

## FORBIO Climate

### Potentiel d'adaptation de forêts diversifiées face au changement climatique

#### Résumé

On s'attend à ce que le changement climatique affecte considérablement la distribution, la composition et le fonctionnement des écosystèmes forestiers dans le monde en raison de la capacité de migration et d'adaptation limitée des arbres. La constitution de forêts résistantes et résilientes représente donc un enjeu majeur pour la gestion forestière. Il a été suggéré que des mécanismes épigénétiques pouvaient augmenter la capacité des arbres à survivre dans un environnement changeant, mais la magnitude et l'importance de ces mécanismes pour les semis et fourrés demeurent encore inconnus. La recherche a également montré que des écosystèmes plus diversifiés étaient mieux tamponnés face aux perturbations. Ces études furent toutefois majoritairement conduites en prairies. Il est donc essentiel d'approfondir notre compréhension de la capacité adaptative des arbres et des forêts à leurs différents stades de développement, et du rôle exercé par le mélange d'espèces dans l'atténuation du changement climatique.

FORBIO Climate entendait examiner la capacité adaptative d'espèces ligneuses ciblées et prédire le comportement futur de ces espèces en Belgique, dans un climat changeant. Le projet a porté sur le chêne (*Quercus robur/petraea*) et le hêtre (*Fagus sylvatica*), deux espèces ligneuses de grande importance écologique et économique en Belgique (et en Europe). FORBIO Climate s'est appuyé sur plusieurs infrastructures de recherche en Belgique et à l'étranger (p. ex. le site expérimental FORBIO de Zedelgem, la Plate-forme belge d'observation de la biodiversité, le dispositif expérimental ORPHEE en France, des plantations de type 'common garden' en Belgique et au Danemark) pour tester les hypothèses suivantes : (1) les mécanismes épigénétiques de transmission peuvent accroître la capacité adaptative des arbres face au changement climatique durant le stade de reproduction ; (2) aux différents stades de développement successifs, les arbres sont plus résistants et plus résilients au changement climatique en forêts plus diversifiées.

Le projet était structuré en cinq modules. Le module 1 a fourni des données climatiques passées qui ont été mises en relation avec les mesures effectuées sur les semis, les fourrés et les arbres matures des modules 2-4 afin d'appréhender l'impact des variations du climat sur le fonctionnement des arbres. Le module 1 a également fourni des simulations à haute résolution du climat futur. Dans le cadre du module 5, les réponses à la sécheresse et à la diversité spécifique ont été extrapolées à l'échelle nationale, et les parties prenantes ont été sondées quant à leur perception du changement climatique et aux mesures d'adaptation.

Le module 1 a fourni des données climatiques passées et futures à partir de stations météorologiques et de modèles climatiques régionaux à haute résolution, respectivement. Les données d'observation issues du réseau climatologique belge durant la période 1980-2016 ont d'abord été soumises à des tests de contrôle de qualité. Le krigeage utilisant la topographie comme variable auxiliaire et le krigeage ordinaire ont été ensuite utilisés pour interpoler les données journalières observées de température et de précipitation sur une grille de 4x4 km de résolution couvrant toute la Belgique ; ceci a permis d'obtenir le jeu de données climatiques d'observation final. Pour les simulations du climat, le modèle climatique régional ALARO-0 a été utilisé en s'appuyant sur une approche de 'downscaling' où l'atmosphère et la surface terrestre ont été modélisées de manière continue. Le modèle a d'abord été validé pour les conditions climatiques actuelles (1980-2010) par un downscaling dynamique d'un jeu de données à 4 x 4 km de résolution issu d'un modèle climatique global. Pour la simulation historique (1976-2005), une valeur constante de CO<sub>2</sub> a été utilisée ; pour les simulations portant sur le futur (2007-2100), des scénarios RCP (Representative Concentration Pathways) 2.6, 4.5 et 8.5 ont été implémentés, qui décrivent le forçage radiatif résultant des gaz à effet de serre, c-à-d la différence entre l'énergie radiative absorbée par la terre et l'énergie ré-émise vers l'espace. Le changement climatique a ensuite été calculé par différence entre les simulations historique et RCP. Les prédictions du modèle ont montré une augmentation consistante de la température de 0,3 to 4,2 °C, selon le scénario RCP, avec un réchauffement plus important dans les Ardennes comparativement au

reste du pays. Les précipitations annuelles moyennes ont montré une légère augmentation vers la fin du siècle, en raison d'épisodes de précipitations plus extrêmes, principalement en hiver et en automne. La vitesse du vent n'a pas changé de manière claire, tandis que l'humidité relative montrait une réduction faible mais consistante à la fin du siècle.

L'objectif du module 2 était de quantifier les effets épigénétiques de la température parentale sur la performance des semis, en utilisant différents dispositifs de chauffage (sol, branche, transplantation en dispositifs de type 'common garden'). La température parentale influençait le succès de germination, la phénologie du débourrement et la croissance des semis, et cet effet dépendait des conditions environnementales auxquelles la descendance était soumise. Par conséquent, il est nécessaire de considérer le cycle de vie et les conditions environnementales des parents pour prédire la réponse des arbres au changement climatique. Nous avons aussi considéré la méthylation du DNA comme un mécanisme épigénétique potentiel pour des effets trans-générationnels (dans ce cas, le changement phénologique lié à l'environnement parental). Nous avons utilisé la méthode Methylation Sensitive Amplified Fragment Length Polymorphism (MSAP) pour examiner la variation naturelle des patrons de méthylation du DNA au sein de plantes individuelles d'un même clône de peuplier hybride. Toutefois, nous n'avons pas pu confirmer le rôle de la méthylation dans les changements phénologiques liés à la température parentale. Des investigations à l'aide de techniques moléculaires plus puissantes comme le séquençage du génôme complet (whole-genome bisulphite sequencing) s'avéreraient nécessaires.

Le module 3 a quantifié l'impact de la diversité ligneuse et de la composition spécifique sur la performance de jeunes plants de chênes et de hêtres, et sur l'atténuation du stress lié à une sécheresse. A cette fin, un dispositif d'exclusion des pluies a été installé dans le site FORBIO de Zedelgem, en examinant l'impact sur la croissance et la vitalité des plants, sur des variables abiotiques du sol, sur les microorganismes du sol et sur la transformation de la matière organique du sol. En définitive, une réduction des précipitations de 50% sur 2 ans n'a pas affecté la croissance des arbres mais a influencé les processus biogéochimiques du sol, ce qui pourrait affecter à long terme la disponibilité en nutriments des arbres. Plusieurs processus du sol et la composition microbienne ont aussi été affectés par le mélange d'espèces. Ceci indique que, dans les jeunes peuplements, les processus souterrains pourraient être plus sensibles à la sécheresse et à la diversité ligneuse que les processus aériens. L'association d'autres espèces avec le chêne et le hêtre a provoqué certains effets stabilisants contre la sécheresse.

Le module 4 a examiné la performance de chênes et de hêtres matures dans des conditions de stress hydriques, et quantifié la contribution du mélange en terme d'atténuation des effets négatifs du climat sur la croissance d'arbres adultes. Nous avons sélectionné des triplets constitués de chêne et/ou de hêtre, et sondé les arbres dominants pour mesurer la croissance radiale. La croissance radiale a été utilisée pour tester l'impact du mélange sur la croissance individuelle, et plus spécifiquement, sur la réponse à des stress comme la sécheresse. Sur un sous-ensemble de carottes, les cernes formés en 2001 (avec un été normal) et 2003 (avec un été très sec) ont été analysés pour leur teneur en  $^{12}\text{C}$  et  $^{13}\text{C}$ ; le  $\delta^{13}\text{C}$ , qui est une mesure de l'exposition des arbres à la sécheresse, a ainsi pu être calculé. Des mesures dendrométriques ont été effectuées autour des arbres sondés pour caractériser le voisinage en termes de compétition et de composition spécifique. Dans les peuplements mélangés de chêne et de hêtre, le hêtre croissait plus rapidement comparativement aux monocultures correspondantes. Cependant, un inconvénient d'une croissance rapide est une consommation d'eau accrue, qui peut provoquer une dessiccation plus rapide du sol. De fait, nous avons montré que le mélange est bénéfique pour la croissance des hêtres lors d'années à faible croissance, quelles qu'en soient les causes (sécheresse ou autres facteurs environnementaux). Par conséquent, l'effet global du mélange d'espèces sur la productivité du hêtre en mélange reste positif. Le chêne, de son côté, croissait généralement plus lentement en mélange avec le hêtre, parce que le hêtre est plus compétitif. Cependant, ce désavantage pour le chêne devenait plus faible en conditions plus défavorables, et pouvait même s'inverser, par exemple sur des sites secs ; dans ces cas, la croissance du chêne bénéficie d'un mélange avec le hêtre. Ceci signifie également que lorsque les conditions deviennent plus défavorables, la croissance du chêne sera moins affectée en mélange qu'en monoculture. Dans ce contexte, le mélange peut être considéré comme une mesure de sécurité à la fois pour le chêne et pour le hêtre. Un point fort de ce module est aussi l'établissement d'un réseau de 8 triplets à base

de chêne et de hêtre, et l'obtention d'un jeu de données inédit portant sur la croissance radiale et le voisinage. En fait, ces sites servent déjà pour des prélèvements de sols dans le cadre d'autres projets de recherche sur le mélange.

Le module 5 est intervenu à un niveau plus intégré en termes d'échelles spatiale et temporelle, et de stades de développement forestier, sur le rôle de la diversité des arbres dans un contexte de changement climatique. Dans une première étape, les effets du changement climatique sur la dynamique des peuplements de hêtre et de chêne à l'échelle nationale ont été investigués. Des données du réseau ICP Forests, des inventaires forestiers régionaux de Flandre et de Wallonie, la carte numérique des sols de Belgique, le jeu de données climatiques du module 1 et un modèle digital de terrain ont été utilisés pour appréhender la croissance et l'état sanitaire des arbres; en particulier, elles ont permis d'examiner si la résilience à la sécheresse était liée à une augmentation de la diversité ligneuse, et si des peuplements mélangés pouvaient avoir une croissance supérieure aux peuplements purs. La défoliation du hêtre et du chêne a augmenté sensiblement depuis les années 1990. En considérant les réponses à long terme à des changements de température et de précipitation, la sévérité de la défoliation était plus faible à des niveaux plus élevés de diversité ligneuse. Le passage d'un effet négatif à un effet positif de la richesse spécifique sur l'état sanitaire, sous l'effet d'une augmentation du stress hydrique, n'avait jamais été reporté pour des écosystèmes en dehors de conditions expérimentales. La sécheresse causa également une réduction marquée de la croissance des arbres feuillus, en particulier le hêtre, même si nous avons observé que les arbres croissant en mélange étaient plus résilients à la sécheresse que ceux croissant en monoculture. En second lieu, un questionnaire a été réalisé pour documenter la perception des propriétaires et gestionnaires forestiers quant à la vulnérabilité des forêts au changement climatique et à la mise en oeuvre d'actions spécifiques pour augmenter la résilience des forêts. Nous avons trouvé qu'il y avait un net déséquilibre entre la connaissance des impacts des changements climatiques et les pratiques d'adaptation effectivement mises en place par les gestionnaires forestiers, probablement en raison d'un manque d'information locale pertinente et pratique. Troisièmement, une revue systématique de la littérature publiée sur les effets de la diversité ligneuse dans un contexte de changements climatiques est toujours en cours.

Nos résultats démontrent que la gestion des chênaies et des hêtraies pour maintenir ou accroître la diversité taxonomique, fonctionnelle et/ou génétique contribue à atténuer la vulnérabilité de ces forêts à la sécheresse dans des conditions climatiques changeantes. Des peuplements mélangés garantissent aux gestionnaires davantage d'options pour le développement futur du peuplement, puisqu'ils diminuent la vulnérabilité à laquelle les monocultures sont soumises au vu des changements climatiques futurs. Le suivi harmonisé à long terme de la vitalité des forêts est une méthode efficace pour détecter les changements de l'état sanitaire et de la productivité induits par le changement climatique et la diversité ligneuse. L'augmentation continue de la qualité des données s'est avéré payant, et cet effort de monitoring mérite donc d'être poursuivi dans le temps. Des recherches ultérieures pourraient cibler une gamme plus large d'espèces et des changements climatiques multiples dans différents écosystèmes pour mieux prédire la réponse des arbres au changement climatique.

Mots-clés : changements climatiques ; épigénétique ; *Fagus sylvatica*; *Quercus* sp. ; diversité ligneuse