entre cernes et climat sera faite en deux étapes:

- Tout d'abord, nous examinerons la réponse globale au climat régional, en regroupant tous les sites.
- Ensuite, nous analyserons la réponse climatique dans chacun des 15 sites de façon comparative.

3.2 Réponse générale du Pin à crochets au climat

Examinons successivement le rôle des précipitations, puis celui des températures.

3.21 Influence des précipitations

L'examen des fonctions de corrélation entre cernes et précipitations (*figure 1*) souligne le rôle bénéfique des pluies abondantes durant trois périodes critiques qui sont, par ordre d'importance décroissante :

- Août (n-1) et septembre (n-1).
- Juin (n).
- Novembre (n-1).

Ainsi, le climat de l'année précédente (n-1) a des effets qui prédominent sur ceux de l'année de formation du cerne (n), exactement comme l'a observé Gutiérrez (*Gutiérrez, 1991*). Ce sont les pluies estivales qui importent le plus. En effet, elles permettent au Pin d'éviter un stress hydrique en fin de saison précédente en septembre (n-1) lors de l'initiation cambiale, et favorisent directement le début de la formation du cerne en juin (n). Enfin, la croissance est arrêtée par des pluies trop abondantes en septembre (n).

3.22 Influence des températures

Par ordre d'importance décroissante, les coefficients de réponse aux températures les plus significatifs sont:

- Août (n-1) et septembre (n-1) (coefficients négatifs).
- Novembre (n-1).
- Août (n).

En août et septembre (n-1), la croissance est ralentie par de fortes températures. Cette période a déjà été signalée comme étant critique pour les précipitations: De fortes chaleurs sont limitantes, surtout si elles sont associées à une période de sécheresse.

En second lieu, des températures élevées sont plutôt bénéfiques en novembre (n-1). En effet, il semble que si le refroidissement hivernal survient trop tôt lors de l'initiation du cerne, la croissance de l'année suivante est réduite.

De la même manière, les fortes températures en août (n) peuvent être défavorables, puisque survenant durant la formation du bois final.

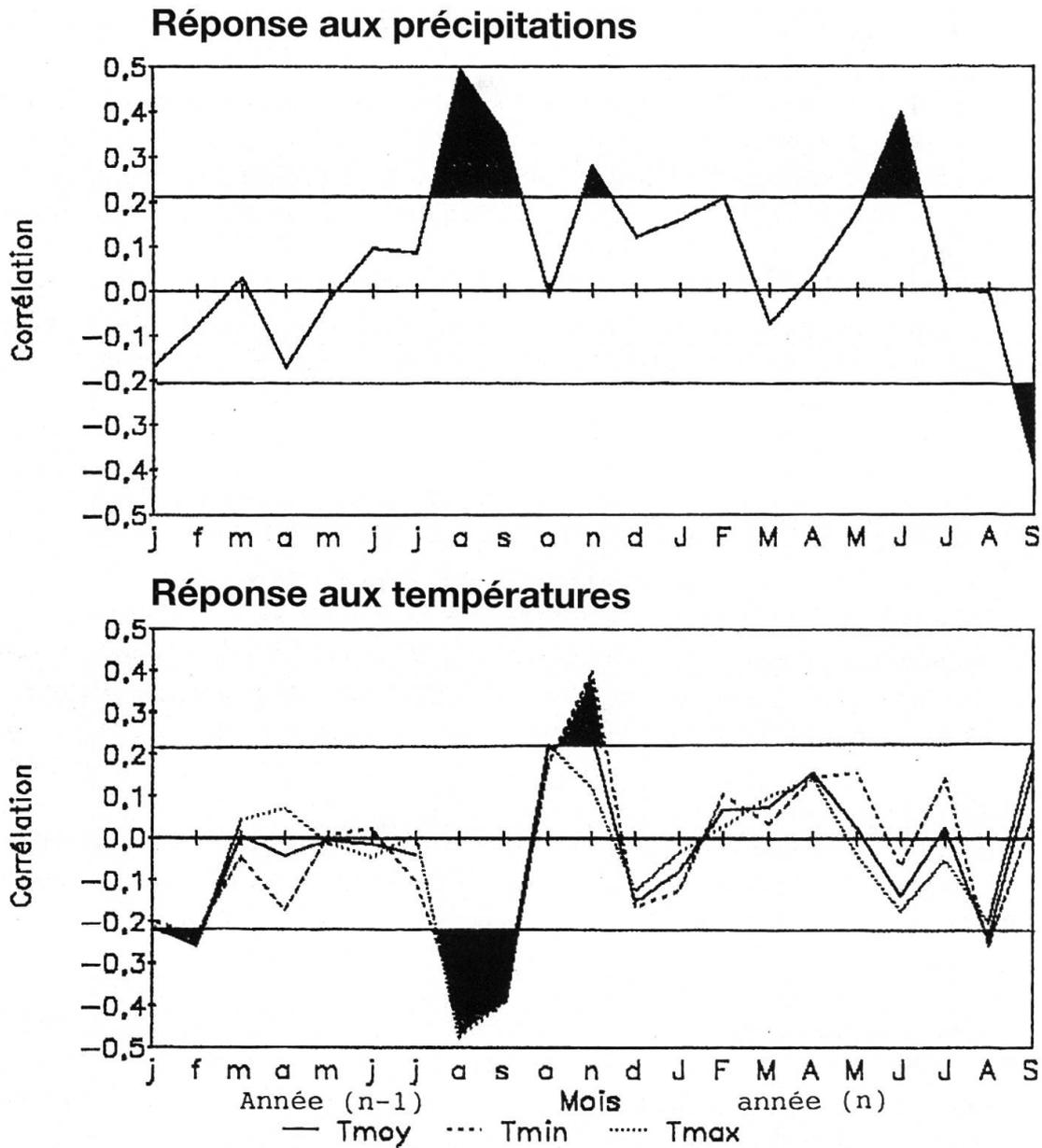


Figure 1. Fonctions de réponse aux précipitations et à la température mensuelle (moyenne, minimum et maximum) de l'ensemble des Pins à crochets dans 15 sites du Briançonnais. (Le seuil de significativité des coefficients est fixé à 0,9.)

En définitive, il ressort de cette étude générale que la croissance radiale est limitée par des précipitations faibles en été ou par de trop fortes températures, ce qui souligne l'importance du *bilan hydrique*, surtout de *l'année précédente*. Contrairement à ce qu'a observé Ruiz-Flaño sur le Pin à crochets des Pyrénées centrales, ce ne sont pas ici les températures seules qui prédominent sur le contrôle de la croissance (Ruiz-Flaño, 1988).

3.3 Comparaisons des réponses stationnelles au climat

A cette réponse générale au climat viennent se superposer des effets locaux, liés aux conditions stationnelles.

Comme précédemment dans l'analyse générale, examinons tour à tour le rôle des précipitations puis celui des températures sur les 6 groupes de stations.

3.31 Influence des précipitations

L'observation de la *figure 2* fait ressortir immédiatement les similitudes entre 15 courbes de réponses, ce qui témoigne de l'influence prédominante du climat régional par rapport aux variations micro-climatiques locales.

De plus, la réponse est homogène à l'intérieur de chacun des sous-groupes. Par conséquent, ceci confirme que les trois descripteurs des stations (bien que choisis a priori) sont bien adaptés et suffisants pour caractériser les sites.

Cependant, les différences locales sont loin d'être négligeables.

a) Effet de l'altitude

C'est dans l'étage montagnard que l'effet bénéfique des précipitations d'août et septembre (n-1) tend à être le plus prononcé, pour les 4 stations du montagnard (Alberts, Bauches, Maratra et Plampinet). Ceci est à mettre en relation avec le stress hydrique plus fort à basse altitude, en raison de températures supérieures.

Par contre, l'effet bénéfique des précipitations de juin (n) est plus marqué dans pratiquement toutes les stations du subalpin. Une saison de végétation plus courte y explique sans doute cette réponse ponctuelle plus forte durant l'année de formation du cerne.

b) Effet du substrat

La comparaison des stations sur calcaire et silice montre que le rôle favorable des pluies de novembre (n-1) est spécifique sur roches-mères siliceuses, sans doute en raison de leur meilleure capacité de rétention en eau (Granon, Jalavez, Eusselières) (Cadel, 1980).

c) Effet de l'exposition

Enfin, l'excès de précipitations peut avoir des conséquences négatives, mais de façon exceptionnelle et surtout en ubac, rarement en adret. De plus, il est important de noter que la saison de croissance peut parfois se prolonger jusqu'en fin d'été. Toutefois, ceci n'est possible pratiquement qu'en ubac et seulement s'il ne pleut pas trop en septembre (n) (Maratra, Plampinet, Péméant, ou Blétonnet).

3.32 Influence des températures

Là aussi, les sites d'un même groupe présentent des réponses très homogènes, et les groupes se différencient bien les uns des autres.

a) *Effet de l'altitude*

L'effet bénéfique des fortes températures qui apparaît dès février ou mars (n) est caractéristique de l'étage montagnard, où le début d'activité du cambium est plus précoce (à Alberts, Bauches, Maratra et Plampinet). On note également une initiation cambiale influencée par les fortes températures d'été (n-1) plus marquée à Alberts, à l'inverse du subalpin (Infernet 2).

b) *Effet du substrat*

Le type de roche-mère influence peu sur la réponse aux températures. (Alors que pour les précipitations, le drainage et les réserves en eau du sol peuvent moduler l'effet des pluies.) Cependant, les caractéristiques édaphiques agissent quand même ici, mais en synergie avec l'exposition. Ainsi, la réponse aux températures est considérablement atténuée si on est à la fois en ubac et sur silice, car on associe bon stockage édaphique et fraîcheur atmosphérique (à Eusselières).

c) *Effet de l'exposition*

Enfin, l'impact négatif des fortes températures de l'été (n-1) est renforcé par une exposition sud (à la Croix de Toulouse, Infernet, Granon, ou Jalavez).

3.4 *Analyse en composantes principales des réponses*

Pour pouvoir hiérarchiser l'importance relative des différents paramètres, nous avons calculé une analyse en composantes principales (ACP) de ces fonctions de réponse au climat.

Les quatre premiers axes factoriels contiennent la majeure partie de l'information, puisque le pourcentage de variance expliquée atteint 46 % dans le plan (1,2), et même plus de 70 % avec les 4 premiers axes. (Ils expliquent successivement 28,9 %, 17,6 %, 14,8 % et 9,5 % de la variance.)

La proximité des sites caractérisés par les mêmes paramètres stationnels sur la projection dans le plan factoriel illustre le fait que ces descripteurs sont bien adaptés. L'interprétation successive des axes permet de trier les facteurs qui sont les plus significatifs (*figure 3*).

a) *L'axe 1* (de la *figure 3*) (28,9 % de variance) oppose les 4 stations de l'étage montagnard (Alb, Bau, Mar, Pla) regroupées du côté gauche, des autres stations situées dans le subalpin. L'altitude apparaît donc clairement comme étant le paramètre principal de discrimination des types de réponse au climat.

C'est d'ailleurs la température de mars (n) qui est le paramètre le plus lié à cet axe factoriel. En effet, ce facteur traduit l'importance du réchauffement printanier qui permet un débourrement précoce, favorisé par une faible altitude. De même, l'effet des températures de novembre (n-1) oppose les étages montagnard et subalpin.

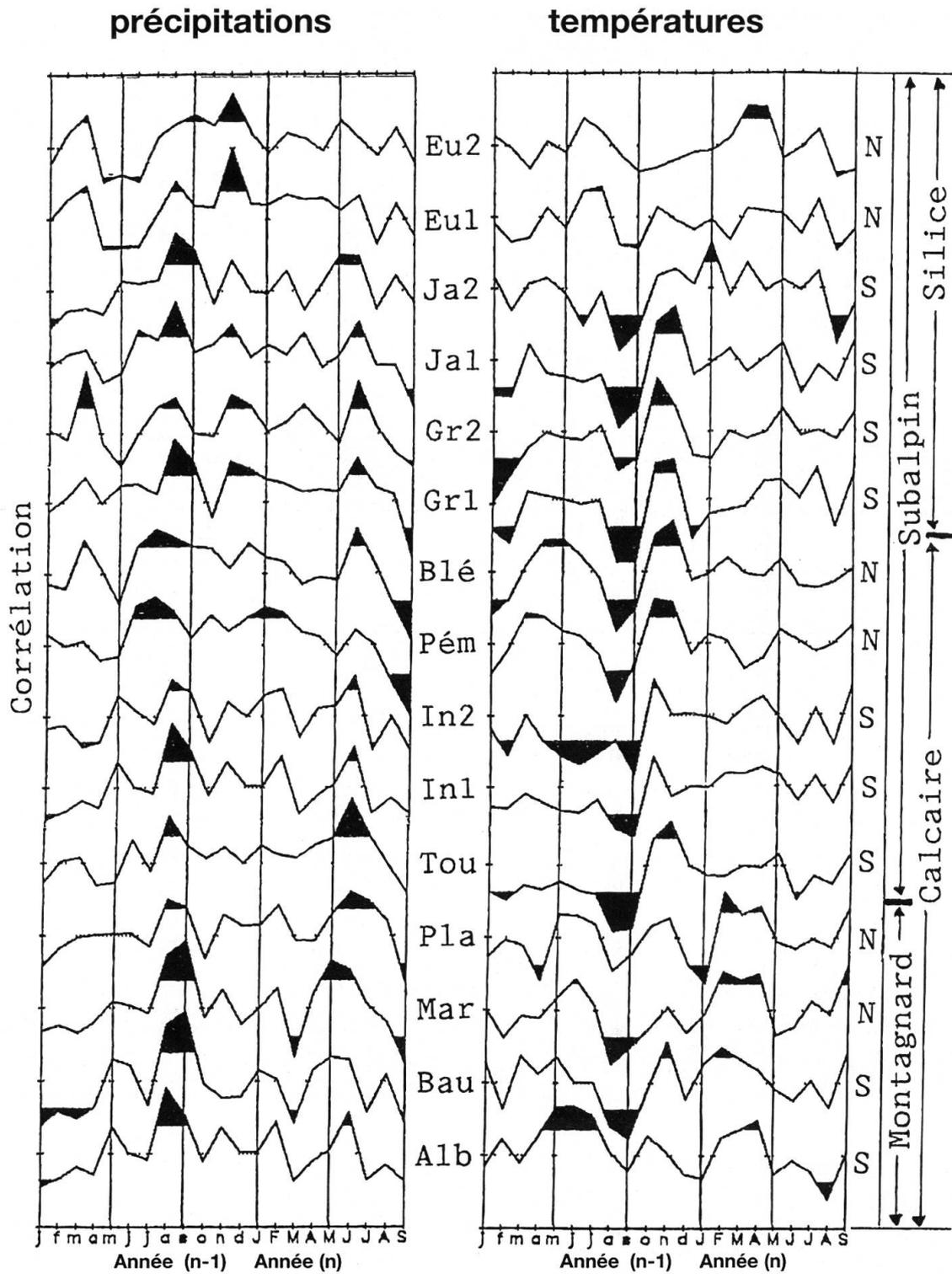


Figure 2. Fonctions de réponse aux précipitations et à la température mensuelle des Pins à crochets dans 15 sites différant selon l'altitude, l'exposition et la roche-mère. (Le seuil de significativité des coefficients est fixé à 0,9.)

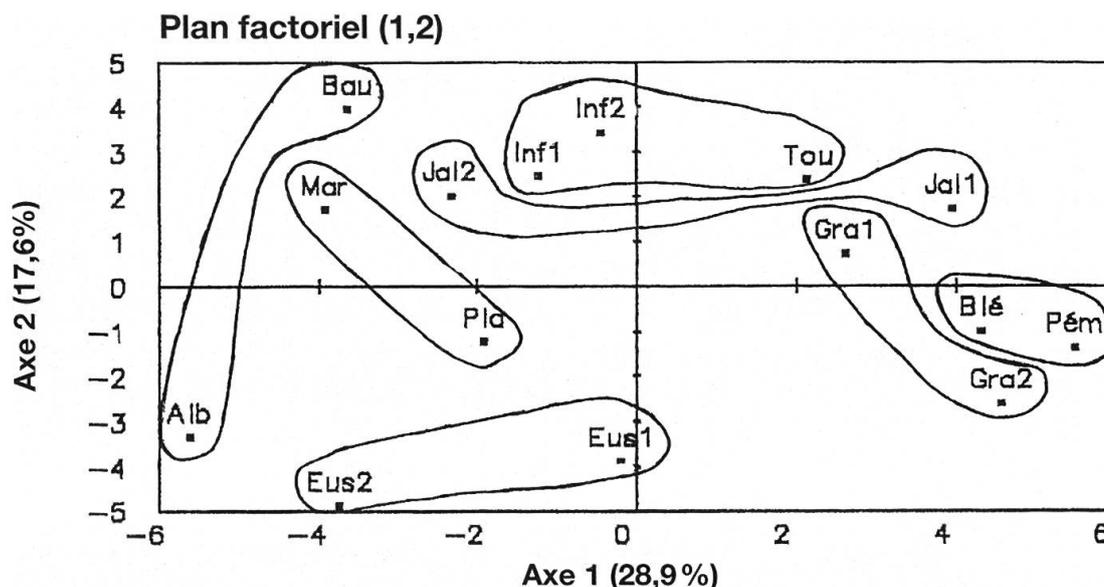


Figure 3. Projection dans le plan factoriel (1,2) de l'analyse en composantes principales des 15 réponses au climat des Pins à crochets avec 42 paramètres climatiques mensuels.

b) L'axe 2 (17,6% de variance) oppose les stations d'Eusselières (Eus_1 et Eus_2) aux autres sites, comme on l'avait remarqué à propos de leur réponse peu marquée aux températures. Les variables qui lui sont liées caractérisent l'effet bénéfique des précipitations d'août ($n-1$), antagoniste de celui des fortes températures de septembre ($n-1$). Ceci caractérise donc l'influence défavorable d'un stress hydrique l'été précédent, une faible pluviométrie en plein été étant aggravée par la forte transpiration foliaire le mois suivant. Les deux stations d'ubac sur sol siliceux à bonne réserve hydrique y sont par conséquent moins sensibles.

c) L'axe 3 (non représenté dans la figure 3) représente 14,8% de variance. Il est lié négativement à la pluviométrie de septembre (n), ce qui souligne l'importance d'une saison de végétation prolongée lorsque ce mois est sec. Ce phénomène est spécifique aux ubacs suffisamment frais (Blé, Pém, Mar, Pla).

4. Conclusions

Dans 15 pinèdes des Alpes internes sèches, l'utilisation conjointe des fonctions de réponse entre cernes et climat et leur analyse en composantes principales fait ressortir les points essentiels suivants:

- La sensibilité au climat est plus marquée en adret, sur substrat calcaire, et dans l'étage montagnard.

- Les effets climatiques de l'année précédente prédominent, la période d'initiation cambiale semblant être plus importante que celle de formation du cerne elle-même. D'autre part, il y a une légère prépondérance de l'effet des facteurs thermiques par rapport aux précipitations et leurs effets sont conjugués. Ainsi, les pluies d'août et septembre (n-1) ont un effet bénéfique opposé à celui des fortes températures durant la même période. Les pluies de juin (n) sont également favorables.
- Bien que les réponses soient globalement assez homogènes, la comparaison des sites montre à quel point les 3 facteurs stationnels étudiés (altitude, exposition et sol) sont complémentaires. En premier lieu intervient l'effet de l'altitude qui autorise notamment un débourrement plus précoce par l'intermédiaire du réchauffement en février et mars (n). Ensuite intervient l'influence de la nature du substrat. Un sol à bonne rétention en eau permet en effet de surmonter le stress hydrique estival au moment de l'initiation cambiale en août (n-1). Enfin, une exposition en ubac prolonge la croissance en septembre (n).

Cette étude illustre à quel point la réponse au climat peut être modulée par des facteurs stationnels locaux et hiérarchise l'influence relative des différents paramètres climatiques et stationnels. Ainsi, elle pourrait servir de guide pour des reconstitutions climatiques à partir des cernes, en indiquant où réaliser des prélèvements selon le paramètre mensuel à reconstruire (*Richter, Eckstein, 1990*), (*Schweingruber, Briffa, Jones, 1991*). Les sensibilités au climat relativement élevées et les nuances stationnelles de réponse au climat bien contrastées font du Pin à crochets une essence particulièrement bien adaptée à des reconstructions climatiques assez fines.

Résumé

Dans les Alpes occidentales internes, on étudie dendroclimatologiquement 15 pinèdes de Pin à crochets (*Pinus uncinata*) qui diffèrent essentiellement par l'altitude, l'exposition et la roche-mère. Pour analyser comment ces trois facteurs stationnels modulent la réponse dendroclimatologique, on compare les fonctions de corrélation entre les cernes et le climat obtenues dans chacun des sites.

Une analyse en composantes principales permet de hiérarchiser l'importance de ces facteurs.

La réponse climatique globale fait ressortir l'importance bénéfique des pluies d'août et septembre de l'année (n-1), par opposition à l'effet négatif simultané des fortes températures. Les pluies de juin (n) sont également favorables. Cependant, dans l'étage montagnard la reprise de croissance est plus précoce qu'ailleurs et le bénéfice des pluies d'août et septembre (n-1) y est plus marqué. A l'opposé, la réponse au climat est atténuée sur silice où la réserve hydrique des sols est supérieure. Enfin, l'expo-

sition agit en renforçant l'effet limitant des fortes températures en adret, tandis qu'en ubac la croissance peut se prolonger en septembre (n).

Zusammenfassung

Dendroklimatologie der aufrechten Bergföhre (*Pinus uncinata* Mill. ex Mirb.) im Briançonnais und im Queyras (Frankreich) in Abhängigkeit von den Standortbedingungen

15 Bergföhrenwälder der trockenen Westalpen unterschiedlicher Meereshöhe, Exposition und Bodentyps wurden mit dendroklimatologischen Methoden untersucht und die Korrelationen dieser drei Standortfaktoren mit Zuwachsraten und Monatsklima berechnet. Aus der Untersuchung der Hauptkomponenten ergibt sich die Rangordnung der Einflüsse.

Die Untersuchung ergibt für alle Standorte einen positiven Einfluss der Regenfälle im August und September des Vorjahres (n-1) im Gegensatz zu negativen Auswirkungen hoher Temperaturen zur selben Zeit. Auch die Regenfälle im Juni (n) wirken sich auf das Radialwachstum positiv aus. Auf tieferer Stufe erfolgt der Beginn der Vegetation schon im Februar und März, und der günstige Einfluss der Regenfälle im August und September (n-1) ist auf dieser Stufe ebenfalls ausgeprägter. Auf Silikatböden ist der Klimaeinfluss geringer, da dort das Wasserangebot höher ist. Schliesslich verstärkt die Exposition den negativen Einfluss der hohen Temperaturen der Südseite, während sich das Wachstum auf der Nordseite bis in den September hinziehen kann.

Summary

Dendroclimatology of the Mountain pine (*Pinus uncinata* Mill. ex Mirb.) in the Briançonnais and the Queyras with respect to site conditions

In the internal french Alps, 15 mountain pine forests (with *Pinus uncinata* Mill. ex Mirb.) are studied by using dendroclimatological methods. The sampled sites are chosen at different altitudes, exposures and kinds of soil.

The influence of these three environmental factors on tree-ring and climate relationships is studied by computing in all the forests the correlation functions between tree-rings and monthly climate. Then the results are compared with a factor analysis.

All the sites show a positive influence of the precipitation in August and September during the previous year (n-1), before the ring formation, and at the same time a negative effect of high temperatures. Rainfall in June (n) is also favourable to radial growth. However, at lower altitudes the growing period begins earlier. Moreover, the influence of the precipitation in August and September (n-1) is also stronger there.

On the contrary, the climatic response of the trees is reduced on siliceous soils where the water reserve is higher.

The limiting effect of the high temperatures is enhanced by the exposure on south facing slopes, whereas on northern slopes the growing period appears to be longer, until September (n).

Bibliographie

- Ackerman, 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, Ecologie et Aménagement des Montagnes, 63 p.
- Blasing, T.J., Salomon, A.M., Duvick, D.N. (1984). Response functions revisited. *Tree Ring Bulletin*, 44, 1–15.
- Bouroche, J.M., Saporta, G. (1980). L'analyse des données. Ed.: Presses Universitaires de France, Paris, Que sais-je, no 1854, 128 p.
- Cadel, G., Gilot, J.C. (1963). Feuille de Briançon. Documents pour la carte de Végétation des Alpes, 91–140.
- 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.
- C.M.D.I. (1985). Bulletin de la Commission Météorologique. Département des Hautes-Alpes.
- Foucart, T. (1985). Analyse factorielle. Programmation sur micro ordinateurs. Ed.: Masson, 2ème éd., 234 p.
- Gutiérrez, E. (1991). Climate tree-growth relationships for *Pinus uncinata* Ram. in the Spanish Pre-Pyrenees. *Acta Oecologica*, 2, 213–226.
- Richter, K., Eckstein, D. (1990). A proxy summer rainfall record for southeast Spain derived from living and historic Pine trees. *Dendrochronologia*, 8, 67–82.
- Rolland, C. (1993). Fonctionnement hydrique et croissance du Sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Alpes françaises. Dynamique des flux de sève, écophysiologie et dendroécologie. Thèse Laboratoire d'Ecologie Alpine, UJF, Grenoble 1, 179 p.
- Ruiz-Flaño, P. (1988). Dendroclimatic series of *Pinus uncinata* R. in the Central Pyrenees and in the Iberian system, Spain. A comparative study. *Pirineos*, 132, 49–64.
- Schueller, J., Rolland, C. (1994). Influence stationnelle sur la croissance du Pin à crochets (*Pinus uncinata* Ramond) *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen – Journal Forestier Suisse*, 145, 9, 739–755.
- Schulman, E. (1956). Dendroclimatic changes in semiarid Arizona. Ed.: University of Arizona Press, Tucson, Arizona, 142 p.
- Schweingruber, F.H., Briffa, K.R., Jones, P.D. (1991). Yearly maps of summer temperatures in Western Europe from AD 1750 to 1975, and Western North America from 1600 to 1982. *Vegetatio*, 92, 1, 5–71.
- Valmore, C., La Marche, J.R. (1974). Frequency dependant relationships between tree-ring series along an ecological gradient and some dendroclimatic implications. *Tree Ring Bulletin*, 34, 1–20.

Remerciements

Les auteurs remercient G. Cadel pour le choix des sites ainsi que F. Ackerman pour une partie des prélèvements effectués sur le terrain. Nous remercions également J. Lucas pour la mesure des cernes.

Auteurs: Jeanne Schueller et Christian Rolland, Centre de Biologie Alpine, B.p. 53, F-38041 Grenoble Cedex 9.