



HAL
open science

Tendances à long terme observées dans la croissance de divers feuillus et résineux du nord-est de la France depuis le milieu du XIX^e siècle

Michel Becker, Guy-Didier Bert, J. Bouchon, Jean-François Picard, Erwin Ulrich

► **To cite this version:**

Michel Becker, Guy-Didier Bert, J. Bouchon, Jean-François Picard, Erwin Ulrich. Tendances à long terme observées dans la croissance de divers feuillus et résineux du nord-est de la France depuis le milieu du XIX^e siècle. *Revue forestière française*, 1994, 46 (4), pp.335-341. <10.4267/2042/26552>. <hal-03443846>

HAL Id: hal-03443846

<https://hal.science/hal-03443846v1>

Submitted on 23 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

biologie et forêt

TENDANCES À LONG TERME OBSERVÉES DANS LA CROISSANCE DE DIVERS FEUILLUS ET RÉSINEUX DU NORD-EST DE LA FRANCE DEPUIS LE MILIEU DU XIX^e SIÈCLE

M. BECKER - G.D. BERT - J. BOUCHON
J.-F. PICARD - E. ULRICH

Au cours des dernières années, la question des changements globaux est devenue un sujet de préoccupation grandissante en Europe aussi bien qu'en Amérique du Nord. Selon divers auteurs, ces changements globaux, dus à l'augmentation de la concentration dans l'atmosphère de gaz dits « à effet de serre », devraient se traduire par un réchauffement moyen de 1,5 à 4 °C d'ici 2050 (Washington et Meehl, 1984 ; Wetherald et Manabe, 1986 ; Wilson et Mitchell, 1987 ; Schlesinger et Zhao, 1987 ; Wigley et Raper, 1992). Parmi ces gaz à effet de serre, le gaz carbonique (CO₂) est le plus important. Une des questions qui se posent est la suivante : comment cette augmentation du taux de CO₂ atmosphérique va-t-elle se répercuter sur le fonctionnement des écosystèmes, en particulier sur celui des écosystèmes forestiers ? Cette influence sera-t-elle seulement **directe**, par une amélioration de la photosynthèse — on sait en effet que le CO₂ est un facteur limitant de la croissance chez la plupart des végétaux — ou également **indirecte**, via un changement des conditions climatiques (principalement la température et les précipitations) ?

En fait, de telles interrogations sur les conséquences possibles des changements globaux ne devraient pas être totalement nouvelles. On sait en effet déjà que la concentration en CO₂ atmosphérique est passée d'environ 280 ppm en 1850 à 360 ppm en 1993, et qu'elle augmente de plus en plus vite actuellement (Boden *et al.*, 1991). Par ailleurs, une tendance positive à long terme de l'évolution de la température moyenne de l'hémisphère Nord a été mise en évidence par le Climate Research Unit d'East Anglia en Grande-Bretagne : environ + 0,7 °C depuis 1880 (Jones *et al.*, 1986). Il est donc permis de se demander si ces changements ne se sont pas déjà traduits par des réactions sensibles des écosystèmes forestiers et, si oui, il apparaît important d'analyser et de quantifier ces réactions.

La dendrochronologie s'est avérée un outil fort efficace dans l'analyse du fonctionnement et des perturbations des écosystèmes forestiers. C'est ainsi qu'elle a permis, dans le contexte du programme français DEFORPA, de mettre en évidence divers facteurs responsables du dépérissement de nombreuses forêts des montagnes du Nord-Est de la France. Parmi ces facteurs figurent en particulier des années sèches répétées, ainsi que des pratiques sylvicoles inadaptées qui amènent les peuplements à un état de densité d'arbres excessive (Becker, 1987 ; Bert, 1992).

Nous avons utilisé ce même outil, la dendrochronologie, pour rechercher d'éventuelles modifications à long terme, à savoir à l'échelle du siècle, de la croissance radiale des forêts naturelles des mêmes régions. Nous résumons ici les principaux résultats que ces investigations ont permis d'obtenir.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Cinq espèces d'arbres et trois régions ont fait l'objet de telles études dendrochronologiques. Ces études ont toutes en commun un échantillonnage très abondant d'arbres issus de nombreux peuplements, choisis de façon à traduire au mieux la variabilité écologique des régions prospectées (altitude, exposition, topographie, sol, végétation). De plus, afin de pouvoir ultérieurement séparer les effets sur la croissance radiale du vieillissement naturel des arbres de ceux liés éventuellement à l'année calendaire, les peuplements ont été choisis d'âges très variés, entre 20 ans et 200 ans et plus. Selon les études, 5 à 12 arbres dominants ou codominants ont été carottés jusqu'à la moelle, avec une ou deux carottes par arbre. Au total, les échantillons étudiés comprennent :

- 1 475 Sapins pectinés (*Abies alba* Mill.), avec une carotte par arbre, dans 277 placettes du Massif vosgien ;
- 1 275 Sapins pectinés, avec une carotte par arbre, dans 208 placettes du Massif du Jura ;
- 1 050 Épicéas communs [*Picea abies* (L.) Karst], avec une carotte par arbre, dans 181 placettes des Vosges ;
- 947 Hêtres communs (*Fagus sylvatica* L.), avec une carotte par arbre, dans 155 placettes des Vosges ;
- 529 Chênes sessiles [*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.] avec deux carottes par arbre, dans 121 placettes du Plateau lorrain ;
- 505 Chênes pédonculés (*Quercus robur* L.), avec deux carottes par arbre, dans 115 placettes du Plateau lorrain.

Les largeurs de cerne d'accroissement annuel ont été mesurées avec un appareil informatisé spécifique, puis soigneusement « interdatées » (= synchronisées), avec l'aide d'années caractéristiques progressivement mises en évidence. Puis on a calculé la surface de chacun des cernes, à partir de leur largeur et de leur distance à la moelle. La surface des cernes (BAI = *basal area increment*) est souvent préférée à la largeur dans les études dendroécologiques : pour des raisons purement géométriques, elle minimise en effet l'effet du vieillissement ; de plus, elle est plus directement proportionnelle à la croissance en volume. Enfin, de façon à compenser la part restante de variation liée au vieillissement, les accroissements en surface annuels ont été « standardisés », c'est-à-dire convertis en indices, exprimés en pourcentage, en fonction de l'âge courant (= âge cambial) de chaque cerne. Cette standardisation s'est opérée en trois étapes successives pour chaque étude :

- Le calcul du BAI moyen à chaque âge cambial, de 1 à 200 ans et plus, sur l'ensemble de l'échantillon ; comme l'âge actuel des arbres était très varié, à chaque âge cambial correspondaient des cernes élaborés à des dates très variées, et donc dans des conditions écologiques, sylvicoles et météorologiques elles-mêmes très variées, dont les effets opposés sur la croissance s'annulaient mutuellement.

- L'ajustement curvilinéaire de la courbe ainsi obtenue à un modèle mathématique, en une ou plusieurs parties selon sa complexité ; cet ajustement exprime ainsi la loi biologique moyenne liant la croissance radiale à l'âge cambial au cours de la période couverte par l'échantillon.

- Le calcul des indices de croissance radiale I_c , rapports des BAI bruts aux BAI estimés correspondants sur la courbe ajustée.

RÉSULTATS

Les figures 1 à 6 (ci-contre et p. 338) indiquent, pour chaque région et chaque espèce, l'évolution dans le temps des indices moyens de croissance radiale donc, en principe, celle du potentiel de croissance depuis le milieu du XIX^e siècle. Toutes les courbes obtenues montrent d'importantes variations interannuelles et de nettes périodes de dépression de la croissance à l'échelle de la décennie ; ces variations de haute et moyenne fréquence ont été analysées par ailleurs, dans le cadre des études sur le dépérissement des forêts. Mais toutes ces courbes mettent aussi en évidence une tendance positive très importante à long terme. Les niveaux suivants d'augmentation ont été établis à partir d'ajustements polynomiaux de ces courbes :

- Sapin dans les Vosges : + 160 % entre 1850 et 1986 ; un plateau s'observe de 1930 à 1982, suivi d'une augmentation considérable depuis 1983 (Becker, 1989a).

- Sapin dans le Jura : augmentation comparable, + 130 % de 1865 à 1988, avec le même plateau à partir de 1930 (Bert et Becker, 1990 ; Bert, 1992).

- Épicéa dans les Vosges : augmentation soutenue de + 130 % de 1865 à 1988.

Figure 1
CROISSANCE RADIALE DU SAPIN DANS LES VOSGES

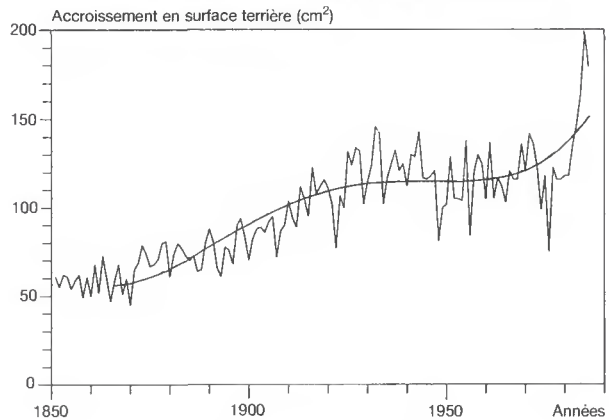


Figure 2
CROISSANCE RADIALE DU SAPIN DANS LE JURA

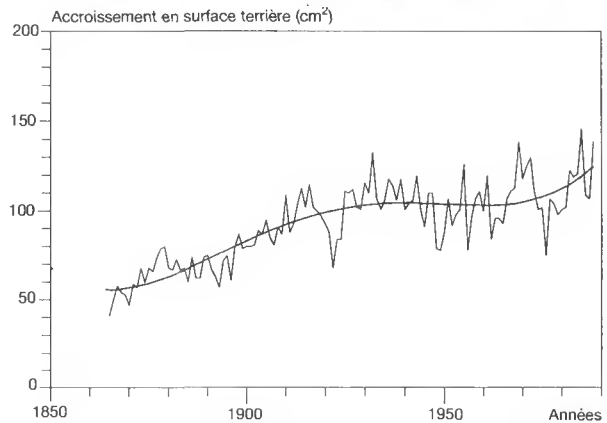


Figure 3
CROISSANCE RADIALE DE L'ÉPICÉA DANS LES VOSGES

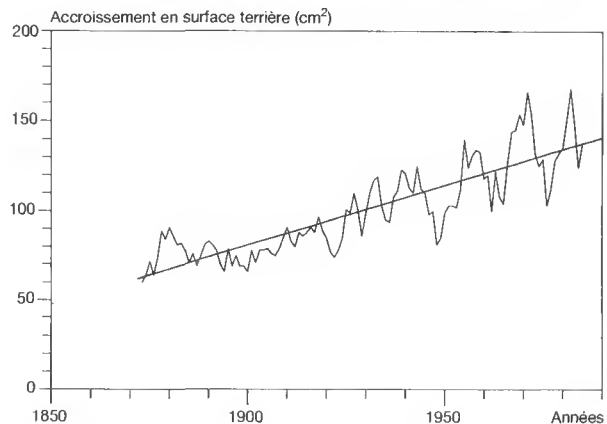


Figure 4
CROISSANCE RADIALE DU HÊTRE DANS LES VOSGES

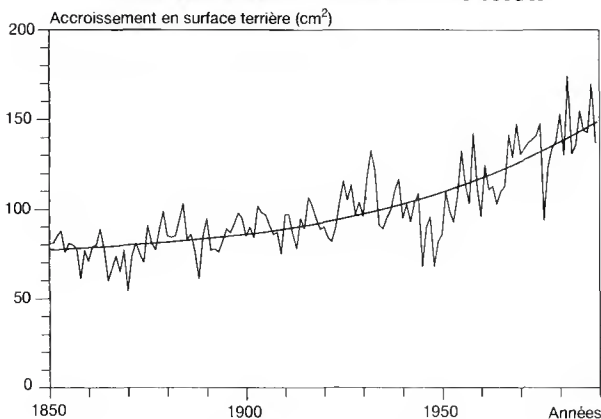


Figure 5
CROISSANCE RADIALE DU CHÊNE SESSILE
SUR LE PLATEAU LORRAIN

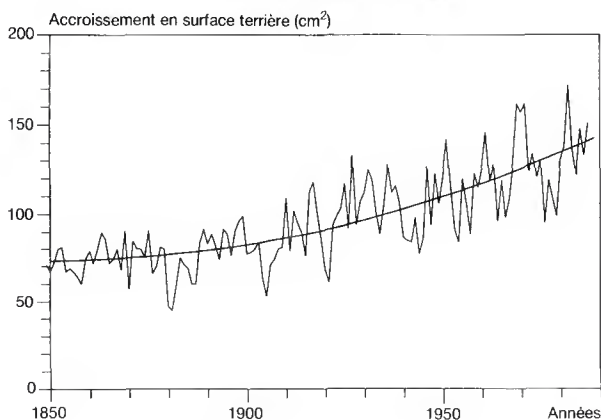
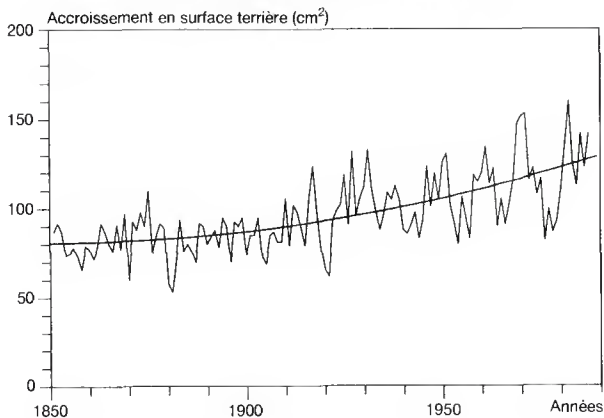


Figure 6
CROISSANCE RADIALE DU CHÊNE PÉDONCULÉ
SUR LE PLATEAU LORRAIN



— Hêtre dans les Vosges : + 90 % de 1850 à 1990, avec une nette accélération du phénomène depuis 1950 (Picard, 1994).

— Chêne sessile sur le Plateau lorrain : + 90 % de 1850 à 1987, avec une accélération continue depuis 1850 (Becker *et al.*, 1994).

— Chêne pédonculé sur le Plateau lorrain : + 55 % « seulement » de 1850 à 1987 (Becker *et al.*, 1994).

À partir de données météorologiques du poste de Strasbourg (précipitations mensuelles et températures moyennes mensuelles, disponibles depuis 1881) et en utilisant une technique de régression progressive pas à pas, un modèle climatique a été établi pour le Sapin pectiné dans les Vosges (Becker, 1989b). Ce modèle explique 79 % de la variance pour la période 1887-1983. Il inclut non seulement des paramètres climatiques de l'année n (année de formation du cerne), mais aussi des paramètres des années $n - 1$ à $n - 6$. Ce modèle reconstruit de façon très satisfaisante aussi bien la tendance à long terme que les dépressions épisodiques de la croissance à l'échelle de la décennie. Ainsi, dans ce cas, l'ensemble de la variabilité observée est-elle essentiellement sous déterminisme climatique, sauf cependant depuis 1983 ; à partir de cette date, en effet, on observe une véritable « explosion » de la croissance du Sapin dans les Vosges, pour l'instant sans explications totalement convaincantes (Becker, 1989a). À partir de ce premier exemple, on est tenté de penser que le rôle de l'augmentation du CO_2 atmosphérique sur la croissance des arbres est davantage indirect que direct.

Mais la mise en œuvre de la même approche méthodologique pour le Sapin dans le Jura nous a conduits à une conclusion quelque peu différente. Dans ce cas, il n'a pas été possible de modéliser de façon très satisfaisante la tendance à long terme observée à partir des seules données climatologiques (celles de Besançon, Neuchâtel et Genève). Par contre, l'introduction des données connues de CO₂ atmosphérique dans le modèle a permis de porter le taux de variance expliquée à 88,7 %. Ici aussi, on constate que certains paramètres météorologiques influent sur la croissance radiale pendant six années consécutives.

De la même façon, nous avons été conduits à introduire le CO₂ dans les modèles élaborés pour le Chêne sessile et pour le Chêne pédonculé du Plateau lorrain ; ces modèles utilisent les données météorologiques de Nancy. Pour ces deux espèces, la variance expliquée s'élève respectivement à 78 % et à 73 %, avec des arrière-effets de 4 ans et 5 ans de certains paramètres météorologiques.

Au total, la plupart des modèles actuellement élaborés utilisent le CO₂ atmosphérique pour une meilleure reconstruction des tendances à long terme observées.

DISCUSSION

Hors de France, diverses études dendrochronologiques récentes suggèrent également que la productivité de divers écosystèmes forestiers a augmenté de façon significative au cours du siècle écoulé. Cette augmentation a été observée dans les forêts boréales d'Europe (Hari *et al.*, 1984 ; Kauppi *et al.*, 1992) et d'Amérique du Nord (Jozsa et Powell, 1987 ; d'Arrigo *et al.*, 1987), ainsi que dans les forêts de montagne de la zone tempérée (Lamarque *et al.*, 1984 ; Graumlich *et al.*, 1989 ; Peterson *et al.*, 1990 ; Briffa, 1992). Les exemples de conclusions similaires basés sur l'étude de forêts de l'étage collinéen de la zone tempérée sont plus rares (Wagener *et al.*, 1983). Avec une approche méthodologique différente, Kenk *et al.* (1989) ont obtenu un résultat comparable en Forêt-Noire, par la comparaison directe de la production ligneuse totale de deux générations successives d'Épicéa sur les mêmes placettes permanentes.

Une certaine incertitude demeure cependant quant à l'interprétation des résultats présentés ici. On peut légitimement s'étonner de l'ampleur des augmentations observées. Deux types de questions peuvent être débattus dans la recherche d'un biais éventuel. Tous deux se rapportent à la pertinence des échantillons d'arbres étudiés.

La première question porte sur la structure spatiale de l'échantillon et sur la diversité écologique des stations correspondantes. On peut en effet suspecter que les arbres très vieux se rencontrent préférentiellement dans les stations défavorables : à moins d'être compensée par une compétition plus faible, la croissance radiale y est plus lente et l'âge d'exploitabilité est atteint plus tardivement.

La seconde question concerne la structure interne des peuplements échantillonnés et la représentativité des arbres choisis. On peut en effet se demander si les vieux arbres disponibles et choisis aujourd'hui auraient été choisis avec la même probabilité si l'étude avait eu lieu 40 ou 80 ans auparavant, par exemple. Il est bien difficile de l'affirmer. On sait cependant qu'à moins de perturbations locales majeures (problème phytosanitaire, tempêtes...) ou une intervention délibérée mais tout à fait inhabituelle du forestier, la hiérarchie sociale des arbres n'est guère bouleversée tout au long de leur vie, tout au moins dans les peuplements plus ou moins équiennes.

Dans le cas du Jura, par exemple, un traitement initial indifférencié des données suggérerait une augmentation peu réaliste du niveau de croissance (+ 400 %). Ceci tenait au fait que les arbres les plus vieux disponibles dans l'échantillon global (n = 1 275) étaient le plus souvent situés en

altitude, dans des stations difficiles, et traités en futaie jardinée. C'est pourquoi la courbe présentée ici (figure 2, p. 337) porte en fait sur un sous-échantillon de 351 arbres sélectionnés selon des critères sévères : futaie régulière typique, âge inférieur à 150 ans, altitude comprise entre 900 et 1 100 m. Dans les autres exemples présentés, les divers essais de stratification réalisés pour déceler d'éventuels biais ne se sont pas traduits par des changements sensibles dans les courbes moyennes obtenues.

Si l'existence d'une forte augmentation du niveau de productivité des écosystèmes forestiers d'Europe tempérée semble ainsi hautement probable, les mécanismes physiologiques sous-jacents ne sont pas évidents. Les études expérimentales menées jusqu'à présent pour éprouver l'effet d'atmosphères enrichies en CO₂ ont livré des résultats parfois contradictoires. La plupart révèle cependant des effets positifs plus ou moins importants (Norby *et al.*, 1986 ; Brown et Higginbotham, 1986, Luxmoore *et al.*, 1986 ; Gaudillère et Mousseau, 1989 ; Mousseau *et al.*, 1992). Il faut aussi considérer que l'importance accordée au CO₂ atmosphérique dans les modèles présentés plus haut est pour le moment purement statistique. D'autres facteurs, certains corrélés au CO₂, pourraient avoir joué aussi un certain rôle, tels que d'autres gaz à effet de serre et/ou les dépôts azotés (Kenk et Fischer, 1988). Il apparaît donc nécessaire de multiplier les études s'attachant à quantifier l'impact des changements environnementaux sur la physiologie des arbres, non seulement au stade semis et jeunes plants mais aussi chez les arbres adultes et les peuplements qu'ils constituent. De telles recherches apparaissent d'une priorité majeure dans la perspective des changements globaux à venir.

Quoi qu'il en soit, en dépit des incertitudes qui demeurent, il apparaît hautement probable que les écosystèmes forestiers, du moins ceux de la zone tempérée, ont d'ores et déjà fortement répondu aux changements des conditions environnementales liés aux activités humaines depuis le milieu du XIX^e siècle.

M. BECKER, G.D. BERT, J. BOUCHON, J.-F. PICARD
INRA - CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES
F-54280 CHAMPENOUX

E. ULRICH
Département des Recherches techniques
OFFICE NATIONAL DES FORÊTS
Boulevard de Constance
F-77300 FONTAINEBLEAU

BIBLIOGRAPHIE

- BECKER (M.). — Bilan de santé actuel et rétrospectif du Sapin (*Abies alba* Mill.) dans les Vosges. Étude écologique et dendrochronologique. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 44, 1987, pp. 379-402.
- BECKER (M.). — Le Dépérissement des forêts : importance du climat et de la sylviculture. — *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, vol. 75, n° 5, 1989a, pp. 11-28.
- BECKER (M.). — The role of climate on present and past vitality of silver fir forests in the Vosges mountains of northeastern France. — *Canadian Journal of Forest Research*, 19, 1989b, pp. 1110-1117.

- BECKER (M.), NIEMINEN (T.M.), GÉRÉMIA (F.). — Short-term variations and long-term changes in oak productivity in northeastern France. The role of climate and atmospheric CO₂. — *Annales des Sciences forestières*, 1994 (sous presse).
- BERT (G.D.). — Influence du climat, des facteurs stationnels et de la pollution sur la croissance et l'état sanitaire du Sapin (*Abies alba* Mill.) dans le massif du Jura. Étude phytocéologique et dendrochronologique. — Nancy : Université de Nancy I, 1992. — 110 p. + annexes (Thèse).
- BERT (G.D.), BECKER (M.). — Vitalité actuelle et passée du Sapin (*Abies alba* Mill.) dans le Jura. Étude dendroécologique. — *Annales des Sciences forestières*, vol. 47, 1990, pp. 395-412.
- BODEN (T.A.), SEPANSKI (R.J.), STOSS (F.W.) Eds. — Trends 91 : a compendium of Data on Global Change. — Carbon Dioxide Analysis Center - Oak Ridge National Laboratory, 1991. — 700 p. (ORNL/CDIAC-46).
- BRIFFA (K.R.). — Increasing productivity of « natural growth » conifers in Europe over the last century. In : Tree rings and Environment. Proceedings International Dendrochronological Symposium, Ystad (Sweden), 3-9 September 1990. — *Lundqua Report*, 34, 1992, pp. 64-71.
- BROWN (K.), HIGGINBOTHAM (K.O.). — Effects of carbon dioxide enrichment and nitrogen supply on growth of boreal tree seedlings. — *Tree Physiology*, 2, 1986, pp. 223-232.
- D'ARRIGO (R.), JACOBY (G.C.), FUNG (I.Y.). — Boreal forests and atmosphere-biosphere exchange of carbon dioxide. — *Nature*, n° 239, 1987, pp. 321-323.
- GAUDILLÈRE (J.-P.), MOUSSEAU (M.). — Short term effect of CO₂ enrichment on leaf development and gas exchange of young poplars (*Populus euramericana* cv I 214). — *Acta Oecologica. Oecologia plantarum*, 10, 1989, pp. 95-105.
- GRAUMLICH (L.J.), BRUBAKER (L.B.), GRIER (C.C.). — Long-term trends in forest net primary productivity : Cascade Mountains, Washington. — *Ecology*, 70, 1989, pp. 405-410.
- HARI (P.), AROVAARA (H.), RAUNEMAA (T.), HAUTOJÄRVI (A.). — Forest growth and the effects of energy production : a method for detecting trends in the growth potential of trees. — *Canadian Journal of Forest Research*, 14, 1984, pp. 437-440.
- JONES (P.D.), RAPER (S.C.B.), BRADLEY (R.S.), DIAZ (H.F.), KELLY (P.M.), WIGLEY (T.M.L.). — Northern Hemisphere surface air temperature variations : 1851-1984. — *Journal of Climate and Applied Meteorology*, 25, 1986, pp. 161-179.
- JOZSA (L.A.), POWELL (J.M.). — Some climatic aspects of biomass productivity of white spruce stem wood. — *Canadian Journal of Forest Research*, 17, 1987, pp. 1075-1079.
- KAUPPI (P.), MIELIKÄINEN (K.), KUUELA (K.). — Biomass and carbon budget of European forests, 1971 to 1990. — *Science*, 256, 1992, pp. 70-74.
- KENK (G.), FISCHER (H.). — Evidence from nitrogen fertilization in the forests of Germany. — *Env. Poll.*, 54, 1988, pp. 199-218.
- KENK (G.), ROMMEL (W.D.), SPIECKER (H.). — Weitere Ergebnisse zum aktuellen und früheren Wachstumsverhalten von Fichten. — *KfK-PEF*, vol. 50, n° 1, 1989, pp. 117-126.
- LAMARCHE (V.C.), GRAYBILL (D.A.), FRITTS (H.C.), ROSE (M.R.). — Increasing atmospheric carbon dioxide : tree ring evidence for growth enhancement in natural vegetation. — *Science*, 225, 1984, pp. 1019-1021.
- LUXMOORE (R.J.), NORBY (R.J.), O'NEILL (E.G.). — Seedling tree response to nutrient stress under atmospheric CO₂ enrichment. In : 18^e Congrès mondial de l'IUFRO, Division 1, vol. 2, 1986, pp. 178-183.
- MOUSSEAU (M.), EL KOHEN (A.), ROUHIER (H.). — Changes in dry weight and nitrogen partitioning induced by elevated CO₂ depend on soil nutrient availability in sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.). In : 6th European Ecological Congress, Marseille, 7-12 septembre 1992. — *Mésogée*, 52, 1992, 51 p.
- NORBY (R.J.), PASTOR (J.), MELILLO (J.M.). — Carbon-nitrogen interactions in CO₂-enrichment white oak : physiological and long-term perspectives. — *Tree Physiol.*, 2, 1986, pp. 233-241.
- PETERSON (D.L.), ARBAUGH (M.J.), ROBINSON (L.J.), DERDERIAN (B.R.). — Growth trends of whitebark pine and lodgepole pine in a subalpine Sierra Nevada forest, California, USA. — *Arctic and Alpine Research*, 22, 1990, pp. 233-243.
- PICARD (J.-F.). — Évolution de la croissance radiale du Hêtre (*Fagus sylvatica* L.) dans les Vosges. Premiers résultats sur le versant lorrain. — *Annales des Sciences forestières*, 1994 (sous presse).
- SCHLESINGER (M.E.), ZHAO (Z.). — Seasonal climate changes induced by doubled CO₂ as simulated by the OSU atmospheric OCM/mixed layer model. — Corvallis : Oregon State University - Clim. Institute, 1987. — 73 p. (Report 70).
- WAGENER (K.A.), DE LUCA REBELLO (A.), HOLLSTEIN (E.). — Increasing productivity in recent European oak trees. — *Radiation and Environmental Biophysics*, 22, 1983, pp. 303-310.
- WASHINGTON (W.M.), MEEHL (G.A.). — A seasonal cycle experiment on the climate sensitivity due to a doubling of CO₂ with an atmospheric general circulation model coupled to a mixed layer ocean model. — *J. Geophys. Res.*, 89, 1984, pp. 9475-9503.
- WETHERALD (R.T.), MANABE (S.). — An investigation of cloud layer change in response to thermal forcing. — *Clim. Change*, 8, 1986, pp. 5-24.
- WIGLEY (T.M.L.), RAPER (S.C.B.). — Implications for climate and sea level of revised IPCC emissions scenarios. — *Nature*, 357, 1992, pp. 293-300.
- WILSON (C.A.), MITCHELL (J.F.B.). — A doubled CO₂ climate sensitivity experiment with a GCM including a simple ocean. — *J. Geophys. Res.*, 92, 1987, pp. 315-343.