

Gérer les forêts pour atteindre les objectifs climatiques : des compromis à trouver

Mise en avant lors de la COP21 de Paris en 2015 pour sa capacité à absorber du carbone de l'atmosphère, la gestion durable des forêts est considérée comme un moyen de ralentir le réchauffement climatique. Or, une étude publiée en octobre 2018 dans la revue *Nature* a montré que la gestion des forêts européennes pour maximiser leur puits de carbone n'affecterait pas, ou peu, le climat et qu'une telle stratégie impliquerait une diminution considérable de la production de bois.

Les risques pour les sociétés humaines du changement climatique ont beau être évidents, les activités humaines émettent chaque année plus de carbone. En 2017, ce sont 36 Gt CO₂ (+1,3% par rapport à 2016) qui ont été libérées, s'ajoutant au carbone accumulé depuis la révolution industrielle pour augmenter encore la concentration atmosphérique de CO₂ évaluée à 409 ppm en décembre 2018. Pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris (UNFCCC¹, 2015) et limiter l'augmentation des températures à + 2°C par rapport à la période préindustrielle, de nombreux États misent sur la capacité des forêts à absorber du carbone et ainsi à compenser en partie des émissions qui ne diminuent pas assez. Contrairement aux émissions fossiles qui n'interagissent avec l'atmosphère que par le biais du carbone, les forêts transpirent par leurs feuilles l'eau qu'elles ont puisé dans le sol et interceptent le rayonnement solaire, en absorbant une partie, et en réfléchissant une autre, selon les caractéristiques de leur feuillage, de sorte que des changements de la structure de la forêt affectent non seulement le cycle du carbone mais aussi les bilans d'eau et d'énergie (Pielke *et al.*, 2011 ; Naudts *et al.*, 2016). Dans une étude publiée en octobre 2018 dans la revue *Nature* (Luyssaert *et al.*, 2018), une équipe menée par S. Luyssaert de la *Vrije Universiteit* aux Pays-Bas a simulé différents scénarios de gestion forestière en Europe en

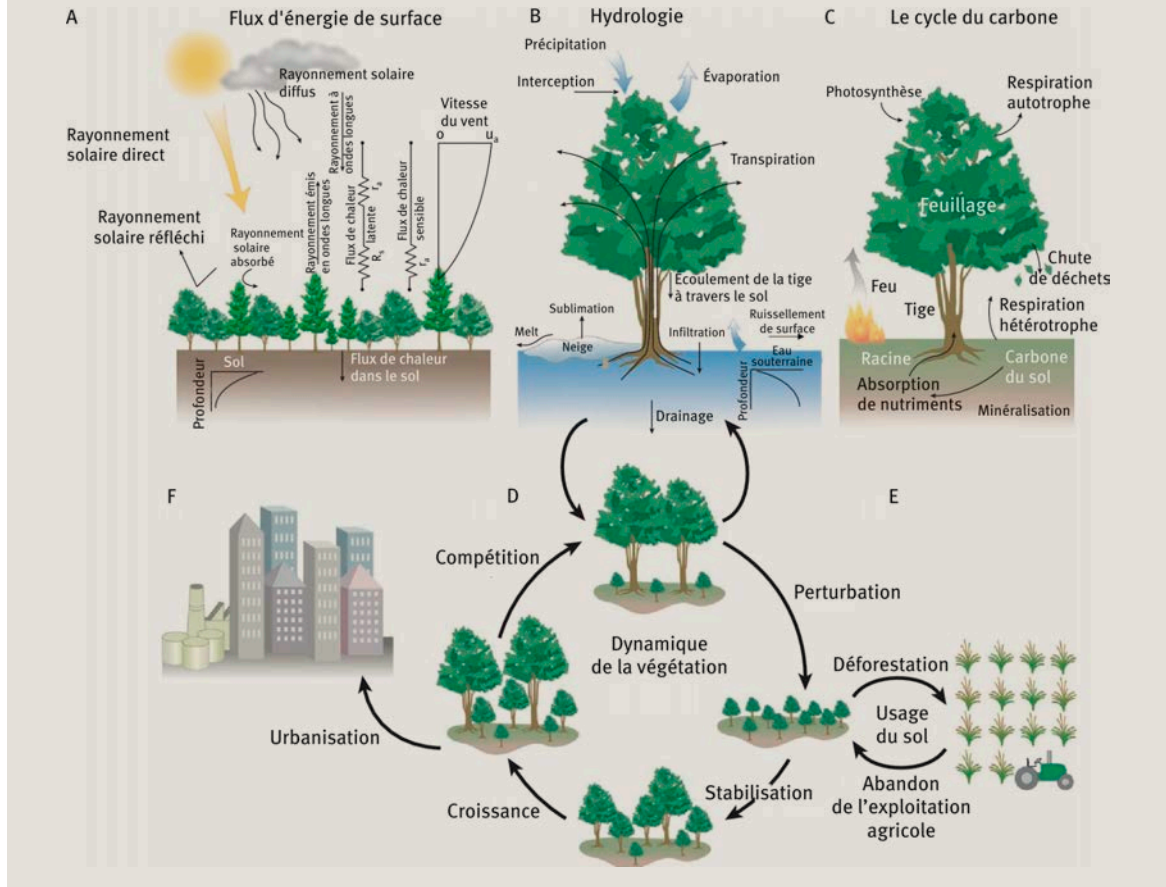
prenant en compte à la fois la séquestration de carbone et les effets biophysiques des forêts sur le climat pour estimer la contribution de la gestion forestière européenne à l'atteinte des objectifs de l'Accord de Paris.

Interprétation physique des objectifs de l'Accord de Paris

L'Accord de Paris ratifié par 183 pays à ce jour définit les objectifs de lutte contre le changement climatique dans une suite d'articles qui décrivent les mesures à mettre en œuvre. Les articles 2, 5 et 7 en particulier placent la forêt en position d'acteur majeur dans la lutte contre le changement climatique. La cible première des mesures de lutte contre le changement climatique est la température moyenne globale. En termes physiques, la température moyenne globale est le résultat de l'écart entre la quantité d'énergie solaire atteignant la surface terrestre et la quantité d'énergie solaire émise au sommet de l'atmosphère. Le secteur forestier contribue donc à l'article 2 si ses activités permettent de réduire le déséquilibre radiatif au sommet de l'atmosphère. L'article 5 de l'Accord de Paris mentionne explicitement les forêts parmi les réservoirs et puits de carbone à préserver et amplifier.

1. United Nations Framework Convention on Climate Change.

1 Échanges d'énergie et d'eau entre les forêts et l'atmosphère (d'après Bonan, 2008).



Le secteur forestier contribuerait donc à atteindre les objectifs de l'article 5 en augmentant la quantité de carbone stockée à la fois dans les forêts et *via* les produits bois et en évitant les émissions d'autres secteurs *via* la substitution. Dans l'article 7 qui décrit l'adaptation au changement climatique, un des objectifs mis en avant est celui de réduire au maximum le besoin d'adaptation, c'est-à-dire, de maintenir un climat local compatible avec le fonctionnement des sociétés humaines. Le secteur forestier pourrait contribuer à ce critère en limitant l'augmentation de la température dans la plus basse couche de l'atmosphère (figure 1).

Modéliser la gestion forestière européenne

Pour tester différents modes de gestion forestière à l'échelle de l'Europe et chercher celle qui permet de limiter au maximum le changement climatique selon les critères de l'Accord de Paris, les chercheurs ont amélioré un modèle numérique complexe qui calcule les quantités de carbone, d'énergie et d'eau capturées ou relâchées par les surfaces continentales (Naudts *et al.*, 2015). Le modèle contient les équations issues de la physique (changements de température, évaporation et précipitations) et de la biologie (photosynthèse, transformation du carbone du sol, distribution du carbone dans les racines, le tronc, les branches, les feuilles) qui décrivent le fonctionnement des écosystèmes et du climat. Des données sont fournies au modèle sous forme de carte pixellisée

(pixels de 50 km de côté) pour indiquer au modèle la distribution géographique des essences d'arbres et l'âge approximatif des peuplements, le type de sol, et la gestion forestière opérée. Ce modèle est associé à un module d'analyse de cycle de vie qui estime le devenir du bois récolté, la durée de vie au bout de laquelle le carbone est réémis dans l'atmosphère et les émissions évitées quand les produits bois remplacent des alternatives plus émettrices de carbone. Le modèle calcule donc non seulement la quantité de carbone séquestrée par le filière forêt-bois dans son ensemble mais aussi l'impact d'un changement de structure de la forêt sur le climat.

Dans le modèle, la gestion forestière de chaque pixel peut être modifiée quand une opportunité de récolte se présente, soit parce que le diamètre prédéfini pour la coupe rase est atteint, soit en cas de dépérissement. Plusieurs options sont alors testées : plantation d'un peuplement de l'essence récoltée ou son remplacement par l'essence feuillue ou conifère la plus présente dans ce pixel. Un type de gestion est choisi parmi futaie régulière, taillis et absence de gestion. En forçant le modèle successivement avec toutes les combinaisons de ces scénarios de gestion forestière, les chercheurs ont reconstruit trois portfolios alternatifs. Chaque portfolio combine les gestions de chaque pixel qui réalisent un même objectif : maximiser la séquestration de carbone, maximiser la réflexion du rayonnement solaire, ou minimiser la température à la surface.

► **Séquestration de CO₂ n'est pas toujours synonyme de refroidissement**

En 2010 en Europe, 56 % des forêts sont des conifères et 44 % des feuillus, 15 % de la surface forestière n'est sujette à aucune coupe, 14 % est gérée en taillis et 71 % en futaie. En maintenant cette distribution des essences et le type de gestion et d'utilisation du bois à l'identique, on estime que d'ici à 2100, le secteur forestier aura séquestré 4,7 PgC.

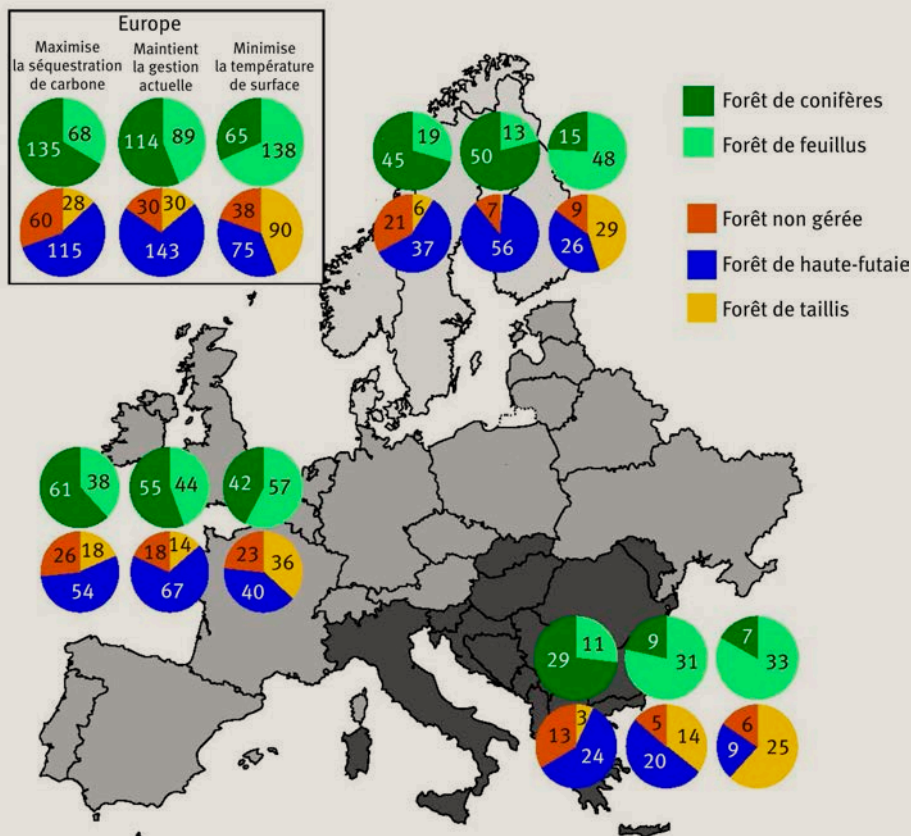
Le deuxième scénario qui permet de maximiser la séquestration de carbone demanderait la conversion de 209 000 km² de feuillus en conifères ainsi que l'arrêt de la gestion de 300 000 km² de forêt à l'échelle de l'Europe. Ce portfolio est cependant loin d'être idéal. En plus de conduire à une réduction de la récolte de bois à l'échelle européenne de 12 %, et malgré l'absorption additionnelle de 7 PgC de l'atmosphère d'ici 2100, le refroidissement imputable au CO₂ absorbé serait négligeable à la fois à l'échelle locale et à l'échelle globale. En effet, les effets biophysiques sur la vitesse du vent et l'humidité de l'air dans la basse atmosphère seraient réchauffant et compenseraient la diminution de l'effet de serre.

Alternativement, une gestion visant à diminuer la température locale est également possible. Il faudrait dans ce cas convertir principalement des forêts de conifères

en feuillus, pour provoquer un modeste refroidissement de 0,3°C au printemps en Scandinavie et dans les Alpes. En effet, dans ces régions enneigées une partie de l'année, les feuillus qui perdent leurs feuilles pendant la saison froide ont un effet refroidissant car le rayonnement solaire est réfléchi par la blancheur de la neige. Les conifères en revanche interceptent les rayons du soleil avant qu'ils n'atteignent la neige et provoquent ainsi un réchauffement de l'air qui les entoure. De plus, les feuilles sont en général plus claires que les aiguilles des conifères et réfléchissent donc d'avantage le rayonnement solaire. Si ce portfolio augmenterait la quantité de carbone séquestrée par le secteur forestier de 3,4 PgC par rapport au scénario de référence, ses effets locaux sur la température seraient cependant trop faibles pour être ressentis à l'échelle globale et conduiraient en outre à une diminution de 25 % de la récolte de bois.

Avec les scénarios de gestion testés, aucun portfolio permettant de diminuer le déséquilibre radiatif au sommet de l'atmosphère n'a pu être déterminé. En effet, dans le portfolio pour lequel la réflexion du rayonnement solaire à la surface était maximale, des nuages moins nombreux augmentent la quantité de rayonnement solaire atteignant la surface, et le déséquilibre entre rayonnement entrant et sortant de l'atmosphère restait finalement le même.

② Composition en essences (disques haut) et en type de gestion (disques bas) des portfolios permettant de maximiser la séquestration de carbone (disques gauche) ou de minimiser la température de surface (disques droite).



① Adapter les forêts au climat futur : un défi pour la gestion forestière en Europe.



© V. Pagneux (INRAE)

Parmi les portfolios considérés, aucun ne permettait donc de remplir simultanément les critères de l'Accord de Paris, à savoir réduire la température globale, la température de surface et diminuer les émissions de carbone (figure 2). La réalisation de chaque critère vient au prix d'un compromis sur un autre des objectifs.

climat futur pour maintenir la production de bois et les services écologiques, sociaux et culturels fournis, tout en limitant les possibles dommages provoqués par les feux, tempêtes, maladies et sécheresses. ■

Conclusion

La gestion forestière n'affecte pas seulement le stockage de carbone de la filière bois. Via les modifications de la structure et des caractéristiques des forêts, le cycle de l'eau, les échanges d'énergie et la circulation des vents dans la basse atmosphère sont également modifiés. La prise en compte de tous ces effets met en évidence que la diminution des émissions du carbone forestier n'est pas toujours synonyme de refroidissement climatique. Les bénéfices climatiques de la gestion durable des forêts européennes seront modestes et locaux plutôt que globaux. Le rôle principal de la gestion forestière en Europe dans les prochaines décennies ne semble donc pas de protéger le climat, mais plutôt d'adapter les forêts au

Les auteurs

Aude VALADE

CREAF, Ecological and Forestry Applications Research Centre, Campus UAB, Edifici C., 08193 Bellaterra, Barcelone, Espagne.
✉ a.valade@creaf.uab.cat

Guillaume MARIE

Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement LSCE/IPSL, UMR CEA-CNRS-UVSQ 8212, CEA Saclay, Site de l'Orme des Merisiers, Chemin de Saint Aubin, 91191 Gif sur Yvette Cedex, France.
✉ guillaume.marie@lsce.ipsl.fr

EN SAVOIR PLUS...

- BONAN, G.B., 2008, Forests and Climate Change: Forcings, Feedbacks, *Science*, vol. 320, n° 5882, p. 1444-1449.
- JACKSON, R.B., JOBBÁGY, E.G., AVISSAR, R., ROY, S.B., BARRETT, D.J., COOK, C.W., FARLEY, K.A., LE MAITRE, D.C., MCCARL, B.A., MURRAY, B.C., 2005, Trading water for carbon with biological carbon sequestration, *Science*, vol. 310, n° 5756, p. 1944-1947.
- LUYSSAERT, S., MARIE, G., VALADE, A., CHEN, Y., NJAKOU DJOMO, S., RYDER, J., OTTO, J., NAUDTS, K., LANSØ, A.S., GHATTAS, J., MCGRATH, M.J., 2018, Trade-offs in using European forests to meet climate objectives, *Nature*, vol. 562, n° 7726, p. 259-262, disponible sur : <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0577-1>
- NAUDTS, K., RYDER, J., MC GRATH, M.J., OTTO, J., CHEN, Y., VALADE, A., BELLASSEN, V., BERHONGARAY, G., BÖNISCH, G., CAMPIOLI, M., GHATTAS, J., DE GROOTE, T., HAVERD, V., KATTGE, J., MACBEAN, N., MAIGNAN, F., MERILÄ, P., PENUELAS, J., PEYLIN, P., PINTY, B., PRETZSCH, H., SCHULZE, E.D., SOLYGA, D., VUICHARD, N., YAN, Y., LUYSSAERT, S., 2015, A vertically discretised canopy description for ORCHIDEE (SVN r2290) and the modifications to the energy, water and carbon fluxes, *Geosci. Model Dev.*, n° 8, p. 2035-2065, disponible sur : <https://doi.org/10.5194/gmd-8-2035-2015>
- NAUDTS, K., CHEN, Y., MCGRATH, M.J., RYDER, J., VALADE, A., OTTO, J., LUYSSAERT, S., 2016, Europe's forest management did not mitigate climate warming, *Science*, vol. 351, n° 6273, p. 597-600.
- PIELKE, Sr, R.A., PITMAN, A., NIYOGI, D., MAHMOOD, R., MC ALPINE, C., HOSSAIN, F., GOLDEWIJK, K.K., NAIR, U., BETTS, R., FALL, S., REICHSTEIN, M., KABAT, P., DE NOBLET, N., 2011, Land use/land cover changes and climate: modeling analysis and observational evidence, *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Change*, vol. 2, n° 6, p. 828-850, disponible sur : <https://doi.org/10.1002/wcc.144>
- UNFCCC, 2015, Adoption of the Paris agreement.