

Rallongement de la saison de végétation des hêtraies et des chênaies françaises dans les prochaines décennies Conséquences possibles sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers

Le réseau RENECOFOR fournit des données phénologiques inestimables pour l'étude des cycles de développement des arbres forestiers, et l'établissement de modèles de réponse au climat. Les modèles du chêne et du hêtre ont été confrontés aux scénarios de changement climatique pour prévoir comment peut évoluer leur saison de végétation d'ici la fin du siècle. Résultat : la durée de végétation va globalement augmenter, avec des différences selon les espèces et les régions. Mais les interactions possibles sont si complexes qu'on ne peut pas encore en tirer de conclusions opérationnelles.

La mise en place des feuilles et la longueur de la saison de végétation étant au cœur des processus de fonctionnement des écosystèmes végétaux terrestres, tout changement peut avoir des répercussions importantes sur le cycle annuel du carbone, la croissance des arbres et leur survie. Ainsi, la phénologie foliaire est reconnue comme un trait fonctionnel à très haute valeur adaptative car un individu ou une population non adaptée au climat local va rapidement disparaître (exemple : débourrement précoce sous un climat à gelées tardives fréquentes). En France, pour les espèces forestières adultes, ce sont les observations réalisées depuis 1997 dans le réseau RENECOFOR qui correspondent aux séries homogènes les plus longues disponibles. Dans des articles publiés précédemment, nous avons étudié la variabilité spatiale et temporelle des

cycles de développement des peuplements (débourrement, jaunissement et longueur de la saison de végétation) (Lebourgeois *et al.*, 2006a; Lebourgeois *et al.*, 2006b; Lebourgeois *et al.*, 2008).

Face au questionnement de la communauté scientifique et forestière sur les impacts à long terme des changements climatiques sur les forêts françaises, nous avons entrepris une nouvelle analyse des données phénologiques dans l'objectif de quantifier l'importance des changements attendus sur la saison de végétation à moyen et long termes (Lebourgeois *et al.*, 2010). Cet article présente les principaux résultats de ce travail. Nous avons élaboré des modèles spécifiques pour le chêne (sessile et pédonculé) et le hêtre car des études récentes fondées sur les analyses des bilans de carbone suggèrent que le chan-

gement climatique pourrait affecter très différemment ces deux genres (Davi *et al.*, 2006). Les deux espèces de chênes n'ont pas été différenciées dans l'analyse en raison de leurs réponses très similaires aux facteurs climatiques (Lebourgeois *et al.*, 2008). Un aperçu de la méthodologie est présenté en encadré p.45 mais nous renvoyons les lecteurs aux articles publiés dans la littérature scientifique pour une présentation détaillée (Lebourgeois *et al.*, 2010).

Les facteurs climatiques qui contrôlent la phénologie foliaire diffèrent entre chêne et hêtre

Pour les deux espèces, la date de mise en place des feuilles est d'abord contrôlée par les conditions thermiques et la quantité de rayonnement solaire de janvier et ceci particulièrement pour le hêtre.

Aperçu méthodologique

Dans une première étape, les modèles bioclimatiques des dates moyennes de débournement, de jaunissement et la longueur de la saison de végétation ont été élaborés sur la période 1997-2006 à partir des données des 29 chênaies et des 22 hêtraies du réseau RENECOFOR (dont deux hêtraies luxembourgeoises). Ainsi, entre 1997 et 2006, 431 observations pour le débournement ont été utilisées (178 pour le hêtre et 253 pour les chênes) et 439 pour le jaunissement (179/260), soit un total de 870 dates. Pour ces premiers modèles dits modèles de calibration, nous avons utilisé des données mensuelles de températures (T) et de précipitations (P) issues de 71 stations du réseau national de Météo-France. Des données d'évapotranspiration (ETP) et de bilan hydrique « climatique » (P-ETP) ont également été utilisées.

Dans une seconde étape, ces modèles ont été utilisés pour définir, sur la France entière à partir de données climatiques spatialisées, les dates moyennes sur la période 1991-2000 (période de référence dans la suite de l'étude) et les périodes futures (2041-2070) et (2071-2100). Pour la période 1991-2000, nous avons utilisé les données spatialisées issues de la base de données climatiques mensuelles européennes (grilles 10'x10'; Climate Research Unit (CRU TS 1.2), www.cru.uea.ac.uk). Pour la période 2001 à 2100, nous avons utilisé les sorties de quatre modèles de circulation atmosphérique (HadCM3, CSIRO2, CGCM2 et PCM) correspondant aux deux scénarios socio-économiques A2 (forte croissance

mondiale) et B2 (croissance réduite et limitation des émissions) disponibles au « Tyndall Centre for Climate Change Research (TYN SC 1.0 – 10'x10') ». L'utilisation de plusieurs modèles est essentielle car elle permet de prendre en compte l'hétérogénéité des prévisions du réchauffement. Pour la prédiction des dates des différentes phases phénologiques, nous avons utilisé la technique des forêts d'arbres aléatoires (RandomForest) (Lebourgeois *et al.*, 2010 pour une présentation détaillée). Les modèles expliquent entre 35 % et 55 % de la variabilité des dates des différentes phases. Les erreurs de prédiction des modèles varient de 7 à 9 jours pour le débournement et le jaunissement et de 12 à 15 jours pour la longueur de la saison de végétation. Cette précision des modèles est du même ordre que celle observée avec des approches plus complexes fondées sur des processus physiologiques et doit être mise en parallèle avec la précision des observations faites par les observateurs du RENECOFOR (4 à 7 jours).

Les cartes présentées ici sont des cartes « potentielles » c'est-à-dire que les prédictions des différentes dates (sur les périodes actuelles et futures) ont été faites sur l'ensemble de la France sans tenir compte des fréquences de présence des espèces. Afin que le lecteur puisse juger de la zone de validité des résultats, nous avons présenté dans la figure 1, la répartition actuelle des chênes et du hêtre établie à partir des données de l'Inventaire Forestier National (<http://www.ifn.fr/spip/>) et de la base EcoPlant (Gégout *et al.*, 2005)

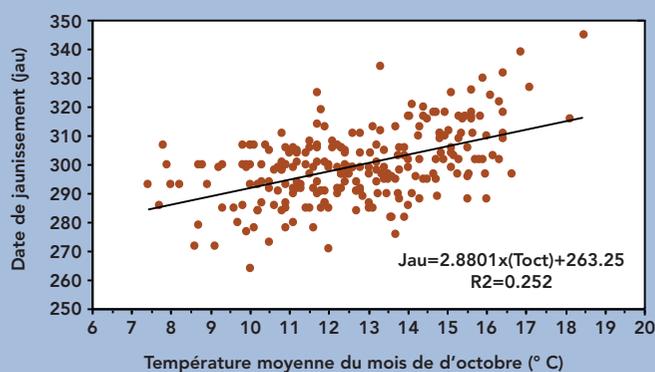
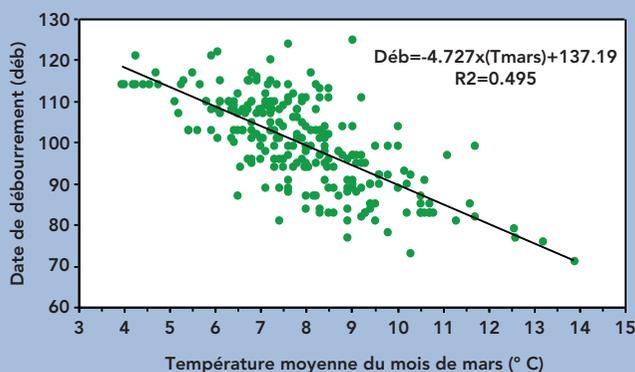


Fig. 1 : relation entre les dates de débournement et la température moyenne de mars (à gauche) et entre les dates de jaunissement et la température moyenne d'octobre (à droite) pour les chênaies du réseau RENECOFOR (période 1997-2006)

Dates sont exprimées en jour julien (= nombre de jours depuis le premier janvier). La date de débournement la plus précoce correspond au jour 71 (= 12 mars) et la plus tardive au jour 125 (= 5 mai). Pour le jaunissement, les dates s'étalent du jour 264 (=21 septembre) au jour 345 (=11 décembre).

Mais, par la suite, ce sont les conditions thermiques d'avril et de mai qui gouvernent la feuillaison du hêtre alors que celle du chêne répond aux températures de mars. Pour le chêne, par exemple, une température plus élevée de 1 °C en mars se traduit par une avancée de la date de débourrement d'environ jours (période 1997-2006 ; figure 1, p.40). Pour le jaunissement, la température et la quantité de rayonnement solaire en début d'automne (octobre et novembre) sont les paramètres les plus importants pour expliquer la fin de la saison de végétation. Ainsi, toujours pour les chênaies, une température moyenne plus élevée de 1 °C en octobre se traduit par un jaunissement plus tardif d'environ 3 jours.

Les modèles élaborés ont permis de dresser des cartes illustrant la différence globale entre le chêne et le hêtre et également les gradients régionaux (figure 2). À l'échelle nationale, et sous climat actuel, les gradients phénologiques les plus forts sont observés du sud-ouest au nord-est. Ils correspondent à un retard de la feuillaison, une avan-

cée du jaunissement et donc à un raccourcissement de la longueur de la saison de végétation. Pour le chêne, la saison de végétation dure plus de 210 jours dans l'Ouest et le Sud-Ouest et entre 170 et 190 jours dans le Nord et l'Est, ce qui correspond à une réduction d'environ quatre jours par degré de longitude.

Pour les hêtraies, même si la comparaison avec les chênaies n'est pas aisée en raison des aires de répartition différentes entre les espèces, la saison de végétation apparaît globalement plus courte et elle est de 180 jours en moyenne. Il est à noter que ces gradients phénologiques sont très cohérents avec les cartes européennes établies pour la période 1961-1998 (Rötzer et Chmielewski, 2001).

L'effet des changements climatiques sera très différent entre les régions et entre les deux espèces

Bien que les résultats diffèrent entre les modèles et les scénarios (voir Lebourgeois et al., 2010 pour

une analyse détaillée), nos analyses montrent des variations notables de la phénologie du chêne et du hêtre à la fin du 21^e siècle (figures 3 et 4).

Les tendances globales

Dans la plupart des régions, les modèles prédisent un débourrement plus précoce et un jaunissement plus tardif aboutissant à un rallongement de la saison de végétation. Ainsi, les changements climatiques se traduisent par un rallongement d'au moins 10 jours de la période active dans de nombreuses régions. Avec le scénario le plus pessimiste (HadCM3-A2, voir explications dans l'encadré), le rallongement est estimé entre 20 et plus de 40 jours sur une grande partie de la façade océanique.

Nos prédictions montrent également que les modifications de la phase automnale (retard de jaunissement) sont plus importantes que celles du printemps. Une telle différence était attendue car les différents modèles climatiques prédisent des changements plus forts pour la période automnale par

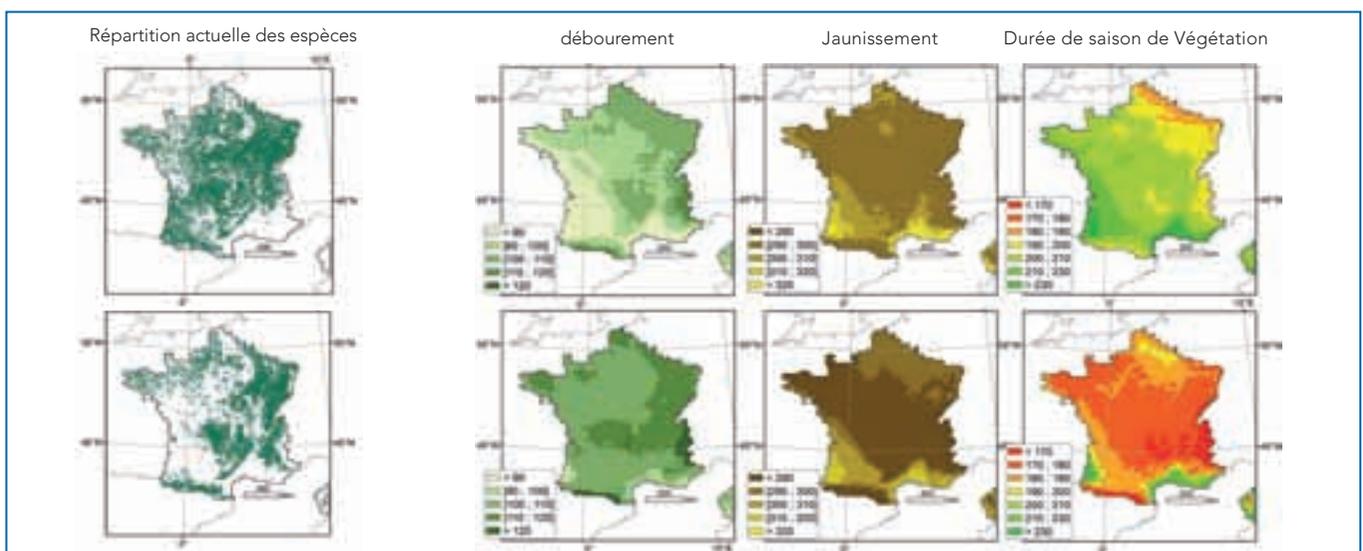


Fig. 2 cartographie des dates moyennes modélisées (en jour julien = numérotation de 1 à 365 ou 366) de débourrement et de jaunissement et de la durée (en jours) de saison de végétation du chêne et du hêtre en France pour la période 1991-2000

Chêne = chênes sessile et pédonculé. Les dates de débourrement, correspondent au stade d'au moins 20 % de bourgeons ouverts sur 10 % des arbres du peuplement RENECOFOR utilisées pour élaborer les modèles. Pour le jaunissement, ce sont les dates auxquelles au moins 90 % des arbres présentaient au moins 20 % de feuilles jaunes. La longueur de la saison de végétation est le nombre de jours entre ces deux évènements. Les cartes de répartition actuelle des espèces ont été élaborées à partir des données de l'Inventaire Forestier National (<http://www.ifn.fr/spip/>) et de la base écologique EcoPlant (Gégout et al. 2005); Les zones blanches y indiquent l'absence de l'espèce.

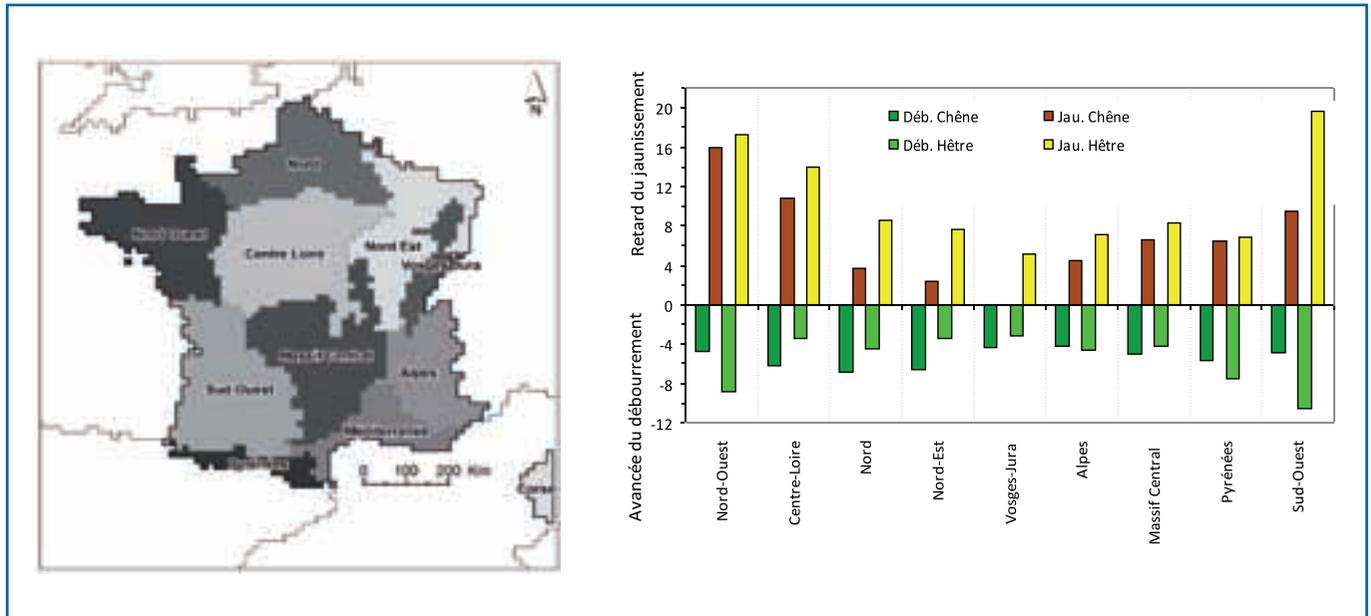


Fig. 3 : avance prédite du débournement et retard du jaunissement (en jours) par grandes régions mésoclimatiques et espèce à la fin du siècle (2071-2100) par rapport à la période de référence 1991-2000.

Par exemple, pour le hêtre dans le Nord-Ouest, le débournement devrait avoir lieu environ 10 jours plus tôt et le jaunissement être retardé d'environ 18 jours à la fin du siècle par rapport à la situation actuelle. Les valeurs correspondent aux moyennes calculées à partir des 4 modèles climatiques et des 2 scénarios de changement climatique.

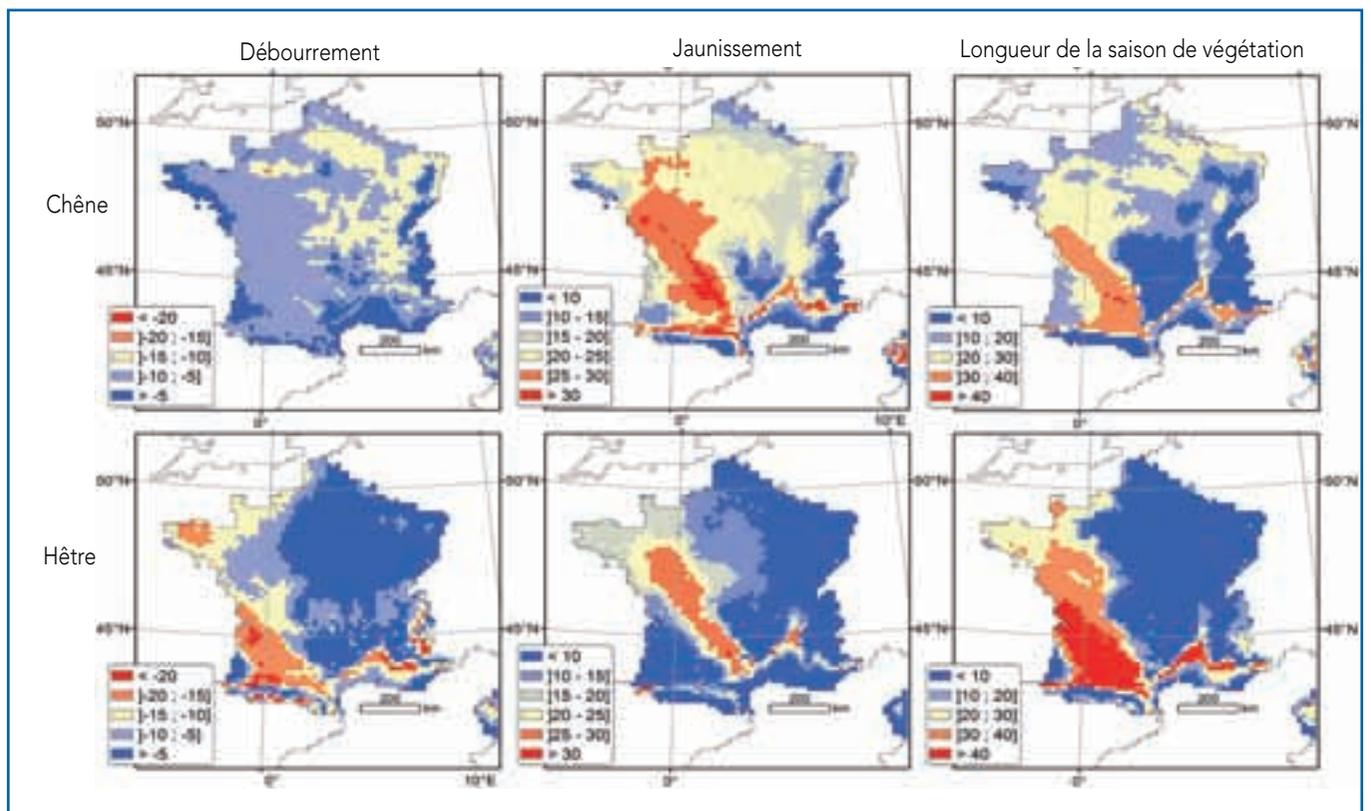


Fig. 4 : variations prédites (en jours) à la fin du 21^e siècle (2071-2100) des dates de débournement, de jaunissement et de la durée de la saison de végétation

Chaque carte correspond à la différence entre la date moyenne modélisée sur la période 1991-2000 et celle prédite selon l'hypothèse A2-HadCM3 pour la période 2071-2100. Pour le débournement, une valeur négative correspond à une date plus précoce. Pour le jaunissement et la longueur de la saison de végétation, des valeurs positives correspondent respectivement à un retard du jaunissement et à un allongement de la saison de végétation. Chêne = chênes sessile et pédonculé. La lecture de ces cartes est à rapprocher de la répartition actuelle des deux espèces, rappelée dans la figure 1.

rapport aux autres saisons (environ +2 °C au printemps et +4 °C en automne avec le scénario HadCM3-A2).

Les particularités des chênaies

Pour les chênaies dans le nord de la France, on observe une réponse différentielle entre l'ouest et l'est. Ainsi, l'avance du débourrement augmente d'ouest en est alors que, pour le jaunissement, la tendance inverse est observée avec un retard du jaunissement plus fort à l'ouest. Globalement, la saison de végétation augmente fortement mais l'origine de ce rallongement est différente le long du gradient longitudinal. De fortes variations sont également prédites dans le sud de la France et notamment dans le sud-ouest avec un rallongement de la saison de végétation de plus de 30 jours essentiellement lié à un jaunissement plus tardif des chênaies.

Les particularités des hêtraies

Dans la partie nord de la France, les tendances les plus fortes sont observées dans le contexte océanique avec un rallongement de la saison de végétation d'en moyenne 20 jours lié à la fois à un débourrement plus précoce et un jaunissement plus tardif. Pour l'est, les prédictions des variations sont nettement plus faibles avec des changements le plus souvent inférieurs à 10 jours. Les très fortes tendances observées dans la partie sud-ouest (rallongement de plus de 40 jours de la longueur de la saison de végétation) doivent être considérées avec précaution en raison d'une part de la faible présence actuelle du hêtre dans ce contexte et, d'autre part, des prédictions quant à son aire de répartition future (Piedallu *et al.*, 2009).

Quelles pourraient être les conséquences de tels changements ?

Pour la phénologie, une des principales adaptations correspond à trouver le meilleur compromis

entre l'optimisation de la durée de saison de croissance et l'évitement des dommages engendrés par le froid, via une régulation des dates d'entrée en dormance à l'automne et de sa levée au printemps (Vitasse *et al.*, 2009). Ainsi, il est globalement reconnu que les arbres des zones tempérées ou boréales se sont adaptés de façon optimale à leur environnement local en minimisant la fréquence de dommages par le froid, tout en maximisant la durée de leur période de croissance. La coordination des événements phénologiques avec les variations climatiques constitue donc un facteur crucial dans les adaptations des espèces aux contraintes climatiques et détermine en partie leurs aires de répartition (Chuine et Beaubien 2001). La capacité des espèces à modifier leur phénologie en réponse à des changements environnementaux définira donc en partie leur capacité à se maintenir dans le futur. La figure 5 présente quelques conséquences possibles des modifications des phases printanières et automnales sur le fonctionnement des forêts caducifoliées.

Des effets favorables...

Les changements phénologiques peuvent affecter positivement la croissance à travers le rallongement de la période photosynthétiquement active, l'augmentation du stockage des sucres en fin de saison (Barbaroux et Bréda, 2002) ou encore la diminution des dégâts liés aux attaques d'insectes ou de pathogènes par asynchronisme de développement (Netherer et Schopf, 2010). Pour les insectes, par exemple, l'asynchronisme correspond au fait que les phases de développement foliaire ne correspondent plus à leurs exigences quant à la reproduction des adultes ou à l'émergence des larves phytophages. Concernant la croissance des arbres, une étude récente menée en France sur des chênaies et des hêtraies estime qu'un rallon-

gement de 38 jours de la période photosynthétiquement active devrait se traduire par une augmentation de la productivité nette de 1,5 à 2,2 tC/ha/an (Davi *et al.*, 2006). Pour ces auteurs, la productivité devrait augmenter davantage pour les chênaies que pour les hêtraies en réponse à des modifications plus importantes de la phénologie des chênaies. Même si nos estimations des changements sont moindres, on peut donc s'attendre à des effets sur la croissance notamment pour les peuplements de l'Ouest de la France davantage affectés que les forêts de l'Est.

... mais aussi un ensemble de conséquences négatives

L'avance des phases printanières peut cependant avoir un effet dépressif sur la croissance annuelle à travers une augmentation des dégâts foliaires dus au gel tardif (destruction de l'appareil photosynthétique) (Bennie *et al.*, 2010) ou par l'apparition rapide d'un stress hydrique par diminution précoce des stocks d'eau dans le sol (Bréda *et al.*, 2000). La croissance peut aussi être affectée par l'apparition d'une synchronisation « hôte-pathogène » c'est-à-dire l'apparition ou le développement simultané de l'arbre et de son ravageur. Concernant les ravageurs, les changements climatiques peuvent aussi les affecter directement en modifiant leur capacité à se multiplier. Ceci a souvent pour conséquences de modifier leur aire de répartition et donc d'entraîner des nouveaux dégâts chez les arbres forestiers (exemple de la remontée vers le nord de la processionnaire du pin) (Battisti *et al.*, 2005). Concernant la phase automnale, une sénescence tardive peut induire des problèmes de vernalisation et donc de résistance au froid en hiver. Elle entraîne également une moindre remobilisation interne des nutriments ce qui peut défavoriser la reprise de croissance l'année suivante (Vitasse *et al.*, 2009). Enfin, selon (Piao *et al.*, 2008), un fort réchauffement au-

tomnal pourrait entraîner une perte de carbone par les écosystèmes terrestres en conséquence d'une plus forte stimulation de la respiration par rapport à la photosynthèse. Ces auteurs émettent donc l'hypothèse que si le réchauffement automnal est plus intense que celui du printemps, la capacité des écosystèmes à séquestrer le carbone pourrait être nettement inférieure à ce qui est souvent envisagé.

Quelles sont les limites de ces prédictions ?

Nos prédictions quant aux changements des phases phénologiques prennent non seulement en compte des effets seuils mais également les interactions multiples qui existent entre les différents fac-

teurs climatiques. Par exemple, pour le jaunissement du hêtre, la prise en compte à la fois des modifications des conditions thermiques et de rayonnement en automne se traduit par des prédictions de retard de jaunissement plus importantes que si l'on considérait le réchauffement automnal seul (différence de 3 à 4 jours). Cependant, nous faisons l'hypothèse que les effets des différents facteurs et de leurs interactions sont transposables dans le temps. Or il est tout à fait envisageable que le contrôle des cycles de développement se modifie au cours du temps. Ainsi, le facteur sécheresse pourrait devenir plus déterminant qu'il ne l'est actuellement par rapport à la température. Certains auteurs étudient même la possibilité d'interactions encore

plus complexes entre le réchauffement, la nutrition et le taux de dioxyde de carbone.

À l'échelle des populations et des espèces, les capacités adaptatives font intervenir deux éléments : la diversité génétique intra et inter-populationnelle et la plasticité phénotypique (Vitasse *et al.*, 2009). Actuellement, il est très difficile d'intégrer ces aspects dans les prédictions à l'échelle de la France entière. Cependant il est très probable que cette diversité et cette plasticité jouent un rôle central dans l'ajustement de la réponse au réchauffement.

Des travaux récents (Morin *et al.*, 2010) fondés sur des analyses en milieux contrôlés sur des jeunes plants de chênes (pédonculé, pu-

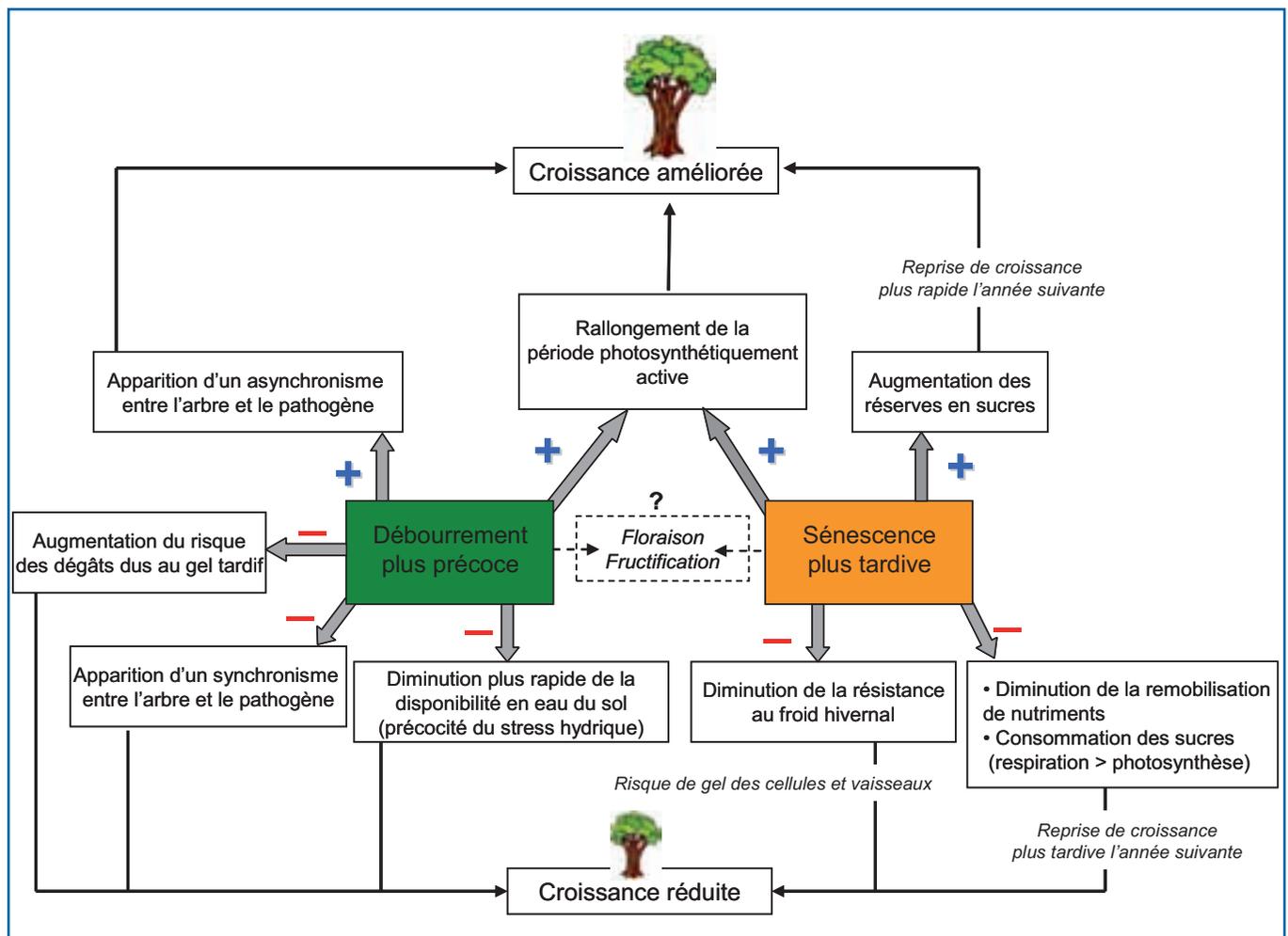


Fig. 5 : schématisation des effets possibles des modifications des phases printanière et automnale sur les arbres caducifoliés

Un signe + indique un effet potentiellement favorable ; un signe - indique un effet potentiellement négatif

bescent et vert) ont également montré que l'avancée de la date de feuillaison au printemps était moins importante avec un fort réchauffement hivernal (+3 °C) qu'avec un réchauffement plus modéré (+1,5 °C). Les auteurs expliquent cela par une non-satisfaction des besoins en froid en hiver qui perturbe le fonctionnement interne des bourgeons et limite la portée du réchauffement hivernal. Les auteurs émettent finalement l'hypothèse qu'un réchauffement hivernal trop important pourrait se traduire par des retards de feuillaison liés à un déséquilibre du ratio « besoins en froid/besoins en chaleur ».

Nos prédictions sont également à analyser par rapport aux travaux sur les niches pédoclimatiques des essences dont beaucoup prédisent des changements notables dans les prochaines décennies (Piedallu *et al.*, 2009) mais également par rapport aux études liées aux évolutions de productivité des peuplements (Bontemps *et al.*, 2010 ; Charru *et al.*, 2010). L'analyse couplée de ces différentes approches reste cependant à l'heure actuelle encore difficile en raison de la complexité des interactions entre ces différents traits fonctionnels. Par exemple, les stratégies d'allocation de carbone entre la mise en place des feuilles, l'élaboration des fruits ou la croissance sont encore largement méconnues pour les essences forestières et selon les contextes pédoclimatiques. Or de la fructification va dépendre en partie la capacité de dispersion des graines dont dépend la vitesse de migration de l'espèce et donc sa niche.

En conclusion

Nos travaux montrent que sur la période de vie d'un arbre, l'évolution des conditions climatiques va modifier les cycles de végétation sur de vastes zones. Cependant, comme ces évolutions affectent aussi les interactions complexes qui déterminent la phénologie elle-

même ainsi que l'ensemble des conditions écologiques, beaucoup d'incertitudes perdurent sur la réponse réelle des espèces et ceci malgré l'augmentation rapide des connaissances. Il reste donc important de poursuivre les recherches en confrontant notamment les différentes approches.

François LEBOURGEOIS

UMR1092 LERFoB
Laboratoire d'étude des Ressources
Forêt Bois
AgroParisTech (ENGREF) et INRA
Nancy

Jean-Claude PIERRAT

Vincent PEREZ
UMR1092 LERFoB
AgroParisTech (ENGREF) et INRA
Nancy

Sébastien CECCHINI

Erwin ULRICH
ONF, Département R & D

Remerciements

Nous remercions très sincèrement l'ensemble des forestiers et observateurs du réseau RENECOFOR qui collectent les données phénologiques utilisées dans cette étude.

Bibliographie

Barbaroux C., Bréda N., 2002. Contrasting distribution and seasonal dynamics of carbohydrate reserves in stem wood of adult ring-porous sessile oak and diffuse-porous beech trees. *Tree Physiology*, vol. 22, pp. 1201-1210

Battisti A., Stastny M., Netherer S., Robinet C., Schopf A., Roques A., Larsson S., 2005. Expansion of geographic range in the pine processionary moth caused by increased winter temperatures. *Ecological Applications*, vol. 15, n° 6, pp. 2084-2096

Bennie J., Kubin E., Wiltshire A., Huntley B., Baxter R., 2010. Predicting spatial and temporal patterns of bud-burst and spring frost risk in north-west Europe : the implications of local adaptation to climate. *Global Change Biology*, vol. 16, n° 5, pp. 1503-1514

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, pp. 1455-1463

Bréda N., Granier A., Aussenac G. , 2000. Evolutions possibles des contraintes climatiques et conséquences pour la croissance des arbres. *Revue Forestière Française*, vol. 52, n° n° spécial, pp. 73-90

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, pp. 864-874

Chuine I., Beaubien E.G., 2001. Phenology is a major determinant of tree species range. Ecology Letters, vol. 4, n° 5, pp. 500-510

Davi H., Dufrêne E., François C., Le Maire G., Loustau D., Bosc A., Rambal S., Granier A., Moors E., 2006. Sensitivity of water and carbon fluxes to climate changes from 1960 to 2100 in European forest ecosystems. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 141, n° 1, pp. 35-56

Gégout J.C., Coudun C., Bailly G., Jabiol B., 2005. EcoPlant : A forest site database linking floristic data with soil and climate variables. Journal of Vegetation Science, vol. 16, n° 2, pp. 257-260

Lebourgeois F., Ceccini S., Chuine I., Differt J., Lanier M., Ulrich E., 2006a. Observations phénologiques des arbres forestiers : concepts, intérêts et problématiques actuelles. Rendez-Vous Techniques, n° 13, pp. 19-22

Lebourgeois F., Ceccini S., Godfroy P., Lanier M., Pierrat J.C., Ulrich E., 2006b. Phénologie des peuplements du Renecofor : Variabilité entre espèces et dans l'espace, et déterminisme climatique. Rendez-Vous Techniques, n° 13, pp. 23-26

Lebourgeois F., Pierrat J.C., Perez V., Piedallu C., Cecchini S., Ulrich E., 2008. Déterminisme de la phénologie des forêts tempérées françaises : Etude sur les peuplements du RENECOFOR. Revue Forestière Française, vol. 60, n° 3, pp. 323-343

Lebourgeois F., Pierrat J.C., Perez V., Piedallu C., Cecchini S., Ulrich E., 2010. Simulating phenological shifts in French temperate forests under two climatic change scenarios and four driving GCMs. International Journal of Biometeorology, vol. 54, n° 5, pp. 563-581

Morin X., Jacques R., Sonié L., Chuine I., 2010. Changes in leaf phenology of three European oak species in response to experimental climate change. New Phytologist, vol. 186, n° 4, pp. 900-910

Netherer S., Schopf A., 2010. Potential effects of climate change on insect herbivores in European forests-General aspects and the pine processionary moth as specific example. Forest Ecology and Management, vol. 259, n° 4, pp. 831-838

Piao S.L., Ciais P., Friedlingstein P., Peylin P., Reichstein M., Luysaert S., Margolis H., Fang J.Y., Barr A., Chen A.P., Grelle A., Hollinger D.Y., Laurila T., Lindroth A., Richardson

A.D., Vesala T., 2008. Net carbon dioxide losses of northern ecosystems in response to autumn warming. Nature, n° 451, pp. 49-52

Piedallu C., Perez V., Gégout J.C., Lebourgeois F., Bertrand R., 2009. Impact potentiel du changement climatique sur la distribution de l'Épicéa, du Sapin, du Hêtre et du Chêne sessile en France. Revue Forestière Française, vol. 61, n° 6, pp. 567-593

Rötzer T., Chimielewski F.M., n° 2001. Phenological maps of Europe. Climate Research, vol. 18, pp. 248-257

Vitasse Y., Delzon S., Dufrêne E., Pontaville J.Y., Louvet J.M., Kremer A., Michalet R., 2009. Leaf phenology sensitivity to temperature in European trees : Do within-species populations exhibit similar responses. Agricultural and Forest Meteorology, vol. 149, n° 5, pp. 735-744