



Amélioration des itinéraires sylvicoles pour une foresterie durable dans un environnement changeant

Frédéric André | Louis de Wergifosse | Mathieu Jonard
Earth and Life Institute, UCLouvain

À travers des outils de modélisation, les chercheurs tentent de définir de nouveaux itinéraires sylvicoles permettant aux forêts de répondre aux mieux à l'incertitude et aux menaces liées aux changements climatiques.



Aujourd'hui, beaucoup de forestiers s'interrogent sur le choix des essences à régénérer et sur le type de sylviculture à adopter tant le contexte est changeant et incertain. L'épicéa, essence résineuse majoritaire en Wallonie, subit depuis l'été 2018 une attaque de scolytes de grande ampleur favorisée par des conditions climatiques exceptionnelles. Le douglas, présenté comme une alternative très prometteuse à l'épicéa, est atteint par des agents pathogènes tels que la rouille suisse et le *Sirococcus conigenus*. Les feuillus ne sont pas non plus épargnés. Des épisodes de dépérissements déclenchés entre autres par des stress hydriques et nutritionnels sont observés régulièrement chez le chêne et le hêtre depuis la fin des années '80 et le frêne est décimé par la charlose. Ceci dresse un bref aperçu de quelques problèmes phytosanitaires majeurs sans prétendre à l'exhaustivité.

Dans le même temps, l'ombre des changements climatiques plane sur nos forêts avec une augmentation des températures allant de 1,5 à 4 °C à l'horizon 2100 et vraisemblablement plus d'événements climatiques extrêmes tels que les sécheresses et les tempêtes. Étant donné que la plupart des processus impliqués dans la régénération, la croissance et la mortalité des arbres sont influencés par les conditions climatiques, en particulier la température et la disponibilité en eau, ces changements climatiques auront indéniablement un effet sur le fonctionnement des écosystèmes forestiers. Néanmoins, vu les multiples facteurs entrant en ligne de compte et leurs interactions, la prédiction du sens et de l'amplitude de la réponse d'un peuplement donné aux effets des changements climatiques n'est pas aisée. Des outils de modélisation, intégrant l'effet de ces différents facteurs sur les processus physiologiques régulant la croissance des

arbres, sont donc nécessaires en vue d'explorer les évolutions possibles de la forêt.

Face à toute cette complexité, le forestier est guidé par le nouveau Fichier écologique des essences dans le choix d'espèces adaptées à la station. Mais celles-ci le seront-elles toujours dans 50 ou 100 ans ? Par ailleurs, il lui est recommandé de faire coexister des essences présentant des stratégies différentes d'acquisition et de consommation des ressources (lumière, eau et nutriments). L'objectif de tels mélanges étant de diversifier les réponses aux différents stress et perturbations qui pourraient survenir dans le futur. Dans une même optique d'amélioration de la résilience, il est souvent conseillé d'irrégulariser les peuplements. Ces peuplements mélangés et irréguliers sont cependant beaucoup plus complexes et le forestier est un peu démuni quant à la manière de les conduire faute de normes sylvicoles adéquates. De plus, connaissant la difficulté à accompagner la dynamique naturelle, notamment lors de la phase de régénération, il est peu enclin à prendre des risques. Il est donc nécessaire de définir de nouveaux itinéraires sylvicoles s'appliquant aux forêts hétérogènes. Lorsqu'on croise les conditions stationnelles, les évolutions probables du climat, les principaux types de peuplements et les différents itinéraires sylvicoles envisageables, le nombre de combinaisons possibles est pratiquement infini. Il n'est donc pas réaliste de les tester toutes sur le terrain. De plus, étant donné la durée du cycle sylvicole, un suivi durant plusieurs dizaines d'années serait nécessaire pour obtenir des résultats pertinents sur base de tels essais. L'analyse de simulations réalisées selon différents scénarios sylvicoles et climatiques apparaît dès lors comme un outil intéressant pour la sélection des stratégies de gestion les plus intéressantes et pour l'évaluation de leur durabilité à moyen et long termes. Une fois iden-

RÉSUMÉ

Les multiples problèmes sanitaires auxquels font face les forêts, combinés aux incertitudes liées aux changements climatiques, soulèvent des questions quant au choix des essences et au mode de sylviculture à adopter pour assurer le maintien des écosystèmes forestiers. À cet égard, la diversification des forêts en favorisant les structures irrégulières et mélangées constitue une mesure largement préconisée aujourd'hui. Toutefois, les options de gestion envisageables pour obtenir de tels peuplements sont très nombreuses et il n'est pas réaliste de toutes les tester in situ. Le projet de recherche

SUSTAINFOR a dès lors été élaboré afin de reproduire la dynamique de croissance des principaux types de peuplements forestiers wallons dans un modèle (HETEROFOR) selon différentes stratégies de gestion et en considérant plusieurs évolutions possibles du climat. Ces simulations seront analysées afin d'identifier les traitements et pratiques sylvicoles les plus prometteurs pour faire face aux changements globaux. Nous présentons dans cet article la méthodologie générale adoptée dans le projet en l'illustrant plus particulièrement pour le cas des chênaies régulières.

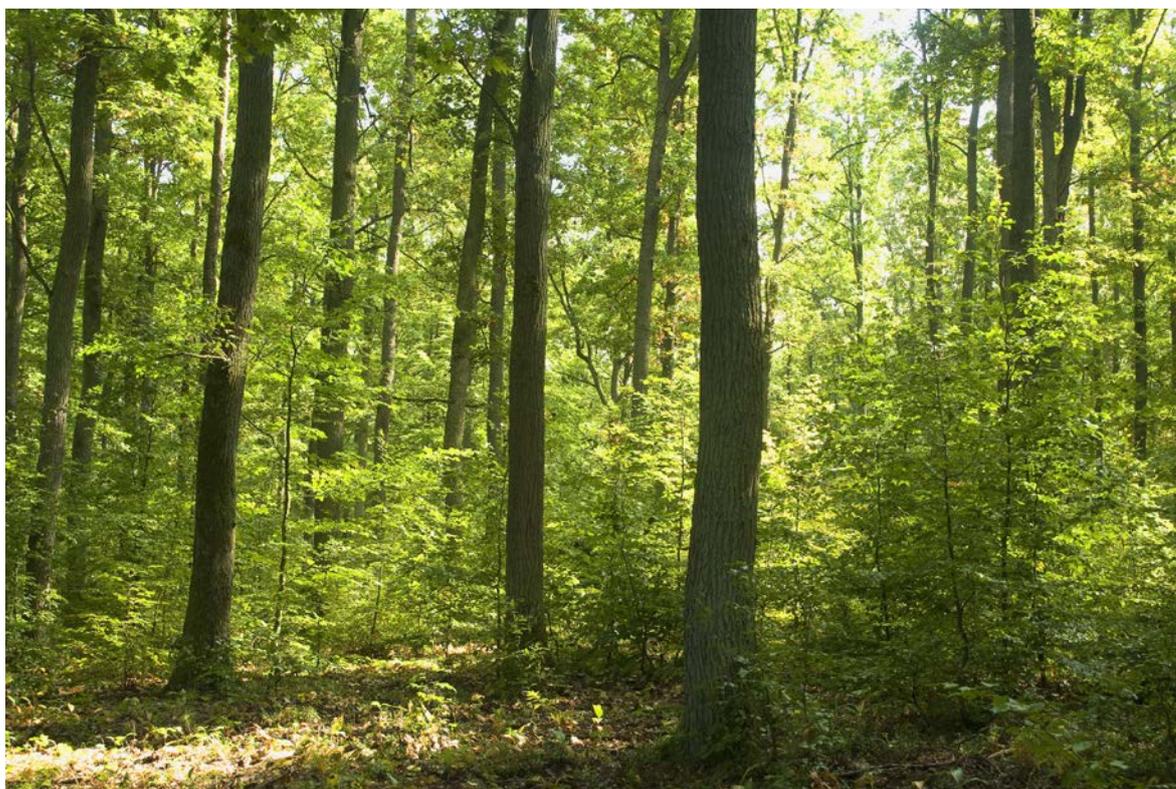
tifiés, les itinéraires sylvicoles les plus prometteurs pourront être testés in situ car même le meilleur des modèles ne remplacera jamais l'observation.

Le projet SUSTAINFOR

SUSTAINFOR est un projet financé par la Wallonie via le FRS-FNRS dans le cadre du Fonds de la Recherche Fondamentale Stratégique (axe consacré au développement durable). Ce projet est mis en œuvre afin d'identifier les itinéraires sylvicoles les plus appropriés et les plus résilients face aux menaces associées aux changements climatiques. Il repose sur HETEROFOR, un modèle mécaniste de fonctionnement des écosystèmes forestiers décrivant la croissance des arbres sur base de l'utilisation des ressources que sont la lumière, l'eau et les nutriments^{2,3}. Une des spécificités du modèle est que chacun des arbres du peuplement simulé y est représenté individuellement en considérant ses caractéristiques dendrométriques (hauteur totale, circonférence du tronc, longueur, diamètre et forme du houppier) et sa position (coordonnées spatiales X, Y et Z) par rapport à ses voisins (figure 1). Cette description spatiale détaillée permet de considérer les interactions entre individus concernant l'utilisation des ressources dans des peuplements de structures variées et est particulièrement appropriée pour l'étude des forêts hétérogènes. Outre les caractéristiques dendrométriques correspondant au stade initial du peuplement simulé, les données indispensables au fonctionnement du modèle sont

les principales propriétés physiques et chimiques des couches organiques et minérales du sol ainsi que les principales variables météorologiques (précipitations, température de l'air, température à la surface du sol, humidité relative, rayonnement, vitesse et direction du vent) au pas de temps horaire sur la période de simulation. Si elles sont disponibles, d'autres données optionnelles telles que, par exemple, les mesures de fructification annuelle par espèce peuvent être fournies afin d'affiner les prédictions du modèle. Enfin, des interventions sylvicoles peuvent être programmées lors des simulations, soit à partir de la liste des identifiants des arbres exploités accompagnés de l'année d'exploitation correspondante, soit par sélection manuelle des arbres à couper, ou encore en définissant des critères caractérisant l'intensité et le type de la coupe. À partir de ces données, le modèle prédit la croissance annuelle de chaque arbre sur base des processus sous-jacents (développement phénologique, interception de la lumière, photosynthèse, respiration, flux hydriques et minéraux). Le modèle HETEROFOR est développé par l'équipe de recherche de Mathieu Jonard (Sciences Forestières, UCLouvain) et est hébergé au sein de la plateforme collaborative de modélisation CAPSIS (Croissance d'Arbres en Peuplement avec Simulation d'Itinéraires Sylvicoles*). Cette plateforme regroupe une centaine de modèles de croissance destinés à l'usage des gestionnaires fo-

* copsis.cirad.fr 



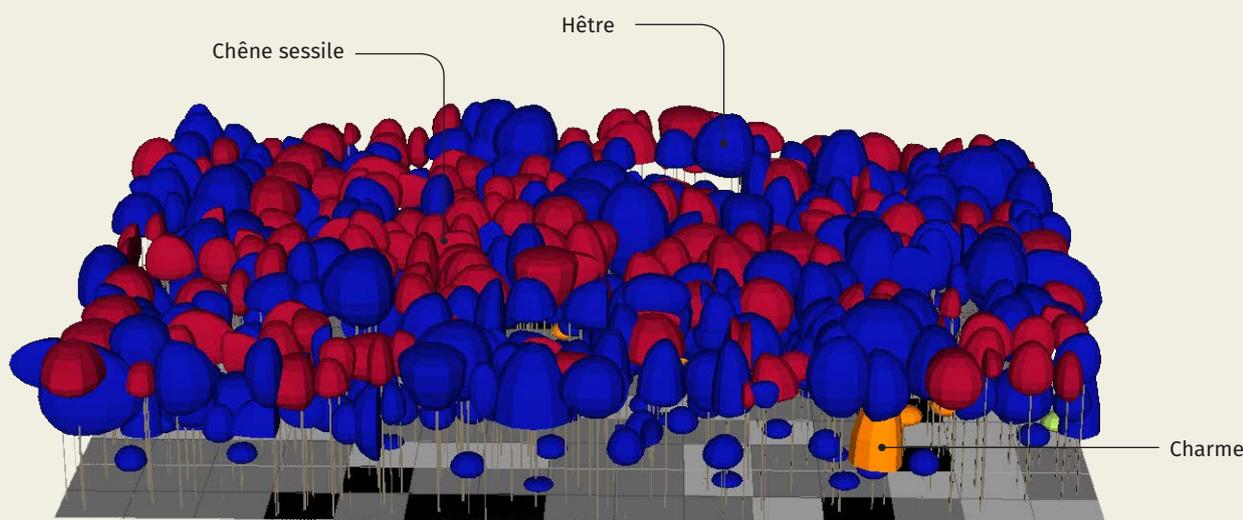


Figure 1. Représentation de la structure spatiale d'un peuplement forestier dans le modèle HETEROFOR.

restiers mais aussi développés à des fins de recherche et d'enseignement en foresterie.

Sur base des résultats de simulations réalisées avec le modèle HETEROFOR pour des peuplements représentatifs de la forêt wallonne, l'objectif final du projet SUSTAINFOR est d'identifier les itinéraires sylvicoles les plus prometteurs en termes de productivité, durabilité et résilience compte tenu des évolutions probables du climat. En vue d'atteindre cet objectif, des améliorations doivent être apportées au modèle. Étant donné la nécessité de considérer la diversification des forêts parmi les itinéraires sylvicoles à tester, une première amélioration concerne l'intégration de nouvelles espèces dans le modèle. Les espèces initialement présentes correspondaient en effet aux principales essences feuillues wallonnes (chênes, hêtre et charme). Les fonctionnalités du modèle doivent donc être complétées de manière à permettre également la simulation de la croissance des essences résineuses en incluant des formes de couronnes représentatives de la morphologie propre à ces espèces et en adaptant la modélisation de certains processus (entre autres la phénologie). Le panel des essences, tant résineuses que feuillues, doit en outre être étoffé afin de couvrir l'ensemble des espèces présentant un intérêt potentiel dans la diversification. Une autre amélioration apportée au modèle est la prise en considération de la régénération, composante indispensable afin de

réaliser des simulations sur des périodes de temps dépassant la durée du cycle sylvicole. L'inclusion de ces nouvelles fonctionnalités requiert la calibration des processus impliqués suivie de l'évaluation des performances du modèle par confrontation des prédictions avec la réalité (observations). Une fois le modèle amélioré et correctement calibré, il peut alors être utilisé pour la réalisation de simulations selon différents itinéraires sylvicoles en utilisant des projections climatiques couvrant la gamme des évolutions probables du climat. Les résultats de ces simulations seront ensuite synthétisés sous forme d'indicateurs de rentabilité économique, de durabilité, de résilience et d'immobilisation du carbone dans la biomasse des arbres et seront combinés et analysés selon une approche multicritère d'aide à la décision afin de sélectionner les stratégies de gestion les plus appropriées. Les indicateurs de rentabilité économique considérés seront la production annuelle en volume de bois, les recettes associées à cette production ou encore le bénéfice actualisé simple. La quantification des exportations minérales accompagnant la récolte du bois lors des exploitations forestières permettra d'évaluer la durabilité du mode de gestion en termes de maintien de la fertilité chimique du sol. Des indicateurs de diversité spécifique (indices de Shannon et de Simpson, par exemple) et d'hétérogénéité structurelle (indice de complexité structurelle, gain moyen d'information...) seront utilisés pour rendre compte de la résilience.



Démarche pour la définition des itinéraires sylvicoles à tester

Pour répondre aux défis actuels et futurs de la forêt wallonne, nous avons envisagé sa gestion selon quatre axes de prospective. Le premier axe consiste en le maintien du mode de gestion actuel et servira de référence. Le deuxième axe vise à intensifier la production forestière en vue de rentabiliser au mieux la forêt et de maximiser son rôle dans l'atténuation des changements climatiques via la production de matériaux et d'énergie renouvelables (effet de substitution aux énergies fossiles). Ceci peut se faire entre autres par une sylviculture dynamique et par l'enrichissement en essences plus productives. Le troisième axe cherche à renforcer la résilience des peuplements en privilégiant l'irrégularisation et la coexistence d'espèces aux traits fonctionnels variés, notamment pour diversifier les possibilités d'adaptation dans un environnement changeant et incertain. L'idée est de mélanger des essences ayant des exigences contrastées en lumière, en eau et en nutriments. On veillera toutefois à considérer aussi dans le mélange une redondance de traits fonctionnels entre certaines espèces de manière à pouvoir assurer la persistance de ces traits en cas de disparition d'espèce. Le quatrième et dernier axe correspond à une absence de gestion et

rend compte d'une situation qui risque d'être de plus en plus fréquente à l'avenir (propriétaires découragés par les aléas ou partisans du laisser-faire selon la dynamique naturelle).

Parallèlement, nous avons choisi sept peuplements types représentatifs de l'état actuel de la forêt wallonne auxquels seront appliqués différents itinéraires sylvicoles correspondant aux quatre axes de prospectives. Il s'agit de deux pessières d'une cinquantaine d'années présentant des densités contrastées et de différentes variantes de chênaies-hêtraies (futaie régulière de chêne, taillis-sous-futaie de chêne, mélange chêne-hêtre, futaie régulière de hêtre et futaie irrégulière de hêtre). En effet, les pessières et les chênaies-hêtraies occupent, respectivement, 34 et 27 % de la superficie de la forêt wallonne¹. Les peuplements types serviront de situations initiales pour les simulations et seront caractérisés grâce aux données de l'Inventaire Permanent des Ressources Forestières de Wallonie (IPRFW).

Afin de pouvoir décliner les axes de prospective en itinéraires sylvicoles pour chaque peuplement type, nous avons sollicité l'aide d'un groupe d'acteurs du secteur forestier (voir ci-dessous dans les remerciements). Une réunion a été organisée le 8 juin 2018 au

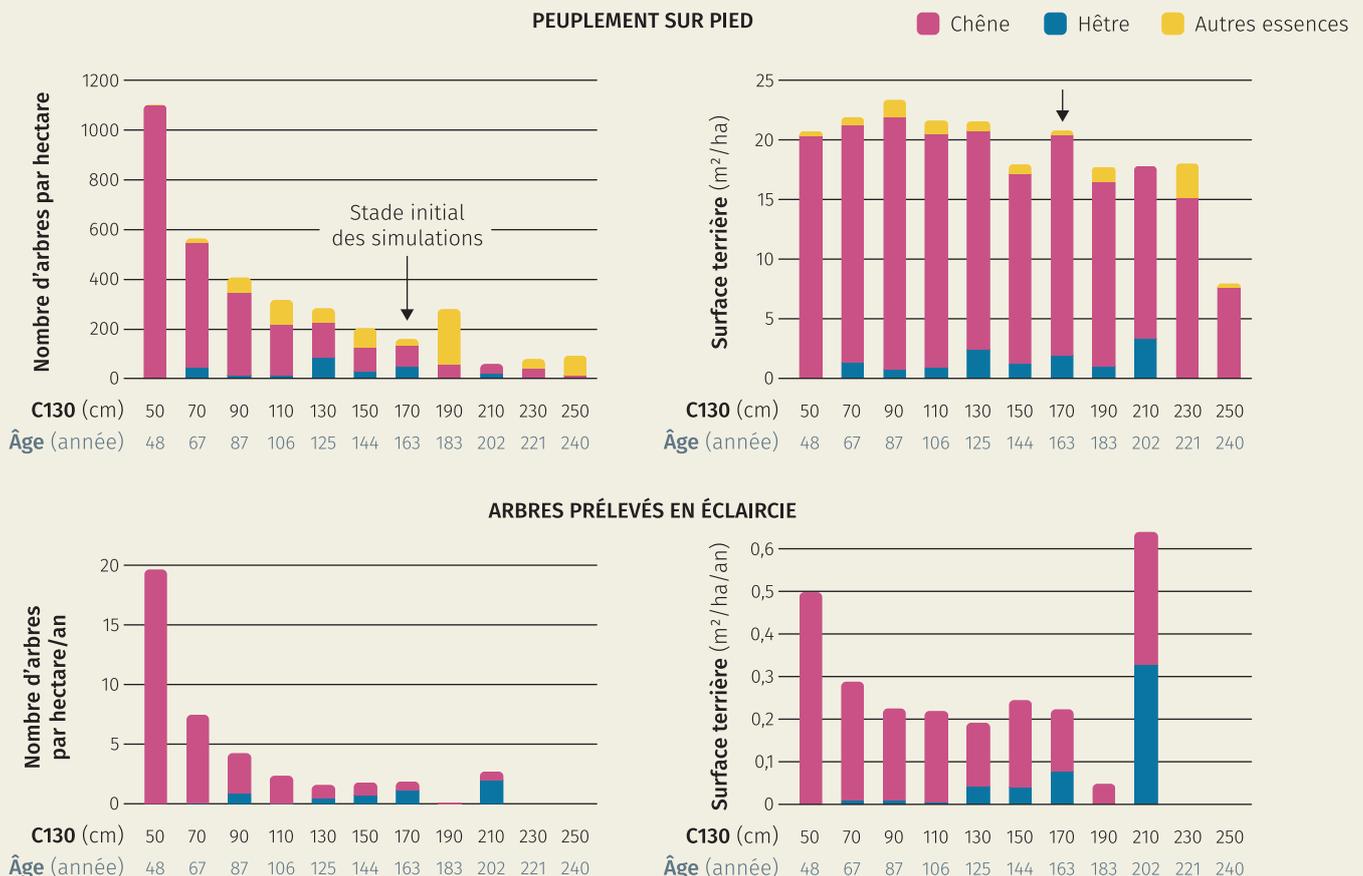
cours de laquelle nous avons demandé aux acteurs présents d'adopter tour à tour les optiques correspondant aux différents axes de prospective afin de nous aider à les traduire en itinéraires sylvicoles pour chaque cas de figure. Dans ce cadre, nous avons abordé les questions liées au choix du terme d'exploitabilité, à la composition spécifique, aux modalités de régénération et à la périodicité, l'intensité et la nature des coupes.

Propositions d'itinéraires sylvicoles pour la futaie régulière de chêne

Afin d'illustrer la démarche d'élaboration des itinéraires sylvicoles, nous décrivons ci-dessous les scénarios proposés pour la futaie régulière de chêne. Le mode actuel de gestion de ce type de peuplement en Wallonie a été caractérisé à partir des données des placettes de l'IPRFW présentant une structure de type « plantation », « jeune futaie » ou « futaie à un étage » et dont la proportion de chêne en surface terrière était supérieure à 80 %. Ces données ont permis d'établir l'évolution du nombre de tiges à l'hectare et de la surface terrière en fonction de la circonférence moyenne (figure 2). D'autre part, la

comparaison des données d'inventaires successifs au sein de ces mêmes placettes a fourni une estimation de l'accroissement moyen en circonférence qui s'élève à 1,04 cm/an et est relativement constant sur l'ensemble de la gamme de circonférences. Divisées par cette valeur d'accroissement, les circonférences peuvent être exprimées en âges et la distribution du nombre de tiges et de la surface terrière peut servir à caractériser l'évolution temporelle moyenne des chênaies régulières wallonnes. Par ailleurs, outre l'estimation de l'accroissement, les comparaisons d'inventaires permettent également de déterminer le nombre et la surface terrière des arbres exploités lors des éclaircies. L'évolution temporelle du peuplement sur pied combinée à celle du matériel prélevé en éclaircie reflètent dès lors la dynamique en cours dans ces forêts. Elles seront donc utilisées pour définir l'itinéraire sylvicole selon le « mode de gestion actuel ». Vu les faibles effectifs en chêne dans les catégories de circonférence au-delà de 210 cm (soit 202 ans), nous avons choisi un terme d'exploitabilité correspondant à 202 ans plus la durée d'une rotation de 12 ans, soit 214 ans. Cette espèce est régénérée par voie artificielle dans la majorité des cas au sein de nos forêts étant donné les difficultés rencontrées sur le terrain dans les tentatives de régénération naturelle.

Figure 2. Caractérisation du mode de gestion actuel dans les chênaies régulières wallonnes (source : IPRFW).



La plantation sera donc retenue pour les simulations. Après la phase de régénération, le cycle recommence selon le même schéma, en suivant la dynamique du peuplement sur pied et des éclaircies illustrées à la figure 2. Comme point de départ des simulations, il est envisagé de choisir un stade relativement mature du peuplement sur pied, assez proche du terme d'exploitabilité : le stade correspondant à une circonférence moyenne de 170 cm, soit un âge de 163 ans.

L'itinéraire sylvicole visant à l'intensification de la productivité sera établi sur base des normes propo-

sées par l'Office National des Forêts (ONF, France) pour la sylviculture dynamique du chêne en chênaies continentales⁴. La confrontation des courbes de hauteur dominante en fonction de l'âge aux données de l'IPRFW révèle que les chênaies wallonnes se situent essentiellement autour de la classe de fertilité la plus faible (figure 3). Les normes définies selon cette classe de fertilité seront donc appliquées. Elles sont présentées à la figure 4 en comparaison des données correspondant à l'itinéraire décrit ci-dessus selon le mode de gestion actuel en Wallonie. Ces normes visent la production d'individus atteignant une circonférence

Figure 3. Positionnement des futaies régulières de chêne wallonnes par rapport aux classes de fertilité définies pour les normes ONF de sylviculture dynamique des chênaies continentales (cas du chêne sessile). Concernant les données IPRFW, il est important de noter que l'âge est estimé sur base des circonférences moyennes des placettes inventoriées et de l'accroissement annuel moyen déterminé par comparaison d'inventaires. Une telle estimation de l'âge peut être à l'origine de l'évolution temporelle de la hauteur dominante moins prononcée pour les données de l'IPRFW que pour les courbes de productivité. Cependant, malgré cet artéfact potentiel, l'appartenance des chênaies wallonnes à la classe de fertilité la plus faible paraît indéniable (sources : SARDIN⁴ et IPRFW).

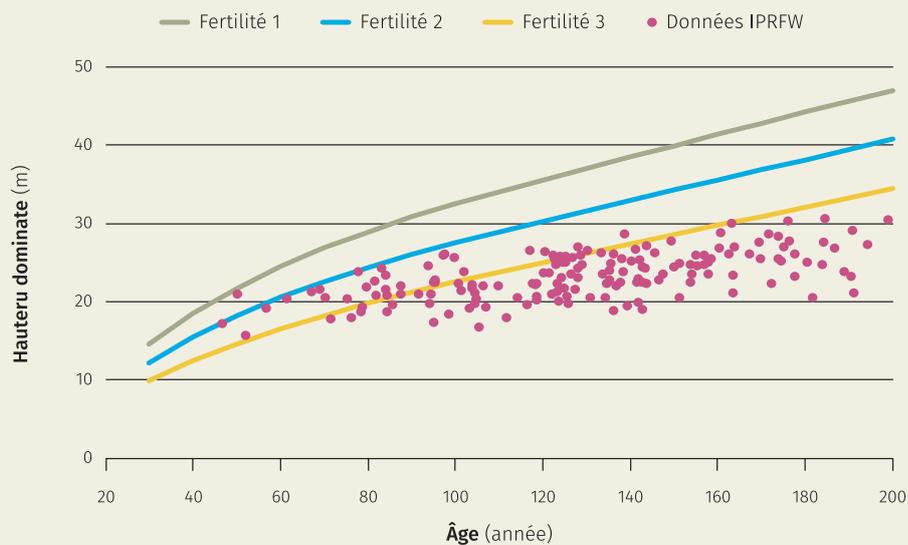
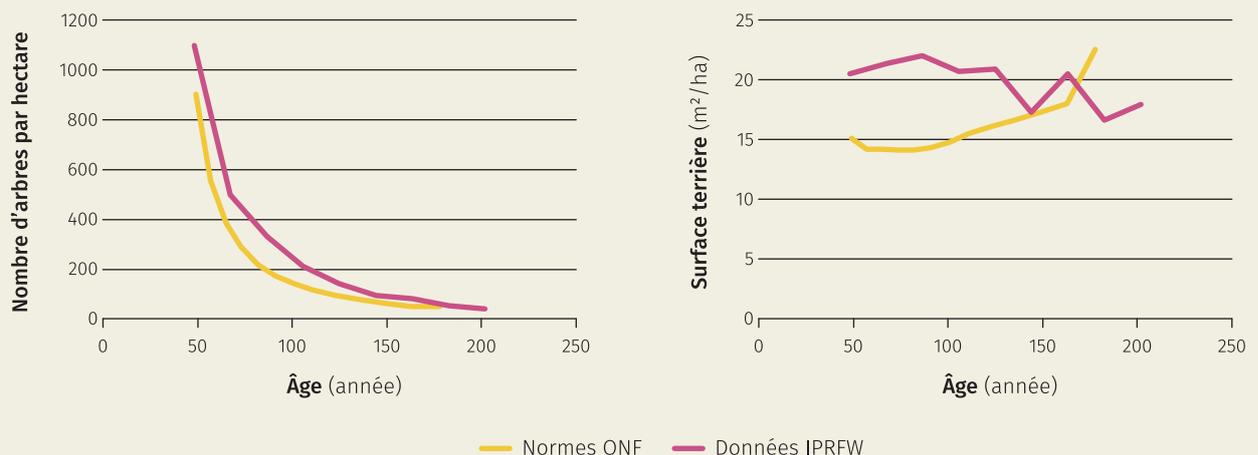


Figure 4. Comparaison de la norme ONF pour la sylviculture dynamique des chênaies continentales en classe de fertilité 3 (chêne sessile) aux données de l'IPRFW (sources : SARDIN⁴ et IPRFW).





de 240 cm en 180 ans, soit en 50 à 60 ans de moins que la gestion en vigueur dans nos chênaies. La régénération naturelle accompagnée de coupes d'ensemencement est prévue dans ce cas-ci. Par ailleurs, aussi bien l'auteur des normes que l'ensemble des participants à notre réunion préconisent de diversifier le peuplement en parallèle de la dynamisation de la sylviculture en favorisant ou en introduisant d'autres essences que le chêne au moment de la phase de régénération, les essences en mélange pouvant représenter jusqu'à 25 % du couvert total du peuplement. Parmi les espèces recommandées figurent l'érable, l'alisier, le merisier et le hêtre qui présentent une croissance rapide, fournissent un bois de qualité et procurent des revenus intermédiaires du fait de leur terme d'exploitabilité moins élevé que le chêne. Pour les mêmes raisons, le châtaignier et le chêne rouge d'Amérique sont également intéressants. Comme ces essences dites exotiques ne peuvent pas être introduites dans les forêts indigènes de grand intérêt biologique (UG8 Natura 2000), elles seront considérées dans des itinéraires sylvicoles alternatifs. Par ailleurs, on veillera à maintenir le mélange en étant notamment particulièrement interventionniste au niveau d'essences telles que le hêtre ou l'érable étant donné leur caractère envahissant.

Les lignes directrices pour l'établissement de l'itinéraire sylvicole mettant l'accent sur la diversification des traits fonctionnels rejoignent en partie les considérations formulées ci-dessus vis-à-vis de l'enrichis-

sement du peuplement. Des essences complémentaires sont cependant à considérer ici telles que le pin sylvestre ou le bouleau tant pour leur frugalité et leur tolérance à la sécheresse que pour leur couvert léger, propice au développement d'une végétation arbustive et herbacée ainsi qu'au mélange d'essences. D'autres espèces comme le charme, le noisetier ou le sorbier s'avèrent également intéressantes notamment de par la qualité de leur fane. Parmi ces dernières essences, la considération du noisetier et du sorbier dans les simulations sera toutefois difficile faute de données permettant la calibration et la validation du modèle pour ces espèces. Comme pour l'itinéraire précédent, une sylviculture dynamique est également préconisée ici mais prioritairement pour assurer la pérennité du mélange en contrôlant la compétition et en permettant le maintien des essences moins tolérantes à l'ombrage, plutôt que dans un but d'intensification de la productivité.

Enfin, l'itinéraire sylvicole selon l'option « mise en réserve » consistera à laisser évoluer le peuplement en l'absence d'intervention lors des simulations.

Perspectives

Le projet SUSTAINFOR est actuellement dans la phase d'amélioration et d'évaluation du modèle HETEROFOR. S'en suivra la mise en œuvre des itinéraires sylvicoles dans le modèle. Les simulations

POINTS-CLEFS

- ▶ L'adaptation aux changements climatiques constitue un défi majeur pour la restauration et le maintien de nos forêts.
- ▶ Un projet de recherche a été élaboré pour tester, au moyen d'un modèle décrivant le fonctionnement des écosystèmes forestiers, différents itinéraires sylvicoles en considérant les évolutions probables du climat.
- ▶ La démarche adoptée pour la définition des itinéraires sylvicoles envisagés pour différents peuplements types représentatifs des pessières et des chênaies-hêtraies wallonnes est illustrée pour le cas des chênaies régulières.
- ▶ Les résultats des simulations fournis par le modèle seront analysés afin d'identifier les itinéraires sylvicoles les plus prometteurs face aux changements climatiques et de les tester ensuite sur le terrain.

seront ensuite réalisées au départ des différentes situations initiales en combinant les itinéraires sylvicoles retenus aux projections climatiques. Enfin, les informations fournies par les simulations seront analysées en concertation avec les acteurs forestiers impliqués dans la définition des itinéraires sylvicoles. Les résultats seront synthétisés sous forme de recommandations aux gestionnaires forestiers et feront également l'objet d'un article. Les itinéraires sylvicoles apparaissant comme les plus pertinents pourront être mis en œuvre sur le terrain afin d'être testés.

Nous invitons vivement les lecteurs à nous exprimer leurs impressions par rapport à la démarche entreprise à travers ce projet et à nous faire part de leurs avis et conseils sur base de leur expertise pour la définition des itinéraires sylvicoles. Nous sommes particulièrement demandeurs d'opinions relatives à la définition d'itinéraires pour l'axe visant à l'intensification de la production par dynamisation de la sylviculture ou par enrichissement du peuplement ainsi que pour l'axe ayant pour objet le renforcement de la résilience par la diversification. Comme demandé aux acteurs forestiers présents lors de la réunion préparatoire, l'idée est ici de se mettre à la place d'un gestionnaire qui cherche à orienter sa gestion selon l'axe en question, ceci pour chacun des sept peuplements types considérés. Selon ces perspectives, quelles seraient selon vous les essences à considérer pour les options d'enrichissement en essences productives ou de diversification, quel timing adopter pour l'introduction de ces espèces et selon quelles modalités (régénération naturelle ou plantation, par trouées ou sous abri...), comment assurer le maintien du mélange (proportion des différentes essences, niveau

de surface terrière, intensité et nature des coupes, durée de la rotation...)? Quelles normes préconiserez-vous pour l'intensification de la production? Tel que mentionné ci-dessus pour l'exemple de la chênaie régulière, les stades initiaux correspondraient dans chaque cas de figure à un peuplement mature et, pour le mélange chêne-hêtre, aux derniers stades de transition du taillis-sous-futaie de chêne vers la hêtraie. N'hésitez pas à nous adresser le fruit de vos réflexions à l'adresse suivante : frederic.andre@uclouvain.be. Un grand merci d'avance pour vos contributions! ■

Bibliographie

- ¹ Alderweireld M., Burnay F., Pitchugin M., Lecomte H. (2015). *Inventaire Forestier Wallon. Résultats 1994-2012*. SPW, DGO3, DNF, Direction des Ressources forestières, Jambes, 236 p. 
- ² de Wergifosse L., André F., Beudez N., de Coligny F., Gousse H., Jonard F., Ponette Q., Vincke C., Jonard M. (soumis). HETEROFOR 1.0: a spatially explicit model for exploring the response of structurally complex forests to uncertain future conditions. II. Phenology and water cycle.
- ³ Jonard M., André F., de Coligny F., de Wergifosse L., Beudez N., Davi H., Ligot G., Ponette Q., Vincke C. (soumis). HETEROFOR 1.0: a spatially explicit model for exploring the response of structurally complex forests to uncertain future conditions. I. Carbon fluxes and tree dimensional growth.
- ⁴ Sardin T. (2008). *Chênaies continentales*. Collections « Guides des sylvicultures », ONF, Paris, 335 p.

Nous adressons nos sincères remerciements au groupe d'acteurs forestiers ayant participé à la réunion préparatoire à l'élaboration des itinéraires sylvicoles. Ce groupe était constitué de Jean-Pierre Scohy (DNF), Philippe de Wouters (SRFB), Christine Sanchez (Forêt.Nature), Grégory Timal (CDAF), Olivier Baudry, Gauthier Ligot (GxaBT, ULiège) et de Charles Debois (UNamur). Merci à eux pour la discussion fructueuse et pour leurs conseils avisés.

Crédits photos. P. Kosmider/Adobe Stock (p. 44), Gucio_55/Adobe Stock (p. 46), aga7ta/Adobe Stock (p. 48), M. Komarovskyy/Adobe Stock (p. 51).

Frédéric André

Louis de Wergifosse

Mathieu Jonard

frederic.andre@uclouvain.be

Earth and Life Institute, UCLouvain

Croix du Sud 2 bte L7.05.09 | B-1348 Louvain-la-Neuve