

La croissance des forêts et les changements environnementaux

Les forêts de l'hémisphère nord sont plus productives qu'il y a plusieurs décennies. Telle est la tendance observée et quantifiée dans différentes études menées depuis les années 1970 et qui mettent en cause plusieurs facteurs : les modifications des régimes pluviothermiques, les dépôts azotés et l'augmentation de la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone. À partir de données de l'inventaire forestier national, les auteurs de cet article se sont penchés sur l'évolution des forêts françaises. Leurs résultats à des échelles plus fines mettent en évidence des variations extrêmes (négative et positive) liées aux espèces et au contexte environnemental local qu'il conviendrait de suivre en « temps réel » compte tenu des grandes incertitudes futures liées au climat.

Convergence des approches : une croissance plus soutenue...

La problématique des changements environnementaux sur les écosystèmes forestiers remonte aux années 1970-1980. Les premiers travaux ont abordé les changements de croissance à partir des accroissements mesurés au niveau de l'arbre en utilisant des approches rétrospectives de nature dendrochronologique (croissance radiale) ou fondées sur des analyses de tige (croissance en hauteur). Les études initiales ont concerné l'augmentation du CO₂ atmosphérique, attestée par des mesures à l'observatoire d'Hawaii dès les années 1970 et ses conséquences sur la croissance des forêts naturelles subalpines de conifères dans l'ouest des États-Unis. À la même période, des chercheurs finlandais constataient aussi des augmentations de la croissance des pineraies sylvestres boréales ; augmentation également attribuée au CO₂ atmosphérique. En Allemagne, et dans le contexte européen des impacts potentiels de la pollution atmosphérique acide (H₂SO₄ et HNO₃/NH₄), ce sont les travaux menés aussi sur résineux (épicéa, pin sylvestre, sapin) qui ont illustré pour la première fois, et au niveau du peuplement forestier, des croissances plus soutenues dans les périodes récentes. Contrairement aux

études précédentes, les auteurs évoquaient également l'effet des apports azotés atmosphériques pour expliquer leurs résultats. De façon simultanée en France, ce sont les travaux de dendroécologie menés par Michel Becker sur la sapinière vosgienne dans le cadre des recherches sur les dépérissements forestiers en relation avec la pollution atmosphérique (programme DEFORPA¹) qui ont constaté, d'une façon tout à fait inattendue, des évolutions très nettes de la croissance depuis la fin du dix-neuvième siècle. Au vu de l'importance du phénomène, des recherches complémentaires ont été rapidement menées dans d'autres contextes et pour d'autres espèces forestières. Elles ont illustré une tendance générale à l'augmentation de la croissance dans l'hémisphère nord des espèces forestières majeures (sapin, épicéa, chêne, hêtre... photo 1). En revanche, peu de travaux ont été menés dans les forêts tempérées de l'hémisphère sud ou en contexte intertropical. Les estimations de croissance avancées, de l'ordre de +100% sur le siècle, ont toutefois paru être d'un ordre de grandeur soumis à caution.

1. Programme DEFORPA :
« Dépérissement des forêts attribué à la pollution atmosphérique ».

❶ Les forêts de l'hémisphère nord plus productives qu'il y a plusieurs décennies : une tendance observée et quantifiée par plusieurs études scientifiques.



© D. Gauthier (INRAE)

En France, c'est à partir de ces années que l'on a commencé à parler des changements de productivité forestière pour aborder la question « des forêts qui poussent mieux maintenant qu'il y a quelques décennies », mais également à mettre en œuvre de nouvelles approches et analyses sur des jeux de données originaux : réseaux de placettes permanentes d'expérimentations sylvoles et analyses de tiges permettant d'échantillonner la croissance en hauteur dominante, données issues des inventaires forestiers nationaux, avec le point commun de dépasser l'échelle de l'arbre pour poser un diagnostic représentatif à l'échelle du peuplement forestier et de sa capacité productive. Ainsi, contrairement aux travaux précédents, ces études ont abordé la productivité du peuplement en comparant :

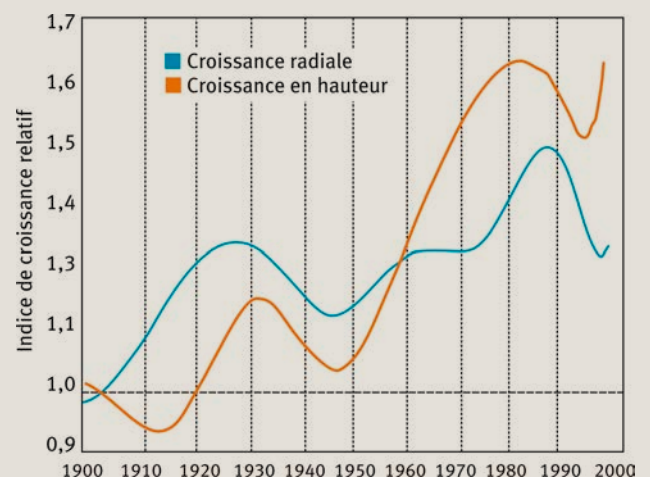
- la croissance à des valeurs de référence issues de tables de production,
- la productivité de deux générations successives de peuplement sur un même site,
- ou encore la croissance en surface terrière² du peuplement telle que caractérisée sur les points de sondage du programme d'inventaire forestier français.

Ces approches originales ont apporté des éclairages nouveaux sur les changements de productivité. Ainsi, dans le quart nord-est, la croissance des hêtraies est apparue supérieure de l'ordre de + 50 % entre le début et la fin du vingtième siècle, et ceci à la fois pour l'accroissement en diamètre et en hauteur (figure ❶). Ces travaux ont également montré que ces tendances n'étaient pas constantes mais pouvaient se ralentir voire disparaître pendant certaines périodes : réduction entre les années 1940 et 1950 ou diminution depuis les années 1990. Elles ont encore démontré la plausibilité d'un effet stimulant des dépôts atmosphériques azotés. Enfin, des comparaisons méthodologiques entre méthode dendrochronologique (notamment méthode de standardisation dite « RCS »³) et une modélisation simultanée des effets des détermi-

nants de la croissance a permis de conclure que les plans d'échantillonnages de la méthode dendrochronologique étaient biaisés, du fait d'un échantillonnage excessif dans des conditions stationnelles peu favorables à des âges avancés d'arbre ou de peuplement. ▶

2. La surface terrière d'un peuplement, notée G, correspond à la surface de toutes les sections transversales des troncs, à 1,30 m de hauteur, des arbres présents sur un hectare de forêt. Elle s'exprime en m² par hectare.
3. RCS : *Regional Curve Standardization*.

- ❶ Évolution de la croissance radiale et en hauteur (exprimée ici en indice relatif) sur le vingtième siècle pour des hêtraies du quart nord-est de la France poussant en peuplements purs réguliers (arbre moyen) (modifié d'après Bontemps *et al.*, 2010a, figure 4). L'indice relatif correspond à la croissance observée par rapport au niveau de référence de 1900.



▶ À une échelle plus large, les données de l'Inventaire forestier national explorées sur huit espèces forestières poussant dans des larges gradients écologiques (climat et sol) ont aussi permis d'analyser les variations décennales et régionales des tendances de croissance. Ainsi, l'étude des variations de surface terrière (G) sur la période 1982-2005 (ΔG en $m^2/ha/5$ ans) a mis en évidence une forte variabilité interspécifique allant d'une augmentation continue pour l'épicéa commun ($\sim +40\%$) à une diminution continue pour le chêne pubescent ($\sim -17\%$), en passant par une augmentation (jusque dans les années 1995) puis une stagnation pour le chêne pédonculé et le sapin à un déclin pour le chêne sessile, le hêtre, le pin sylvestre et le pin d'Alep (figure 2). Comme les résultats précédents sur les seules hêtraies du quart nord-est, il apparaît bien des changements de croissance mais dont l'intensité semble cependant diminuer, voire s'inverser, depuis les dernières années. Dans ces études fondées sur les données d'inventaire, la mise en correspondance avec les normales climatiques et les changements climatiques simultanés à la croissance a permis de démontrer le rôle désormais majeur joué par le climat et ses changements dans la structuration de ces tendances, avec des inflexions dans des contextes chauds et secs, et des progressions spectaculaires dans les conditions fraîches et humides de montagne.

Des causes qui se sont précisées

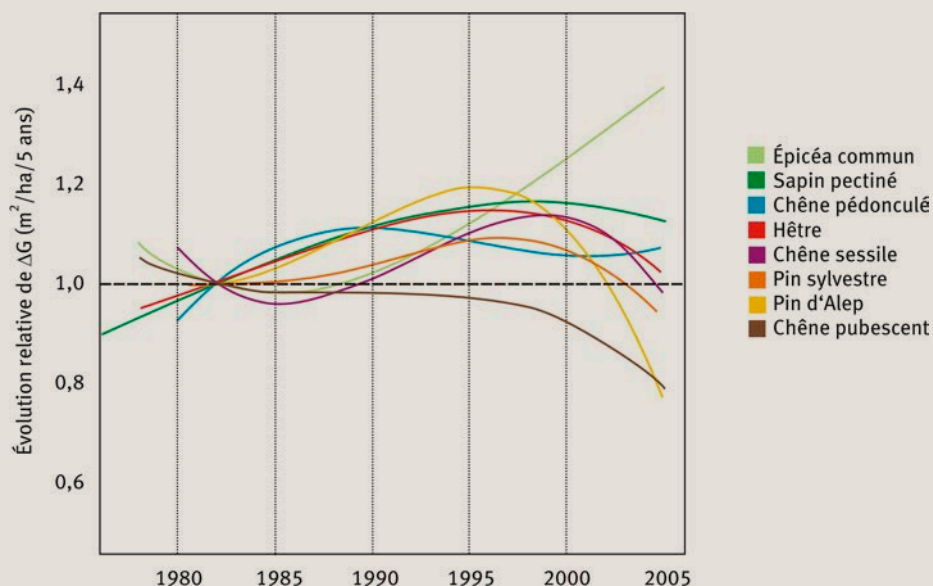
La concomitance des changements de productivité avec les modifications environnementales a immédiatement posé la question du lien entre deux phénomènes, faisant de la recherche des causes de ces évolutions une préoccupation majeure de la communauté scientifique. Sur des arbres forestiers longévifs et soumis à des perturbations

tout au long de leur vie, il est encore particulièrement difficile d'identifier les effets respectifs des facteurs expliquant potentiellement ces changements. Parmi les facteurs locaux, une sylviculture plus dynamique a souvent été évoquée pour expliquer une partie de ces changements, mais ce facteur n'apparaît pas un facteur explicatif majeur. Des peuplements jeunes poussant dans de meilleures conditions édaphiques (par exemple, dynamique naturelle ou plantation sur les anciennes terres agricoles présentant des sols plus riches que les sols forestiers « anciens ») est aussi un facteur local souvent évoqué. Concernant les facteurs externes au peuplement, les modifications des régimes pluvio-thermiques (notamment réchauffement), les apports azotés atmosphériques à courte et longue distance ou encore l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO_2 sont les trois facteurs qui retiennent encore fortement l'attention de la communauté scientifique.

Si l'augmentation du CO_2 atmosphérique coïncide bien avec les augmentations globales de croissance à large échelle, elle ne peut pas expliquer à elle seule les différences régionales. Par exemple, pour les hêtraies, les différences nettes de statut nutritionnel azoté des peuplements apparaissent un facteur explicatif majeur des différences de tendances observées entre le nord-est et le nord-ouest de la France corroborant les observations faites sur le sapin pectiné dans le contexte vosgien ou sur les réseaux de suivis ou d'expérimentations à l'échelle européenne. Ce résultat est par ailleurs très cohérent avec ceux obtenus sur les expériences d'enrichissement en CO_2 (baptisées « FACE »⁴) et de fertilisation azotée qui ont démontré le caractère très transitoire ou inexistant

4. FACE : Free Air CO_2 Enrichment.

2 Comparaison des changements de productivité observés pour huit espèces forestières majeures poussant en peuplements purs réguliers par rapport à l'année de référence 1982 (période 1982-2005). Les données d'accroissements sont issues des données de l'Inventaire forestier national (IFN) (modifié d'après la thèse de Marie Charru 2012, figure 4.15).



de cette stimulation par le CO₂ en l'absence d'augmentation conjointe de la disponibilité azotée. Concernant l'évolution du climat et particulièrement l'augmentation des températures, les tendances de croissance à leur début ne coïncident pas toujours avec celles du réchauffement (mais en revanche avec les émissions azotées). À l'échelle décennale, il apparaît même que les écarts importants par rapport à la moyenne (chaleurs élevées, sécheresses) ont été la cause des ralentissements des tendances (cas typique du « creux » pour les hêtraies du nord-est des années chaudes et sèches 1940-1950). Tous les travaux récents montrent par ailleurs un fort ralentissement depuis la fin des années 1990 et le début des années 2000 ; période coïncidant avec des sécheresses notables (2003) et des successions d'années climatiquement de plus en plus contrastées. L'interaction de ces derniers changements avec le climat moyen des contextes forestiers est par ailleurs avérée. De la sorte, on peut avancer l'idée d'une transition historique dans les facteurs dominants ayant influencé la productivité forestière, d'abord liés à la pollution atmosphérique azotée en interaction possible avec le CO₂ puis un rôle du changement climatique qui s'est récemment renforcé au point de dominer l'explication du signal dans les approches corrélatives.

Ces tendances ne doivent pas cacher la complexité causale du phénomène. Ainsi, des approches de spatialisation du changement de productivité ont démontré que même dans des contextes où le changement de croissance moyen était fort, il était possible d'identifier localement des variations extrêmes (négatives et positives) qui pointent le rôle, difficile à capturer en pratique, des conditions stationnelles locales dans la modulation de ces forçages. De la même façon, les effets sur la physiologie sont encore largement discutés et doivent être considérés dans un contexte de traits fonctionnels variables entre les espèces et les conditions dans lesquelles elles poussent. De ce point de vue, la question de savoir si ces changements sont « espèce-dépendants » (au sens fonctionnel) ou « contexte-dépendants » (au sens du contexte environnemental où croissent les espèces) reste une question scientifique ouverte.

À l'avenir, des conditions climatiques de plus en plus variables et drastiques pourraient se traduire par un ralentissement notable de la croissance, voire à des mortalités accrues dont les premiers signes sont identifiables, questionnant de nouveau la communauté forestière et scientifique sur les effets futurs des changements environnementaux, et la capacité à intégrer un contexte pluri-factoriel global et local, notamment à des fins prédictives. Les inventaires forestiers nationaux, parce qu'ils couvrent de grands territoires, et embrassent toute la diversité des espèces, et que leur fréquence de réalisation augmente fortement (notion d'inventaire continu) doivent aussi jouer à l'avenir un rôle-clé dans le monitoring « en temps réel » des impacts des changements environnementaux sur la croissance. ■

Les auteurs

François LEBOURGEOIS

Université de Lorraine, AgroParisTech,
INRAE, UMR Silva, 54000 Nancy, France.
✉ francois.lebourgeois@agroparistech.fr

Marie CHARRU

Bordeaux Sciences Agro, INRAE,
UMR ISPA,
33175 Gradignan, France.
✉ marie.charru@inrae.fr

Jean-François DHÔTE

INRAE, ONF, UMR BioForA,
45075 Orléans,
France.
✉ jean-francois.dhote@inrae.fr

Jean-Daniel BONTEMPS

IGN, Laboratoire d'Inventaire Forestier,
54000 Nancy, France.
✉ jean-daniel.bontemps@ign.fr

EN SAVOIR PLUS...

- 📖 **BONTEMPS, J.-D., HERVÉ, J.-C., DHOTE, J.-F.**, 2010, Dominant radial and height growth reveal comparable historical variations for common beech in north-eastern France, *Forest Ecology and Management*, vol. 259, n° 8, p. 1455-1463.
- 📖 **BONTEMPS, J.-D., HERVÉ, J.-C., DUPLAT, P., DHOTE, J.-F.**, 2012, Shifts in the height-related competitiveness of tree species following recent climate warming and implications for tree community composition: the case of common beech and sessile oak as predominant broadleaved species in Europe, *Oikos*, vol. 121, n° 8, p. 1287-1299.
- 📖 **BONTEMPS, J.-D., HERVÉ, J.-C., LEBAN, J.-M., DHOTE, J.-F.**, 2010, Nitrogen footprint in a long-term observation of forest growth over the twentieth century, *Trees - Structure and Function*, vol. 25, p. 237-251.
- 📖 **CHARRU, M., SEYNAVE, I., HERVÉ, J.-C., BERTRAND, R., BONTEMPS, J.-D.**, 2017, Recent growth changes in Western European forests are driven by climate warming and structured across tree species climatic habitats, *Annals of Forest Science*, vol. 74, n° 2, DOI 10.1007/s13595-017-0626-1
- 📖 **CHARRU, M., SEYNAVE, I., MORNEAU, F., BONTEMPS, J.-D.**, 2010, Recent changes in forest productivity: An analysis of national forest inventory data for common beech (*Fagus sylvatica* L.) in north-eastern France, *Forest Ecology and Management*, vol. 260, n° 5, p. 864-874.