

CLIMAT ET DÉPÉRISSEMENT

Pas de doute sur les changements climatiques

Malgré l'absence de véritable consensus sur les causes des variations climatiques, on est bien forcé d'admettre qu'à l'échelle centennale, le réchauffement de la planète est une réalité.⁽¹⁾ Les déterminismes agissant au niveau mondial ne sont sans doute pas les mêmes que ceux agissant au niveau régional. Néanmoins, en Belgique, on a observé une augmentation de la température annuelle moyenne de 1 °C depuis le début du siècle (voir Fig. 1). Quant aux précipitations, même si les quantités absolues ont aussi augmenté de 7 % sur la même période, leurs variations interannuelles sont maintenant très importantes: cela veut dire qu'aux années très pluvieuses succèdent des années très sèches. En conséquence, depuis quinze ans, la fréquence des sécheresses a sensiblement augmenté. La dernière décennie pourrait marquer une nouvelle transition vers un régime encore plus chaud mais il est encore trop tôt pour l'affirmer avec certitude.⁽²⁾

Le climat au banc des accusés

Des températures estivales élevées associées à un déficit pluviométrique entraînent une perturbation de la photosynthèse et de l'alimentation minérale. Pendant l'automne, on a montré que des températures trop douces ne permettent pas un «endurcissement» suffisant des tissus ligneux qui deviennent alors sensibles aux gelées hivernales.⁽³⁾ D'autre part, une augmentation des températures hivernales provoque un réveil précoce de la végétation qui entraîne une sensibilité accrue aux gelées tardives.

Le climat est donc un facteur très probable de déclenchement du dépérissement. L'hypothèse peut être formulée de la manière suivante: tous les arbres réagissent à des événements climatiques stressants, seuls ceux affaiblis par des facteurs prédisposants (carences nutritionnelles, qualité génétique,...) entament un processus de dépérissement.

L'accroissement comme reflet de la vitalité

Afin d'étudier l'effet du climat sur le dépérissement, on utilise généralement l'accroissement annuel des arbres comme un reflet objectif et précis de leur vigueur. On détient alors un indice qui permet une interprétation rétrospective de l'évolution de la vitalité au cours du temps. La base de cette interprétation est la constitution de séries chronologiques de largeurs de cernes annuels. Néanmoins, l'accroissement est un indicateur qui intègre l'influence de plusieurs facteurs: âge, climat, traitement sylvicole,...⁽⁴⁾ Ceux-ci interagissent pour donner naissance à trois types de variations (voir l'encadré «Variations à long terme, moyen terme et court terme»). Toute la difficulté du traitement des données va être de séparer l'effet des différents facteurs influençant l'accroissement, ce qui est réalisé moyennant l'emploi de méthodes statistiques qui se sont développées à partir de la dendroclimatologie.

Apports de la dendroclimatologie

En dendroclimatologie, la variation de l'accroissement à long terme, qui est principalement due à l'âge, peut être soustraite par une procédure de stan-

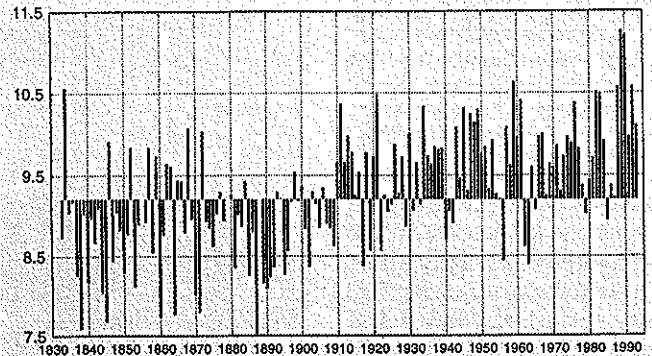


Figure 1.

Températures moyennes annuelles (°C) à Uccle de 1833 à 1993 : (graphique tiré de Sneyers et Vandiepenbeek (1995)⁽⁵⁾). Dans ce graphique, les températures annuelles sont représentées par rapport à leur moyenne calculée sur la période de 1833 à 1993. On voit clairement que les températures ont subi une hausse brusque entre 1890 et 1920.

Variations à long terme, moyen terme et court terme

Le graphique supérieur de la Fig. 2 illustre assez bien les types de variations rencontrées dans les séries d'accroissements annuels. Premièrement, la variation à long terme s'exprime sur toute la vie des arbres.

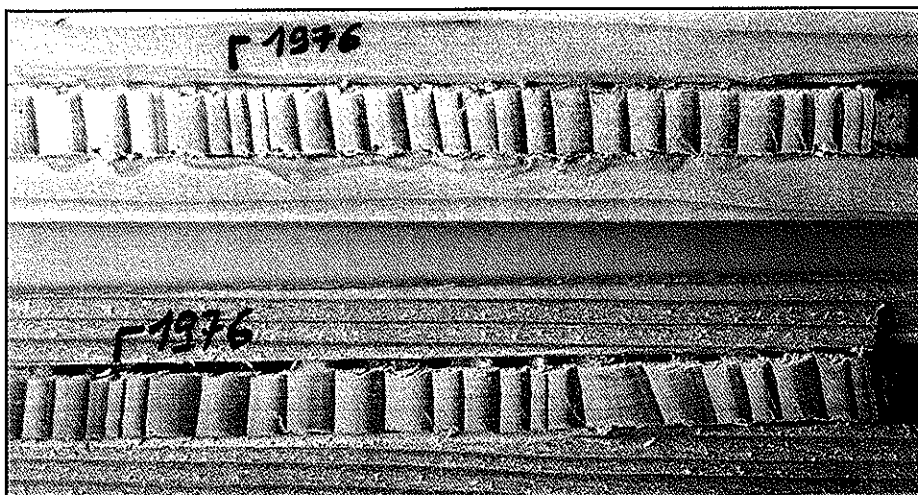
On observe généralement une décroissance exponentielle de l'accroissement dû à l'augmentation de l'âge. Les pollutions atmosphériques chroniques (CO₂, NH₄,...) peuvent théoriquement avoir un effet à long terme mais

cela n'a pas été démontré sans ambiguïté.⁽⁶⁾ Deuxièmement, les variations cycliques s'expriment au niveau de la décennie. A ce niveau, on retrouve l'effet du climat, de l'éclaircie, des attaques de pathogènes, de la phénologie,... Ces variations peuvent mettre en évidence l'occurrence de vagues de dépérissement.⁽⁷⁾

Troisièmement, on observe des variations annuelles dues à l'influence ponctuelle des facteurs cités ci-dessus.

dardisation.⁽⁸⁾ Pour ce faire, on calcule une courbe théorique qui s'ajuste à la tendance à long terme observée (Fig. 2 : graphe sup.). Ensuite, on divise chaque valeur observée annuellement par celle de la courbe théorique. Cela donne naissance à une série chronologique d'indices de croissance débarrassée de l'effet de l'âge (Fig. 2 : graphe inf.) et dont on se servira pour déterminer l'effet du climat sur l'accroissement.

L'effet du climat peut être modélisé par voie statistique. On détermine alors quelles sont les variables climatiques qui influencent le plus les indices de croissance: précipitations des mois d'été, température des mois d'hiver,...⁽⁹⁾ La sensibilité au climat sera fonction de l'espèce et de la station. Cette sensibilité peut évoluer dans le temps si le climat se fait plus contraignant ou si d'autres facteurs rentrent en interaction: pollution atmosphérique, éclaircie⁽¹⁰⁾,...



A gauche :

L'accroissement annuel peut être calculé à l'aide de «carottes» d'accroissements extraites par une tarière de Pressler. Sur cet échantillon, on montre l'année 1976 caractérisée par une sécheresse ayant entraîné un accroissement très faible. L'effet persiste en 1977 malgré un climat favorable.

A droite :

L'accroissement est relevé à l'aide d'une tarière de Pressler que l'on introduit perpendiculairement à l'arbre et qui permet d'extraire une «carotte» d'accroissement sur laquelle on peut calculer la largeur des cernes annuels.

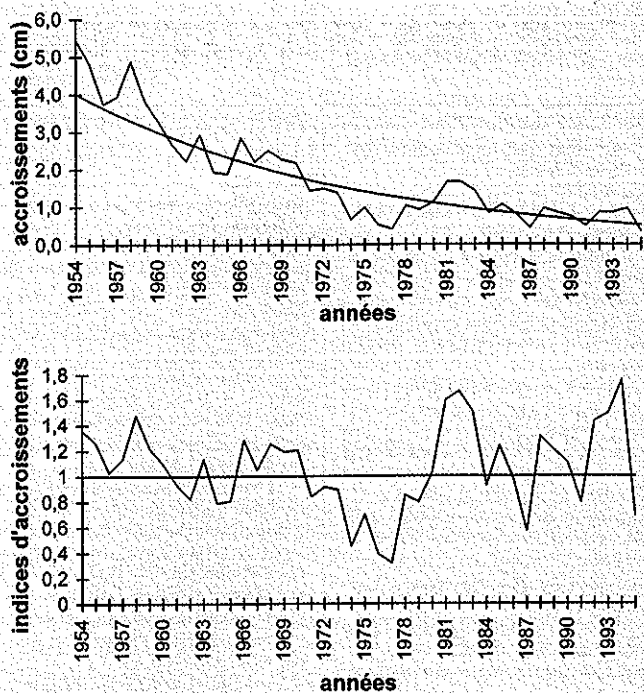


Figure 2.
Graphique supérieur: procédure de standardisation: courbe observée montrant les trois types de variation et courbe théorique s'ajustant à la tendance à long terme.
Graphique inférieur: courbe standardisée.

Lorsque le modèle climatique a été validé, on peut le soustraire de la courbe d'indice de croissance, pour obtenir une série résiduelle qui contient l'effet de ces autres facteurs. Il est difficile d'interpréter cette série résiduelle avec certitude sans la connaissance de l'historique du peuplement ou sa comparaison avec d'autres situations contrastées.

La dendroécologie: une science nouvelle

De ces comparaisons et interprétations est née la dendroécologie.⁽¹¹⁾ En première approche, on compare l'accroissement d'arbres appartenant à différents niveaux de défoliation ou décoloration.⁽¹²⁻¹³⁾ L'interprétation peut se faire en fonction d'autres variables si un grand nombre de peuplements est échantillonné: en fonction de la station⁽¹⁴⁾, de variables biométriques⁽¹⁷⁾ ou de la densité des peuplements.⁽¹⁵⁾ Ensuite, après séparation des effets du climat, on interprète des séries dendrochronologiques d'arbres soumis à différents niveaux de pollution atmosphérique.⁽¹⁶⁻¹⁷⁻¹⁸⁾ Rares furent les cas où un effet direct sur l'accroissement put être démontré sans ambiguïté. Actuellement, la dendroécologie rend des services dans l'étude des impacts d'éventuels changements climatiques sur les forêts.⁽¹⁹⁻²⁰⁻²¹⁾

Et en Région wallonne ?

Depuis peu, une étude est en cours à l'U.C.L. pour étudier la relation entre le climat et la vitalité de l'épicéa en Ardenne. Ce sont les techniques de la den-

droécologie décrites ci-dessus qui sont utilisées: dans notre région, c'est la première approche rigoureuse de ce problème effectuée sur cette espèce de grande importance économique. Afin de maîtriser un maximum de facteurs et d'isoler l'influence du climat des effets du traitement sylvicole, on a échantillonné des arbres dominants dans des placettes non éclaircies. L'âge des peuplements est d'environ 50 ans. Ces placettes font partie des 5 dispositifs expérimentaux sur la densité des peuplements résineux installés et suivis depuis 28 ans.⁽²²⁾

Comme on l'explique dans l'encadré «Indicateurs de stress», une première analyse descriptive montre une grande sensibilité de l'accroissement annuel à des facteurs limitants. On montre aussi que non seulement l'arbre réagit simultanément à un événement climatique particulier mais qu'en plus, l'effet persiste pendant un ou deux ans. C'est un processus déjà rencontré dans de nombreux cas et qui peut s'expliquer de différentes manières: réaction différée de la phénologie (fructification,...), régulation de la masse foliaire et de la couronne racinaire des arbres,...⁽⁸⁾

Modélisation et sciences forestières

En première approche, un modèle climatique simple basé sur la régression multiple a été calculé sur une période de 34 ans s'étendant de 1961 à 1994 (Fig. 3).

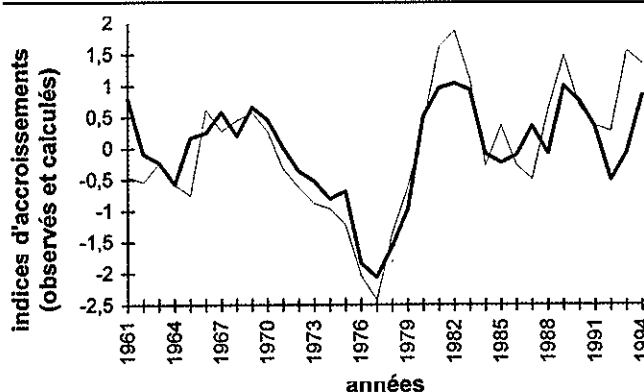


Figure 3.
Accroissement observé (trait plein) et modèle climatique (trait pointillé)

On arrive ainsi à expliquer 71% de l'accroissement²³. Ce modèle tient compte de l'effet des précipitations estivales, des températures maximum des mois d'été ainsi que de la température minimum des mois d'hiver.

Les résultats sont résumés dans le **tableau 1**: l'effet d'une variable climatique est significatif lorsque son niveau de probabilité est indicé par un astérisque. On remarque que l'effet des précipitations et des températures maximum persiste pendant un an. L'effet des températures minimum d'hiver persiste pendant deux ans. D'autre part, le signe du coefficient de régression indique le sens dans lequel agit la variable climatique sur l'accroissement: le signe des précipitations et températures estivales montre bien l'effet des sécheresses. En ce qui concerne les températures minimum en hiver, plus elles sont élevées et plus l'accroissement est faible.

Ces résultats montrent l'intérêt d'une telle approche. Il est inquiétant de

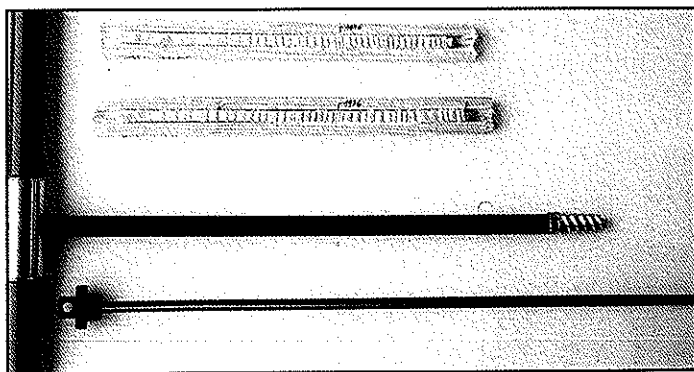
Indicateurs de stress

La description des séries d'accroissements annuels se fait à l'aide d'indicateurs comme la sensibilité moyenne ou le pourcentage d'années caractéristiques.

La *sensibilité moyenne* est la différence moyenne d'accroissement d'une année à l'autre exprimée en pourcent. Cet indicateur montre l'intensité des variations interannuelles de l'accroissement. Dans notre cas, cet indicateur atteint 23%, ce qui est caractéristique de la présence d'un facteur limitant.⁽⁸⁾ Néanmoins, cela ne donne aucune certitude sur la nature de ce facteur. On peut par exemple envisager une inadéquation de l'essence à la

station qui peut être trop sèche ou trop fraîche. Dans cette situation, le climat devient limitant et l'occurrence d'un stress climatique se marque fortement sur l'accroissement.

D'autre part, le *pourcentage d'années caractéristiques* est la proportion d'années pour lesquelles l'accroissement d'un grand nombre d'arbres réagit de la même manière.⁽²⁴⁾ Une telle évolution dans l'accroissement est caractéristique de la sensibilité à un facteur limitant. Cet indicateur peut être calculé à l'échelle d'un peuplement ou d'une région. Dans notre étude, sur la période s'étendant de 1960 à 1994, plus d'un tiers des années répond à ce critère.



voir la relation étroite qu'il y a entre les températures élevées quelle que soit la saison et les chutes d'accroissement, aux vu des changements climatiques auxquels on pourrait s'attendre dans les prochaines décennies. On s'est alors tourné vers la recherche de techniques de sylviculture permettant d'accroître la résistance des arbres aux agressions climatiques.

Tableau 1. Paramètres du modèle

Variables climatiques	Coefficient de régression	Niveau de probabilité
Prec été: (juin+juillet+août)	0.10	0.009*
Prec été -1	0.08	0.004*
Prec été -2	0.08	0.093
Temp max été: (juillet+août+sept)/3	-0.12	0.004*
Temp max été -1	-0.16	0.005*
Temp max été -2	-0.01	0.551
Temp min hiver: (janvier+février)/2	-0.11	0.003*
Temp min hiver -1	0.10	0.288
Temp min hiver -2	-0.09	0.005*

Quelle sylviculture pour améliorer la santé des peuplements ?

Cette recherche a pour second objectif de tester l'efficacité de l'éclaircie comme moyen d'améliorer la vitalité des arbres. En effet, dans les traitements fortement éclaircis, c'est l'ensemble du milieu forestier qui se modifie profondément dans un sens positif affectant le microclimat, la pédofaune, la végétation herbacée et les processus de minéralisation de la litière. En parallèle, on note une modification de la physiologie des arbres qui s'observe tant au niveau de la dendrométrie que de l'anatomie.⁽²²⁾ On est alors tenté d'associer ces modifications à une augmentation de la vitalité des arbres qui leur procurerait une résistance accrue à des événements climatiques stressants.

Les dispositifs expérimentaux cités ci-dessus contiennent des placettes éclaircies à intensité différentes et dont l'historique des traitements sylvicoles est connu avec précision. Dans ces placettes, on a relevé l'accroissement annuel au cours des 30 dernières années. On appliquera aux nouvelles séries, le modèle validé dans la première étape du travail. La modification des paramètres du modèle climatique montrera quelle est l'interaction de l'éclaircie sur la relation entre le climat et l'accroissement.

L. MISSON & P. ANDRÉ

Université catholique de Louvain, Unité des Eaux & Forêts
Place Croix du Sud 2 bte 9 - 1348 Louvain-la-Neuve



Bibliographie

- (1) BERGER, A. 1992. Le climat de la terre. Un passé pour quel avenir ? De Boeck-Wesmael, Bruxelles.
- (2) ETAT DE L'ENVIRONNEMENT WALLON. 1994. Ministère de la Région Wallonne, Direction Générale des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGNRE).
- (3) SNEYERS, R., VANDIEPENBEECK, M. 1995. Notice sur les climats de la Belgique. Inst. R. Mët. de Belgique, Publ. N. 002.
- (4) AUSSENAC, G., GUEHL, J.-M. 1994. Dépérissements et accidents climatiques. Rev. For. Franç. 46(5): 458-470.
- (5) COOK, E.R. 1987. The decomposition of tree-ring series for environmental studies. Tree-Ring Bull. 47:37-60.
- (6) BECKER, M., NIEMINEN, T.M., GEREMA, F. 1994. Short term variations and long term changes in oak productivity in northeastern France. The role of climate and atmospheric CO2. Ann. Sci. For. 51:477-492.
- (7) BERT, G.D., BECKER, M. 1990. Vitalité actuelle et passée du sapin (*Abies alba* Mill.) dans le Jura. Etude dendroécologique. Ann. sci. For. 47: 395-412.
- (8) FRITS, H.C. 1976. Tree ring and climate. Academic Press, New York.
- (9) COOK, E.R., KAHRIUKSTIS, L.A. 1990. Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic publishers, London.
- (10) INNES, J.L., COOK, E.R. 1989. Tree-ring analysis as an aid to evaluating the effects of pollution on tree growth. Can. J. For. Res. 19: 1174-1189.
- (11) FRITS, H.C., SWETNAM, T.W. 1989. Dendroecology: A tool for evaluating variations in past and present forests environments. Adv. Ecol. Res. 19: 111-188.
- (12) VAN DER STEGEN, J., DUTILLEUL, P., WEISSEN F. 1989. Répercussion des symptômes du dépérissement sur la croissance des épicéas. Silva Belgica 96(3): 17-22.
- (13) ECKSTEIN, D., FRAUSE, C., BAUCH, J. 1989. Dendroecological investigation of spruce trees (*Picea abies* (L.) Karst.) of different damage and canopy classes. Holzforschung 43(6): 411-417.
- (14) BECKER, M., LEVI, G. 1988. A propos du dépérissement des forêts: climat, sylviculture et vitalité de la sapinière vosgienne. Rev. For. Franç. 40(5): 345-358.
- (15) BADEAU, V., DUPOUEY, J.L., BECKER, M., PICARD, J.F. 1995. Long-term trends of *Fagus syl-*

valica L. in northeastern France. A comparison between high and low density stands. Acta Oecologica, 16 (5): 571-583.

(16) TESSIER, L., SERRE-BACHET, F., GUIOT, J. 1990. Pollution fluorée et croissance radiale des conifères en Maurienne (Savoie, France). Ann. Sci. For. 47: 309-323.

(17) LEBLANC, D.C., 1993. Temporal and spatial variation of oak growth-climate relationship along a pollution gradient in the midwestern United States. Can. J. For. Res. 23: 772-782.

(18) SANDER, C., ECKSTEIN, D., KYNGL, J., DOBRY, J. 1995. Croissance de l'épicéa commun (*Picea abies* (L.) Karst.) dans les monts Krkonose. détermination par la mesure de la largeur des cernes et de la densité du bois. Ann. Sci. for. 52: 401-410.

(19) FRITS, H.C., DEAN, S. 1992. Dendrochronological modelling of the effects of climatic change on tree-ring width chronologies from the Chaco canyon area, Southwestern United States. Tree-Ring Bull. 52: 31-58.

(20) LEBLANC, D.C., FOSTER, J.R. 1992. Predicting effects of global warming on growth and mortality of upland oak species in the midwestern United States: a physiologically based dendroecological approach. Can. J. For. Res. 22: 1739-1752.

(21) PANAND, Y., RAÏNAL, D.J. 1995. Predicting growth of plantation conifer in the Adirondack mountain in response to climate change. Can. J. For. Res. 25: 48-56.

(22) ANDRÉ, P., BUCHET, V., MERTENS, P., LHOIR, P. 1994. Intensité de l'éclaircie en futaie résineuse. Université catholique de Louvain, Faculté des sciences agronomiques, Unité des eaux et forêts. n°17.

(23) SCHWEINGRUBER, F.H. 1988. Tree-rings. Basic and applications of dendrochronology. D. Reidel Publishing Company.

NOTA :

(*) - Les variables biométriques mesurées sont la largeur d'aubier, la longueur relative du boupplier et la concurrence en cime.

(**) - Une partie de la persistance de l'effet du climat sur l'accroissement à été modélisée à part et explique 55 % de la variation. L'effet du climat proprement dit participe pour 17 %. Les résidus (28 %) contiennent l'effet d'autres facteurs: phénologie, attaques de pathogènes, ... Ce modèle constitue une première approche et nécessite quelques perfectionnements avant d'être définitivement validé pour pouvoir servir d'outil de prévision fiable de l'impact d'éventuels changements climatiques sur la vitalité des arbres.