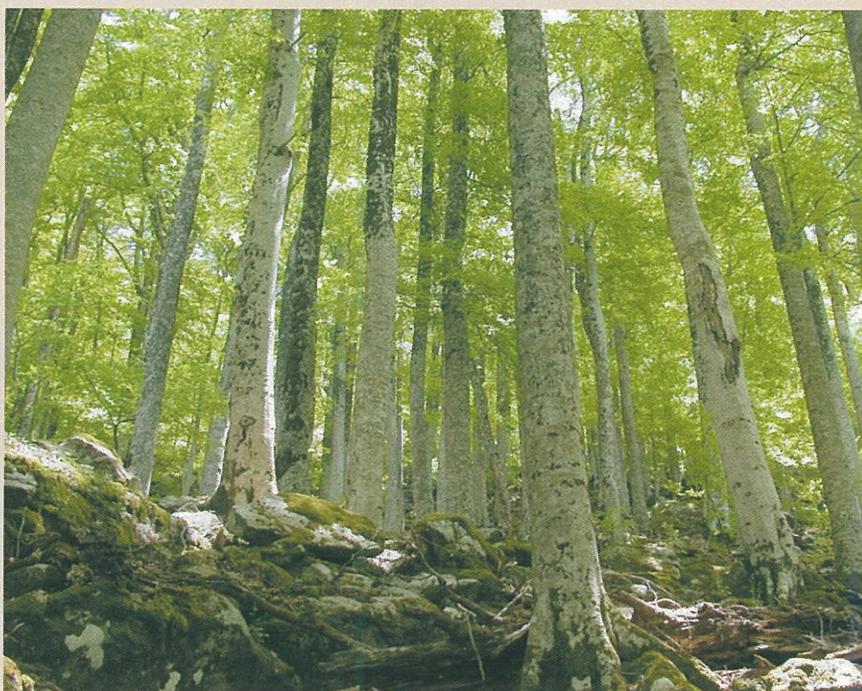


# Augmentation de la productivité des forêts françaises : bilan actuel et conséquences prévisibles

François Lebourgeois, ENGREF (1)

*En France, il ne fait plus aucun doute que la productivité des écosystèmes forestiers a augmenté significativement depuis le siècle dernier. Cet accroissement supplémentaire n'est pas exempt de conséquences sur la gestion.*

**A**u début des années 1980, des symptômes de dépérissement, notamment dans les sapinières vosgiennes, ont alarmé la communauté scientifique sur le devenir de la forêt française. De nombreuses hypothèses furent alors émises pour expliquer l'apparition « brutale » de ce phénomène (jaunissement, perte d'aiguilles, etc.) : effet à long terme de la pollution atmosphérique, de la pauvreté minérale des sols, effet de sécheresses répétées et/ou plus intenses que la « normale », attaque de parasites, gestion sylvicole inadaptée... Par une approche dendroécologique (2) de la sapinière vosgienne, Michel Becker (INRA) a montré que celle-ci avait traversé au cours de son histoire des crises plus ou moins intenses (d'origine essentiellement climatique) mais que, depuis 1850, l'accroissement radial du sapin avait fortement augmenté, la croissance atteignant même un niveau sans précédent depuis les années 80 (niveau non explicable par les seules conditions climatiques). À peu près à la même période, des équipes finlandaise et américaine mettaient en évidence des phénomènes comparables sur d'autres résineux (pins essentiellement). Les travaux novateurs de



*Hêtraie dense en forêt territoriale de Saint-Antoine (Haute-Corse).*

Becker suscitèrent à l'époque de vives interrogations auprès de la communauté scientifique et forestière française : la sapinière n'était pas en perte de vitalité comme le laissaient supposer les symptômes apparents de dépérissement mais, au contraire, poussait comme jamais elle ne l'avait fait dans le passé ! Face à ces interrogations, d'autres études ont été entreprises dans des contextes pédoclimatiques très

variés et à des échelles spatiales différentes (peuplement, massif, région, etc.). À partir des années 1990, une quinzaine de laboratoires européens ont travaillé sur les changements de croissance des écosystèmes forestiers feuillus et résineux selon deux approches (d'après Dhôte *et al.*, 2000) :

- **analyse rétrospective** de la croissance radiale (approche dendroécologique) et/ou de la croissance en hauteur (par analyse de tige). Ce

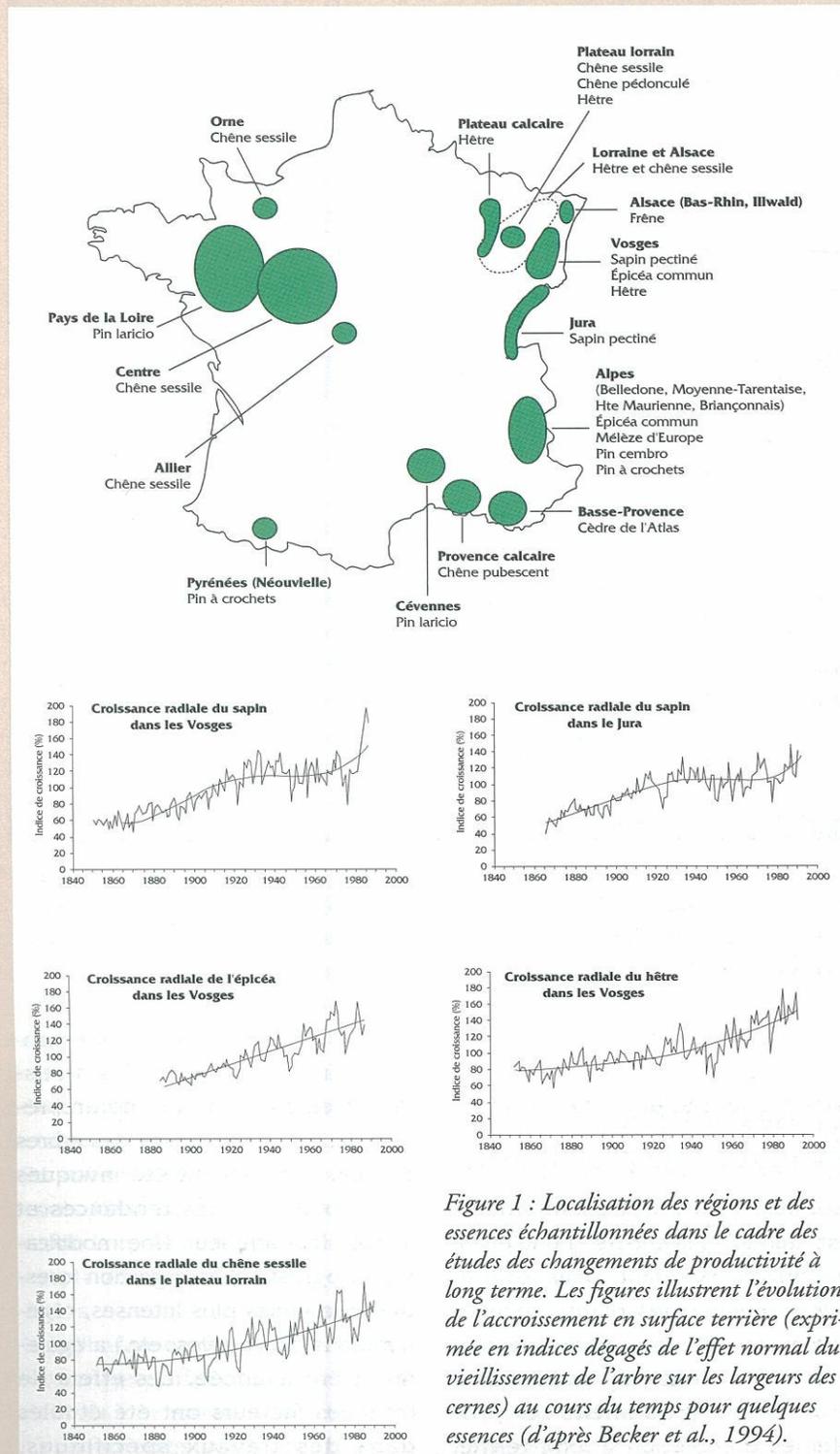
type d'analyse correspond à **une approche au niveau « arbre »**, c'est-à-dire que les données prises en compte concernent des accroissements individuels mesurés sur des arbres (actuellement) domi-

nants. Ces travaux, qui portent généralement sur des effectifs importants (100 à 2 000 arbres), concernent une grande région et intègrent des conditions sylvicoles et écologiques variées ;

– **analyse de la productivité au niveau du peuplement.** Dans ce cas, c'est l'accroissement en surface terrière qui est quantifié. Ces accroissements sont comparés à des valeurs de référence issues de tables de production. Contrairement à l'approche précédente, l'histoire sylvicole des arbres et du peuplement est généralement bien connue, ce qui limite les erreurs liées à des changements de sylviculture au cours du temps. Sur les réseaux de placettes permanentes les plus âgées, certains auteurs ont pu comparer l'évolution des accroissements entre deux générations successives. Ces méthodes, plus proches de la gestion forestière classique, sont pertinentes pour juger des changements, mais concernent une échelle spatiale plus réduite et n'intègrent pas la variabilité écologique.

En France, même si l'ampleur des variations dépend fortement de l'essence et de la région étudiée (Tableau et Figure 1), il ne fait plus aucun doute que la productivité des écosystèmes forestiers a augmenté significativement depuis le siècle dernier.

Les augmentations se situent, dans la majorité des cas, entre + 50 et + 100 % mais ont été supérieures dans certains contextes. Les quelques études menées sur la croissance en hauteur ont confirmé les tendances observées à partir des mesures des cernes annuels. Sur le hêtre dans le quart nord-est, l'augmentation de la croissance en hauteur a été estimée à environ + 50 % depuis 1900. Sur le chêne sessile, Dhôte et Hervé (2000) estiment des gains de + 30 % à + 50 % depuis 1930 pour des peuplements échantillonnés le long d'un gradient climatique ouest (Normandie) – est (Lorraine). Sur résineux, des ten-



Tendances sur la croissance radiale observée en France  
(modifié d'après Dhôte *et al.*, 2000)

Région	Espèce	Accroissement surface terrière		Référence
		Période	Var. en %	
<b>Résineux</b>				
Jura	Sapin	1850-1988	+ 300	Bert 1992
Vosges	Sapin	1850-1986	+ 160	Becker 1987
Vosges	Épicéa	1850-1988	+ 300	Becker <i>et al.</i> 1994
Alpes (France, alt. > 1 750 m)	Épicéa	1840-1993	+ 70	Rolland <i>et al.</i> 1998
Alpes (Suisse)	Épicéa	1900-1990	+ 50	Schneider et Hartmann 1996
Alpes (altitude > 1 750 m)	Mélèze	1840-1993	+ 76	Rolland <i>et al.</i> 1998
Alpes (altitude > 1 750 m)	Pin cembro	1840-1993	+ 56	Rolland <i>et al.</i> 1998
Alpes (altitude > 1 750 m)	Pin à crochets	1840-1993	+ 25	Rolland <i>et al.</i> 1998
Pyrénées	Pin à crochets	1850-1992	+ 75	Dhôte <i>et al.</i> 2000
Pays de la Loire	Pin laricio	1921-1991	+ 50	Lebourgeois <i>et al.</i> 2000
<b>Feuillus</b>				
Vosges (versant lorrain)	Hêtre	1850-1990	+ 90	Picard 1995
Basses Vosges gréseuses	Hêtre	1853-1995	+ 114	Duquesnay 1998
Lorraine (plateaux calcaires)	Hêtre (Futaie)	1910-1991	+ 115	Badeau <i>et al.</i> 1995
Lorraine (plateaux calcaires)	Hêtre (TSF)	1910-1991	+ 56	Badeau <i>et al.</i> 1995
Lorraine (plateau lorrain)	Hêtre	1860-1992	+ 120	Becker <i>et al.</i> 1994
Lorraine et Alsace	Hêtre (Futaie)	1900-1998	+ 45	Bontemps 2002
Lorraine (plateau lorrain)	Chêne pédonculé	1850-1987	+ 55	Becker <i>et al.</i> 1994b
Lorraine (plateau lorrain)	Chêne sessile	1850-1987	+ 90	Becker <i>et al.</i> 1994b
Lorraine et Alsace	Chêne sessile	1924-1993	+ 87	Bergès 1998
Centre et Pays de la Loire	Chêne sessile	1924-1993	+ 75	Bergès 1998
Alsace	Frêne	1865-1994	+ 65	Luszczak-Clusmann 1995
Provence calcaire	Chêne pubescent	1880-1980	+ 100	Rathgeber <i>et al.</i> 1999

Pour chaque étude, le but recherché est de construire une courbe d'évolution de la croissance en fonction de la date traduisant une dérive éventuelle (voir Figure 1). Dans le tableau, les pourcentages correspondent aux taux de modification de la croissance par rapport à un niveau de référence historique. La méthode consiste à mesurer les largeurs de cernes annuels d'arbres dominants et à séparer l'effet biologique normal du vieillissement, et l'effet de la date de formation.

dances similaires ont été observées sur le pin laricio de Corse dans les Cévennes et en région Pays de la Loire (Carte p. 31, tableau et figure 2) et sur le cèdre de l'Atlas en Basse-Provence. Sur le pin d'Alep en Provence calcaire, Vennetier et Hervé (1999) ont estimé un gain moyen de 4,5 cm/an depuis les 80 dernières années. Pour toutes ces études, il apparaît clairement une augmentation de la fertilité des jeunes peuplements.

### Causes possibles de l'augmentation de productivité

La causalité de ces changements est aujourd'hui encore un sujet de discussion important. Dans les premiers travaux, les plans d'échantillonnage des arbres et des peuplements n'étaient pas établis pour étudier spécifiquement ces problèmes d'évolution à long terme.

Ainsi, des artefacts liés à cet échantillonnage, aux méthodes statistiques employées, à la non-représentativité dans le passé des arbres actuels ont souvent été invoqués pour expliquer ces tendances et surtout leur ampleur. Une modification progressive de la gestion forestière (éclaircies plus intenses, régénérations plus actives, etc.) a également été avancée. Les effets de tous ces facteurs ont été étudiés dans des travaux spécifiques,

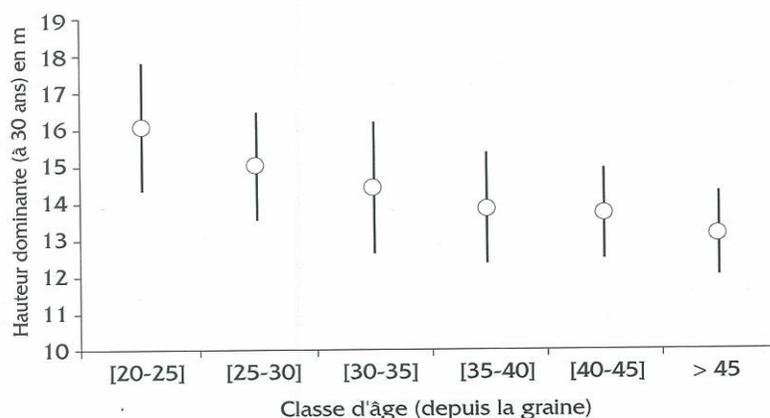


Figure 2 : Hauteur dominante (+/- écart-type) à 30 ans (en m) en fonction de l'âge pour les 143 peuplements de pin laricio échantillonnés en région Pays de la Loire sur les stations à texture limoneuse (âge en 1992 depuis la graine). En 1992, la hauteur dominante des jeunes peuplements était supérieure de 10 à 15 % par rapport aux peuplements plus âgés (station et gestion équivalentes) (modifié d'après Gilbert et al., 1996).

notamment sur le hêtre dans le quart nord-est, sur le pin à crochets dans les Pyrénées et le chêne sessile en région Centre. Actuellement, il est admis que ces facteurs ne peuvent pas expliquer, à eux seuls, les évolutions en cours.

Les autres explications concernent l'évolution de paramètres écologiques locaux ou plus globaux. Au niveau local, certains ont avancé l'hypothèse d'une reconstitution lente de la fertilité des sols après une longue période d'exploitation (taillis à courte révolution, prélèvements de litière...), mais les hypothèses les plus courantes concernent évidemment l'évolution des facteurs environnementaux globaux : réchauffement climatique (+ 1 °C depuis 1900 en France), augmentation de la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique (+ 25 % depuis 1900), dépôts azotés (souvent supérieurs à 15 kg/ha/an en forêt)... De nombreuses expériences en milieu contrôlés ont montré les effets de ces paramètres sur le comporte-

ment de jeunes plants. Les expérimentations sur l'effet d'un doublement de la teneur en CO<sub>2</sub> atmosphérique sont de loin les plus nombreuses. Les changements induits par cette augmentation sont multiples : modification des biomasses et de leur répartition dans les parties aérienne et souterraine, du nombre de feuilles, de la densité stomatique, de la résistance au froid, de la distribution de l'azote dans les différents compartiments, des fonctionnements enzymatique, photosynthétique et hydraulique, etc. Dans beaucoup de travaux, il apparaît également de fortes interactions entre paramètres. Par exemple, un doublement de la teneur en CO<sub>2</sub> se traduit par une augmentation moyenne de biomasse de 32 % sur 11 espèces de chênes, mais cet effet n'est significatif que si les jeunes plants sont bien alimentés en eau. Sur des jeunes plants de hêtre, le CO<sub>2</sub> augmente significativement la croissance radiale sur sol « calcaire » (+ 8 à

+ 10 % sur deux ans) et pas sur sol « acide ».

Sur arbres adultes, la vérification « scientifique » de l'effet de ces facteurs est beaucoup plus difficile car cela nécessite une expérimentation lourde « *in situ* » sur plusieurs années. Pour ces travaux, le recul est encore faible (5 à 10 ans d'observations au maximum) par rapport à la durée de la gestion forestière. Comme pour les jeunes plants, les interactions sont multiples et parfois difficiles à analyser. D'une façon générale, il apparaît un très fort effet saisonnier du doublement de CO<sub>2</sub>. Des températures estivales élevées ou une sécheresse édaphique peuvent annihiler l'effet « stimulant » du CO<sub>2</sub>, voire se traduire par des croissances réduites (rétroaction négative). En fait, les arbres modifient constamment leur réponse par des ajustements aussi bien écophysologiques (transpiration, photosynthèse, etc.) que morphologiques (surface de feuilles, etc.), ce qui rend particulièrement difficile toute prévision à long terme.

Ainsi, même si ces facteurs sont potentiellement stimulants, leurs interactions, les rétroactions et les ajustements des arbres et des écosystèmes sont encore largement inconnus.

## Changements de productivité et gestion

L'adaptation de la productivité est évidemment une question centrale qui peut être analysée sous différents aspects. Si la croissance augmente, quelles pourront être les conséquences sur :

**L'exploitation des arbres ?** Dans un système sylvicole fondé sur des

diamètres d'exploitabilité, un des effets « favorables » de ces changements de croissance pourrait être une acquisition plus rapide de ce diamètre. L'augmentation de 50 % de la vitesse de croissance pourrait se traduire par un gain de plusieurs dizaines d'années sur le passage en coupe. Ceci aurait bien sûr des conséquences importantes sur les stratégies à adopter quant à la régénération forestière.

**Les propriétés technologiques du matériau bois ?** Les études sur les changements de qualité du bois sont rares et de fortes interrogations persistent. Sur le pin laricio, il est apparu que la largeur du bois formé en début de saison (bois « initial ») avait davantage augmenté que celle du bois formé en fin de saison (bois « final ») suggérant une diminution de la densité du bois. Sur le chêne sessile, des travaux récents ont montré que la densité du bois était restée stable ou avait augmenté au cours du siècle dernier. Sur le hêtre, les études actuelles suggèrent plutôt une diminution de la densité au cours du temps.

**La sensibilité aux aléas ?**

- Les études « post-tempête » passées ou récentes ont montré que les grands et gros arbres sont, en moyenne, plus sensibles aux effets des forts coups de vent que les arbres de plus petites dimensions ;

- la modification du régime hydrique devrait être l'élément le plus déterminant pour les arbres et les écosystèmes forestiers. On peut penser qu'une augmentation des besoins en eau, entraînée par des croissances plus fortes, pourrait sensibiliser les arbres à l'augmentation prévisible des épisodes chauds et secs, notamment sur les sols les plus superficiels ou dans les situations les plus sèches ;

- on peut également craindre des déséquilibres nutritionnels (diminution de la teneur foliaire en phosphore, des rapports Mg/N ou Ca/N), dans certaines conditions écologiques, liés à ces croissances plus soutenues et aux effets des apports atmosphériques (Duquesnay, 1998).

Au cours du XXI<sup>e</sup> siècle et au-delà, la forêt va évoluer dans un environnement dont les variations n'ont jamais été aussi importantes sur une période aussi réduite. Étant donné les très nombreuses interrogations qui persistent, l'expérience des propriétaires et des gestionnaires locaux doit jouer un rôle central dans les décisions de gestion. Les modifications de comportement à long terme des arbres et les changements d'aire de répartition sont encore très largement méconnus et dépassent les possibilités de la gestion forestière « courante ». En revanche, la question de l'adéquation « essence-station » et d'une gestion permettant de minimiser, par exemple, les effets des aléas climatiques doit être considérée avec le plus grand intérêt. ■

**Résumé**

De nombreuses études démontrent que la productivité des peuplements français a significativement augmenté depuis un siècle. Le facteur principal de cet accroissement serait l'augmentation de CO<sub>2</sub>, les autres facteurs ne pouvant expliquer à eux seuls l'ampleur du phénomène.

**Mots-clés :** Changement climatique, croissance, productivité.

**Bibliographie**

■ Badeau (V.), Becker (M.), Bert (G.-D.), Dupouey (J.-L.), Lebourgeois (F.), Picard, (J.-F.), 1996. *Long term growth trends of trees : ten years of dendrochronological studies in France*. European Forest Institute Research Report No. 5. Growth trends in European Forests. Edited by H. Spiecker, K. Miellikainen, M. Köhl and J.-P. Skovsgaard. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1996. 372 p. 167-181.

■ Becker (M.), Bert (D.), Bouchon (J.), Picard (J.-F.), Ulrich (E.), 1994. *Tendances à long terme observées dans la croissance de divers feuillus et résineux du Nord-Est de la France depuis le milieu du XIX<sup>e</sup> siècle*. Revue Forestière Française, 46, 4, 335-341.

■ Dhôte (J.-F.), Dupouey (J.-L.), Bergès (L.), 2000. *Modifications à long terme, déjà constatées, de la productivité des forêts françaises*. Revue Forestière Française, 52, n° spécial, 37-48.

■ Landmann (G.), 2002. *Les changements de productivité forestière, le dépérissement des forêts et la presse : radioscopie d'un événement médiatique*. Revue Forestière Française, 54, 3, 215-226.

■ Spiecker (H.), Miellikainen (K.), Kohl (M.), Skovsgaard (J.-P.), 1996. *Growth trends of European Forest. Studies from 12 countries*. European Forest Institute Research Report N°5. eds : Spiecker H., Miellikainen K., Kohl M., Skovsgaard J.-P. 372 p.

La bibliographie complète est disponible auprès de l'auteur.

(1) Unité Mixte de Recherche INRA-ENGREF 1092 - Laboratoire d'Étude des Ressources Forêt-Bois. Équipe Écologie Forestière, ENGREF, 54042 Nancy cedex, France.

(2) L'approche dendroécologique associe une analyse rétrospective de la croissance radiale des arbres par prélèvements de carottes, mesures et datations des cernes annuels et une analyse écologique du milieu (pente, exposition, sol, flore, etc.).