

# Quelques considérations pour adapter nos forêts aux changements climatiques

par Hugues Claessens, Université de Liège - Gembloux Agro-Bio Tech

Au cœur d'une grande forêt naturelle comme celle d'Anlier, de Saint-Hubert ou de Daverdisse, le promeneur ressent souvent une impression de calme et de stabilité. Cela pourrait faire penser que la forêt est éternelle et sa forme immuable. Il n'en est rien, ce n'est qu'une question d'échelle temporelle, car depuis toujours, la forêt n'est que changement, dans sa surface, sa structure et sa composition, disparaissant parfois totalement pour recoloniser ensuite l'espace avec d'autres essences.

Cet article fait suite à la conférence « Quelles essences pour notre forêt future ? » donnée par Hugues Claessens à l'occasion de notre assemblée générale en avril dernier.

## Les changements en question

Il y a des dizaines de millions d'années, les terres de l'ensemble de l'hémisphère Nord formaient un seul continent de l'Amérique à l'Asie. Sa partie tempérée était couverte d'une seule grande forêt comportant de nombreuses espèces ligneuses qui se distribuaient sur toute sa surface : tilleuls, ormes, sorbiers, bouleaux, catalpa, pins, mélèzes, tsugas, thuyas, etc., dont on trouve encore les descendants dans les désormais différentes forêts tempérées de l'hémisphère Nord.

Cette grande unité a ensuite été divisée par la dérive des continents qui isole l'Amérique de l'Eurasie, puis par l'érection des massifs montagneux lors de la période alpine, il y a environ 15 millions d'années (Rocheuses, Alpes, Himalaya). Le résultat de ces chamboulements fut l'isolement de 4 grandes forêts tempérées, respectivement de l'Ouest et de l'Est de l'Amérique du Nord, de l'Europe jusqu'aux frontières de la Sibérie, et de la Chine au delà de l'Himalaya et de la Mongolie (figure 1).

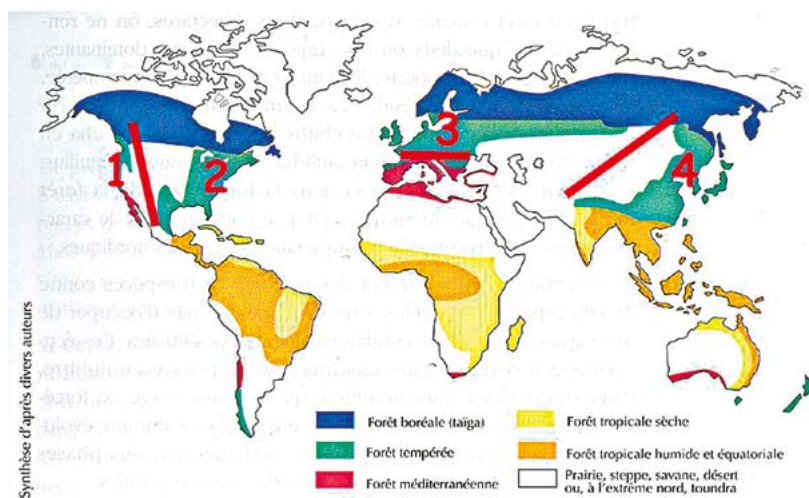


Figure 1. Séparation des 4 grands massifs de forêts tempérées de l'hémisphère Nord (zones vertes, chiffres 1 à 4) sous l'effet de la dérive des continents et de l'érection des chaînes alpines (lignes rouges) (extrait de Riou-Nivert, 2005, adapté)

Au sein de ces 4 grands massifs, les espèces ont alors évolué indépendamment, dans leur isolement, en adéquation avec leurs conditions écologiques, elles-mêmes changeantes au gré de la dérive des continents. Finalement, ces événements ont produit ces 4 grands types de forêts bien différentes que l'on connaît actuellement :

- les forêts de résineux géants du Pacifique,
- les forêts feuillues colorées et diversifiées de l'Est américain,
- les forêts feuillues et mixtes d'Europe,
- les forêts des montagnes de Chine tempérée et du Japon.

Plus récemment (si j'ose écrire), les glaciations du dernier demi-million d'années ont mis cette forêt à rude épreuve. Une suite de périodes froides ont fait périodiquement descendre les glaces sur les forêts tempérées, obligeant chaque fois les espèces à migrer vers le Sud. Pas de chance pour l'Europe : sur le chemin du Sud, les Alpes et les mers ont formé une barrière infranchissable qui a provoqué l'extinction de nombreuses espèces prises au piège du froid (figure 2). C'est pour cette raison, qu'en comparaison avec les autres massifs tempérés qui n'ont pas cette configuration géomorphologique, la flore lignoise européenne est si pauvre en espèces.

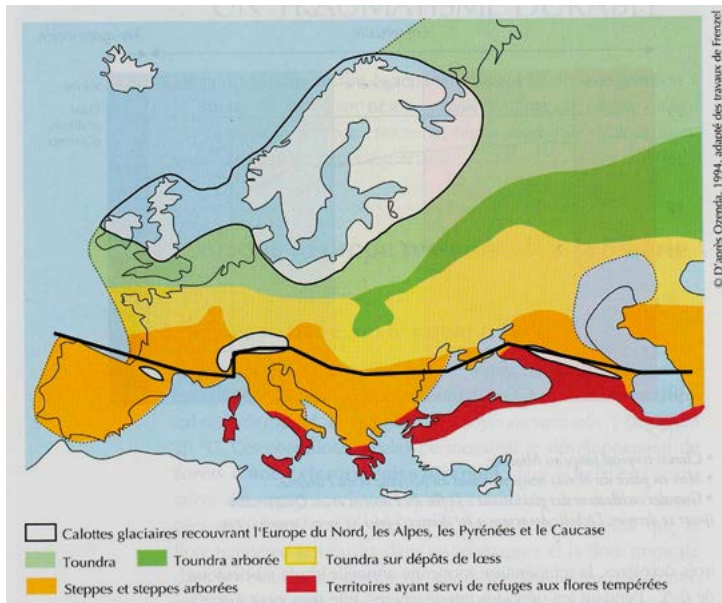


Figure 2 : végétation de l'Europe au plus fort de la dernière glaciation, il y a environ 20.000 ans. En trait noir, les barrières montagneuses ou marines à la migration des espèces (extrait de Riou-Nivert, 2005, adapté)

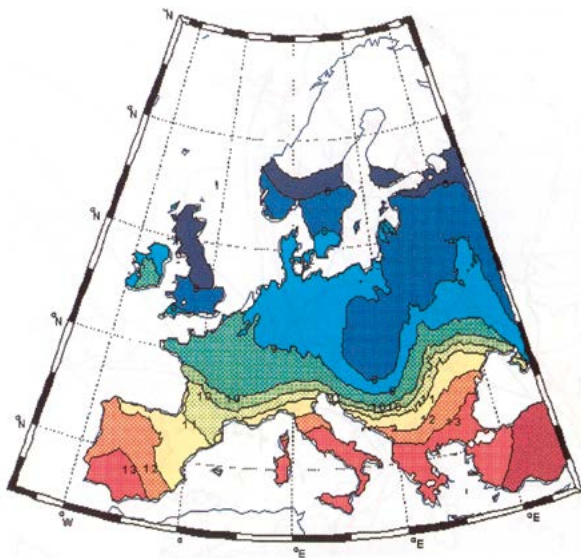


Figure 3 : vitesse de recolonisation du chêne pédonculé en Europe après la dernière glaciation (Lemaire, 2010)

Depuis la fin de la dernière glaciation, qui culmina il y a plus ou moins 20.000 ans, ce qu'il restait de la forêt tempérée dans ses refuges méridionaux méditerranéens et pontiques a tant bien que mal recolonisé l'Europe. Depuis environ 10.000 ans, une couverture forestière s'est reconstituée, d'abord à base de pins et de bouleaux, puis de noisetiers, aulnes, tilleuls, ormes, chênes (figure 3). Ce n'est que depuis 3 à 4 millénaires que le hêtre a pris sa position dominante au niveau de notre région. Seulement une quinzaine de révolutions de hêtre en somme, si l'on considère une durée de vie de 250 ans.

Mais il ne faut pas considérer cet état actuel comme définitif. Il est certain que la couverture forestière est en constante adaptation aux incessantes fluctuations climatiques de la Terre.

De surcroît, depuis quelques millénaires, une espèce animale récente influence de plus en plus la forêt dans sa surface, sa structure et sa composition, et même, par son activité incessante, elle modifie significativement le climat : l'homme. Cette nouvelle source de variation a pris le relais du climat pour modifier la couverture forestière. D'abord modestement, en utilisant la forêt pour s'y nourrir, entretenant et étendant des clairières pour la chasse et l'agriculture itinérante ; ensuite plus drastiquement, en déboisant pour l'agriculture et l'exploitation du matériau bois. Ainsi, le taux de boisement de la Belgique est descendu jusqu'à 15%, alors qu'originellement, on peut l'estimer aux alentours de 80%. Non seulement, la forêt a été réduite, mais ce qu'il en restait a été fortement modifié. Les besoins en chêne des sociétés humaines<sup>1</sup> puis en énergie lors de l'industrialisation au cours des 18<sup>e</sup> et 19<sup>e</sup> siècles ont favorisé le chêne et les régimes du taillis et du taillis sous futaie, tout en surexploitant la ressource jusqu'à produire des forêts très claires. Au milieu du 19<sup>e</sup> siècle, 75% de la surface forestière de Belgique servait à produire intensément du charbon de bois (Hardy et Dufeyt, 2015).

La forêt n'a dû son salut qu'à la découverte du charbon et du pétrole. La pression a alors diminué et les besoins en étais de mine sont devenus inimaginables : au plus fort de l'exploitation du charbon, chaque année, 2 millions de m<sup>3</sup> de bois étaient enfouis dans les galeries. La Belgique n'était

1 La « civilisation du chêne » selon Goblet d'Alviella.



même plus autosuffisante. Ce fut alors une période de reboisement de landes (devenues inutilisées suite à la mondialisation du commerce de la laine), de terres agricoles marginales et de forêts dévastées par la surexploitation. La surface forestière belge a ainsi grandi de l'ordre de 30% en l'espace d'un siècle entre 1870 et 1970<sup>1</sup>. Mais dans cette phase de reboisement aussi, l'homme a éloigné la forêt de sa forme naturelle : de l'ordre de 300.000 ha (la moitié de la forêt belge actuelle) ont été plantés en résineux, essentiellement en pin et en épicéa, espèces nouvelles dans les plaines de l'Europe occidentale, mais tellement efficaces pour les objectifs qui leur étaient assignés. Finalement, peu de forêts ont traversé intactes ces vicissitudes. Au niveau de la Wallonie, seul un tiers des forêts actuelles peuvent être considérées comme des forêts tempérées relictuelles (Kervyn et al., 2014), quoique pour la plupart, fortement modifiées dans leur structure et leur composition.

Par son activité débordante, l'homme a aussi modifié le climat, dix fois plus vite que les fluctuations naturelles de la Terre. Nous ne savons d'ailleurs pas vraiment quelle ampleur future auront ces modifications car il reste trop d'incertitudes. Comment nous comporterons-nous vis-à-vis de la consommation d'énergies fossiles responsables de l'emballement du réchauffement ? A-t-on bien tout intégré dans les modèles d'évolution climatique ? La capacité d'absorption des océans ? Le dégagement de méthane des sols qui dégèleront ? L'évolution de la nébulosité ... des courants marins ? Le passage de seuils critiques de basculement ?

Toutefois, à la grosse louche, en utilisant les modèles que le GIEC<sup>2</sup> a proposés, on peut s'attendre, pour notre pays, à ce que quelques valeurs climatiques évoluent fortement au cours de ce siècle. En particulier, nous pouvons pointer les changements suivants pour la forêt belge de 2100.

1 Tenant compte de l'extension de la Belgique après la première guerre mondiale.

2 Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.

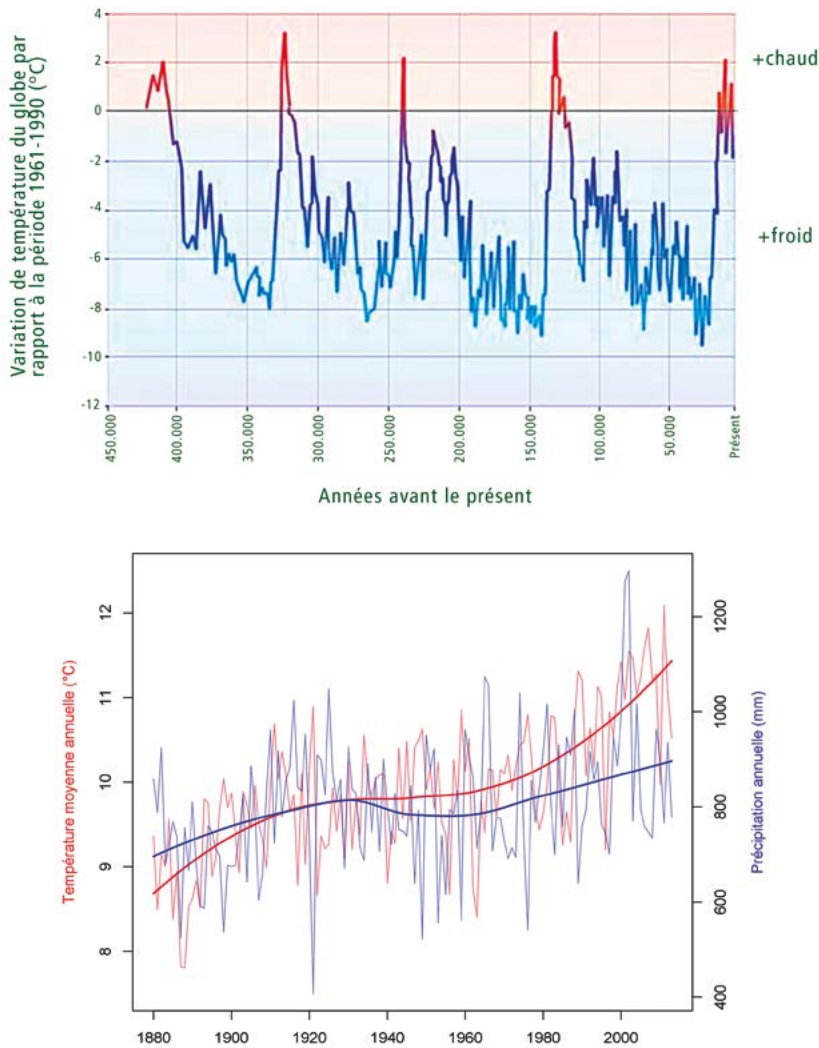


Figure 4 - Évolution des températures au cours des glaciations (moyenne mondiale, en haut) et au cours du dernier siècle (Uccle, en bas). L'évolution de la température est 10 fois plus rapide actuellement que lors des épisodes interglaciaires.

- La température moyenne annuelle devrait augmenter de quelques degrés (de l'ordre de 2 à 3°C), entraînant :
  - un allongement de la période de végétation ;
  - une température plus élevée en période de végétation (de l'ordre de 3 à 4°C) ;
  - des vagues de chaleur estivales (canicules) plus prononcées ;

- des tempêtes plus fréquentes du fait de l'augmentation de l'énergie stockée dans l'atmosphère.

- Une modification du régime des précipitations, se traduisant par :
  - des pluies plus importantes en hiver (+20%) ;
  - moins de pluies en été (-20%), mais plus concentrées et brutales (orages).
- Des épisodes de sécheresse marquée en été du fait de l'augmentation de la température sollicitant l'évapotranspiration couplée à de moindres précipitations.

Si on ne peut quantifier très précisément l'ampleur de ces variations, on peut toutefois prévoir qu'elles seront considérables et inédites dans leur rapidité. Déjà au cours du 20<sup>e</sup> siècle, on a observé une augmentation des températures de plus de 1°C, alors qu'au cours des périodes de glaciations, un tel écart se mettait en place dix fois moins vite (figure 4). De quoi surprendre nos arbres forestiers et les écosystèmes tout entiers.

Pourtant, malgré toutes ces perturbations, nous avons vu que la nature trouve toujours une parade en adaptant ses écosystèmes à l'évolution des conditions climatiques ou de la pression humaine. Sous nos latitudes, très favorables à la végétation, ce n'est pas au cours de ce siècle que

les forêts disparaîtront. Mais leur adaptation aux changements posera sans nul doute de sérieux problèmes de gestion car la dynamique naturelle ne correspond pas forcément aux objectifs du sylviculteur. Des changements d'essence et de mode de gestion s'imposeront, accompagnés de complications au fur et à mesure que le climat se réchauffera.

## A quoi nos forêts doivent-elles s'attendre ?

### Un déplacement des végétations

On peut penser que, comme lors des phases de réchauffement entre les glaciations, les espèces vont migrer. Ainsi, une première approche grossière consiste à établir des cartes de distribution potentielle des essences dans

le futur, sous l'effet des changements climatiques prévus par les modèles d'évolution du climat. La littérature scientifique regorge de cartes réalisées à l'horizon 2100, généralement très alarmantes (Badeau et al., 2007, Falk et

Hempelmann, 2013), plaçant par exemple presque toute la France dans l'aire de la chênaie méditerranéenne.

Elles permettent surtout de sensibiliser les gestionnaires à la réalité et à l'ampleur des changements qui nous attendent à une échéance assez proche si on la compare à la longévité des arbres. Par contre, ces cartes ne reflètent pas la réalité de terrain future, ni en termes de composition des forêts, ni en termes de vitesse de mutation, car ce serait oublier le rôle du forestier et le fonctionnement des dynamiques naturelles. En effet, d'une part, l'homme fera son choix d'essences au gré des régénérations, donnant la priorité à celles qui le servent. D'autre

part, les mutations se feront par crises sanitaires successives, concernant d'abord les peuplements les plus instables comme les essences en inadéquation avec leur station (les « erreurs du forestier ») ou en limite de leurs tolérances climatiques. C'est probablement ce que l'on vit actuellement avec le dépérissement du chêne pédonculé sur les sols secs et acides de l'Ardenne.

## Effets directs sur les arbres

On peut par contre essayer d'identifier les principaux impacts des changements climatiques sur les arbres.

Ainsi, dans un premier temps, au cours du 20<sup>e</sup> siècle, on a pu observer que la légère hausse des températures et l'allongement de la saison de végétation ont plutôt stimulé la croissance des arbres, au même titre d'ailleurs que l'augmentation de CO<sub>2</sub> et des pollutions azotées ou encore la dynamisation de la sylviculture (Bon-temps et al., 2009). On notera toutefois que sur des sols pauvres, cette modification d'équilibre peut induire des carences car les arbres épuisent plus rapidement les réserves nutritives du sol (cas de l'épicéa et du hêtre en Ardenne, Weissen et al., 1990).

Dans un second temps, un stress hydrique est provoqué par l'augmentation des températures s'accompagnant de canicules plus intenses, alors que les précipitations n'augmentent pas ou se font plus rares en période de végétation. En effet, dans ce cas, les feuilles transpirent plus abondamment alors que l'alimentation en eau ne suit pas la demande. Cela se traduit dès lors par des baisses de croissance (figure 5), voire de défoliations partielles. L'arbre est alors fragilisé et peut devenir plus sensible aux insectes et maladies. La fréquence de ces stress augmentant, la croissance de l'arbre diminue globalement, comme l'a montré l'analyse dendrochronologique du hêtre en Belgique depuis quelques années (figure 6).

Indépendamment de ces effets de stress hydriques, qui sont vus comme le risque majeur pour nos forêts au cours du 21<sup>e</sup>

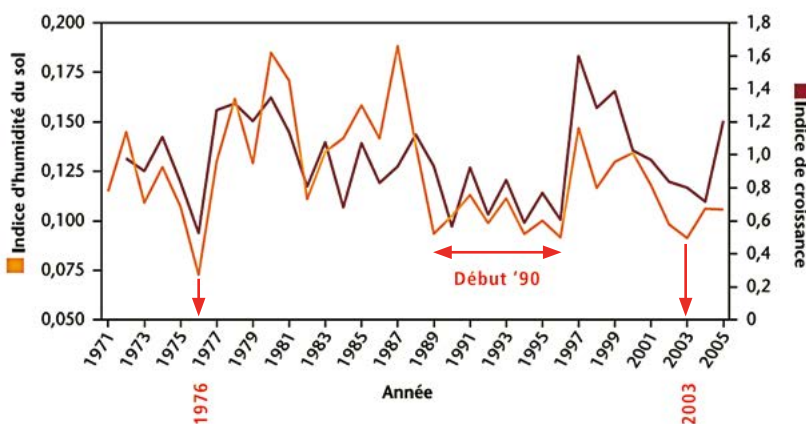


Figure 5 : Relation entre l'humidité en eau du sol et la croissance de l'épicéa. On observe un parallélisme important entre l'évolution des deux variables (Latte et al., 2012)

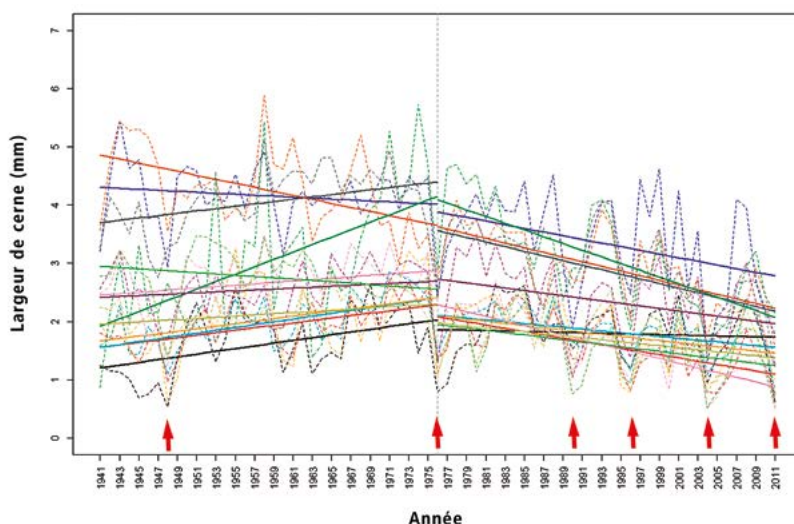


Figure 6 : Évolution de la croissance annuelle du hêtre (différents sites depuis l'Ardenne jusqu'aux plaines de l'Escaut, symbolisés par des couleurs) de 1941 à 2011. Les droites montrent la tendance à l'augmentation de l'accroissement jusqu'en 1976, suivie d'une tendance à la baisse sous l'effet des années climatiques difficiles (années sèches et/ou caniculaires, symbolisées par les flèches rouges).



	Élévation de la température	Canicule	Sécheresse climatique	Déficit hydrique (sol)	Engorgement du sol	Stabilité au vent	
Robinier	●	○	○	○	●	○	Favorisées
Tilleul à petites feuilles	●	○	○	○	○	○	
Chêne sessile	○	○	○	○	○	○	Indifférentes
Charme	○	○	○	○	○	○	
Douglas	○	○	○	○	●	○	
Chêne pédonculé	○	○	○	●	○	○	Attention aux réserves hydriques
Merisier	●	○	●	●	●	○	
Frêne	○	○	●	●	○	○	Sensibles
Érable sycomore	○	●	●	●	○	○	
Hêtre	○	●	●	●	●	●	Fragilisées
Épicéa	●	●	●	●	●	●	

Figure 9 : sensibilité de différentes essences à quelques paramètres stationnels en relation avec les changements climatiques (évaluations extraites des travaux de mise à jour du fichier écologique des essences)

## Que peut faire le forestier pour adapter sa forêt ?

Malgré la certitude d'un réchauffement global de la planète, il reste des incertitudes à l'échelle locale de la Belgique. Quels sera vraiment l'ampleur des changements ? Quel sera le comportement des parasites et ravageurs ? Jusqu'à quel point les arbres et l'écosystème forêt sont-ils capables de s'adapter aux changements environnementaux ? Face à ces inconnues, il faut donc envisager l'adaptation de nos forêts de manière subtile. Ne pas engager de grandes mutations radicales en cédant à la panique, mais plutôt accompagner les changements par une gestion adaptative.

Le principe général est de placer les arbres dans les meilleures conditions possibles afin qu'ils soient aptes à résister au mieux aux stress climatiques et biotiques. Et au niveau de la forêt, de l'organiser de manière à ce qu'elle soit capable de rapidement cicatrifier les dégâts des crises sanitaires ou des tempêtes. C'est la notion de résilience. En termes opérationnels, cela amène à mettre

en œuvre quelques grands types de mesures. On peut les qualifier de « mesures sans regret » car, quoiqu'il arrive, elles sont favorables à la forêt :

- replier les essences sur leurs stations optimales,
- favoriser la diversité dans tous ses états,
- adapter la sylviculture aux risques,
- protéger les ressources en eau,
- maintenir un réseau de forêts subnaturelles en bon état de fonctionnement.

### Repli sur les stations optimales

Cultiver chaque essence dans son optimum écologique constitue une gage de bonne santé. Cela favorisera le bon développement de l'essence et sa capacité à surmonter les stress pour éviter de se faire entraîner dans la spirale de Manion. L'optimum s'envisage à la fois par rapport au climat et aux caractéristiques locales des stations. Mieux

vaut donc n'envisager une essence qu'au sein de son aire de distribution principale ou dans son aire d'extension. A cet effet, les cartes prévisionnelles de distribution potentielle peuvent guider ces choix. Par exemple, on ne favorisera l'épicéa que sur le plateau ardennais (figure 10), ou on évitera de miser sur le hêtre en Basse Belgique. Au niveau local, il faut limiter les essences aux stations qui satisfont à leurs exigences en matière de disponibilité en éléments nutritifs, en oxygène, et surtout en eau, ressource qui deviendra sans doute la plus déterminante.

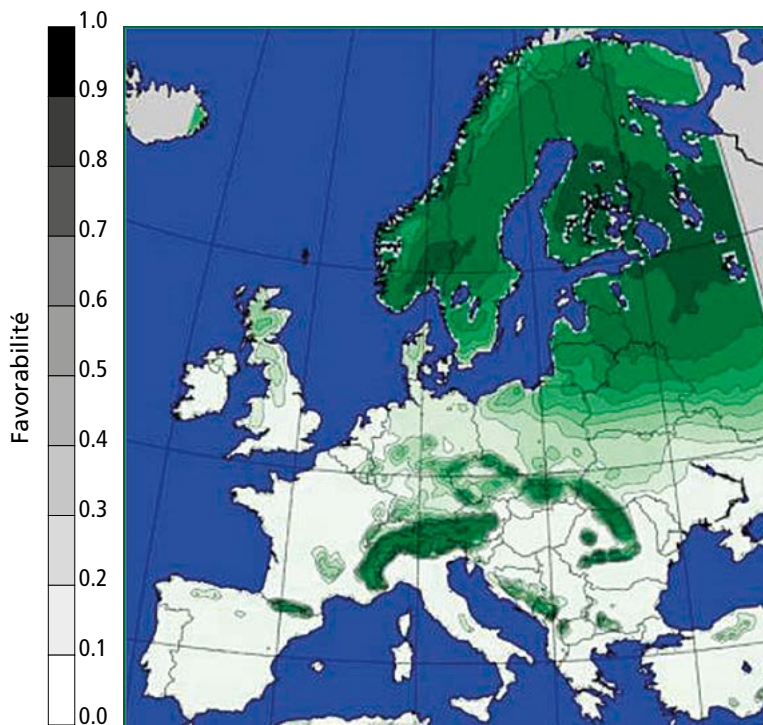


Figure 10 : carte prévisionnelle de la zone favorable à l'épicéa au milieu du 21<sup>e</sup> siècle (Falk et Hempelmann, 2013)

L'analyse de la station devient un acte encore plus indispensable qu'auparavant, car il n'est plus question de «favoriser ce qui marche» ou de «planter ce qui a fait ses preuves» sans une réflexion préalable. Pour cela, le fichier écologique des essences, en cours de révision, notamment vis-à-vis des changements climatiques, constitue un outil efficace, mais il ne faut pas hésiter à aller au delà, avec des essences exotiques qui ne s'y trouvent pas répertoriées, mais qui pourraient tirer parti des changements climatiques.

## Favoriser la diversité dans tous ses états

La diversité est un facteur-clé du bon fonctionnement des écosystèmes et de leur adaptation aux changements environnementaux, aux niveaux génétique et spécifique. On connaît les risques sanitaires que représentent les clones (par exemple en peuplier) et la consanguinité. Le choix de provenances diversifiées et adaptées permet d'assurer une diversité génétique aux plantations. Mais la régénération naturelle est aussi un gage de diversité car les plages de semis offrent des possibilités de sélection infiniment plus grandes. De surcroît, elle provient d'arbres qui se trouvent parmi les dominants, les mieux adaptés à leur environnement, eux-mêmes issus d'un siècle de sélection par la station et même par les derniers accidents climatiques.

La diversité d'essences est aussi très importante, de plusieurs points de vue. Elle dilue les risques selon le principe de «ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier». Elle maximise les interactions protectrices entre essences (exemple du pin qui abrite les parasites des scolytes de l'épicéa). Les diverses essences constituent les unes pour les autres des barrières à la dissémination des ravageurs et parasites. Par exemple, les bioagresseurs qui sont portés par le vent s'échouent dans des arbres non-hôtes, ou encore, les ravageurs ne trouvent pas si facilement leurs essences favorites dans le mélange, notamment en raison des mélanges de parfums.

Pour favoriser les mélanges et la diversité en général, il ne faut plus se limiter aux quatre essences principales (chênes, hêtre et épicéa) qui formaient encore il y a peu les 3/4 de la ressource en Wallonie. Fini de snober les essences secondaires comme le bouleau, le tilleul ou l'aulne glutineux qui ont de bons potentiels de développement dans le siècle à venir. Il faut reconsidérer de manière raisonnée la place des essences exotiques plus tolérantes au climat comme le chêne rouge, le châtaigner et les pins laricios et envisager des solutions nouvelles comme le cèdre, le platane ou encore des espèces plus «improbables». Le moment est sans doute venu de relancer les arboretums et la recherche génétique en quête de nouvelles essences et provenances. Toutefois, la difficulté résidera dans le fait que, si les étés sont plus chauds, les hivers peuvent malgré tout encore se montrer rigoureux et empêcher les expérimentations de boi-sement originales.





© Roger Culos via Tela-botanica

### Adapter la sylviculture aux risques

On peut comprendre la fierté bien ancrée de produire de très hauts fûts par la pratique d'éclaircies légères. Mais les nouvelles contraintes ne justifient plus cette prise de risque. En effet, ces éclaircies conservatrices contraignent les arbres dans un état de forte concurrence qui n'est pas compatible avec la forte vitalité qui est nécessaire pour supporter le stress. De surcroît, elles allongent la révolution nécessaire pour obtenir des grumes aux dimensions commerciales. Cela a deux malheureuses conséquences : l'allongement de la période d'exposition des arbres aux risques, notamment de tempêtes, et l'augmentation du risque lui-même du fait qu'au cours de leur vieillissement, les arbres, déjà effilés dès le départ en raison des éclaircies faibles, atteignent des hauteurs qui les prédisposent aux chablis.

Mieux vaut adopter une sylviculture dynamique. Celle-ci, par des éclaircies plus précoces et plus intenses, limite la concurrence entre arbres. Ces éclaircies façonnent des individus moins effilés, en bon équilibre physiologique et disposant d'une plus grande quantité de ressources lumineuses, trophiques, et surtout hydriques. Récoltés plus

jeunes et en pleine vitalité, ces arbres auront été moins exposés aux risques en tous genres.

Finalement, si la sylviculture tire parti des variations stationnelles pour placer chaque essence à l'optimum et favoriser ainsi la diversification, et qu'un régime d'éclaircies dynamiques est mis en place, il y a fort à parier que la forêt s'orientera d'elle-même vers des structures plus complexes, c'est-à-dire vers une futaie irrégulière et mélangée. Ce mode de traitement des forêts pourrait effectivement constituer un modèle idéal en termes de minimisation des risques et de résilience de la forêt lors des accidents sanitaires ou climatiques.

### Protéger les réserves hydriques des sols

Puisque la disponibilité en eau risque de devenir un facteur limitant, il importe d'en tenir compte dans la gestion courante. A ce titre, quelques voies de portée assez générale sont à encourager :

- éviter le drainage des sols car il limite la capacité de stockage d'eau en prévision de la période de végétation ;
- éviter le tassement des sols car il réduit la place disponible pour stocker l'eau (la porosité) et favorise les pertes d'eau par ruissellement de surface. On peut ainsi installer un réseau de voies permanentes de débarquement que les machines ne quitteront jamais (des cloisonnements d'exploitation). Bien conçus, ils favorisent l'organisation des coupes et le travail des exploitants ;
- favoriser des essences à enracinement profond car elles structurent le sol, ce qui permet une meilleure infiltration de l'eau en profondeur, augmentant ainsi la capacité de stockage ;
- limiter la consommation d'eau en limitant la densité des peuplements. Cela va de pair avec la sylviculture dynamique qui est préconisée plus haut.

### Protéger un réseau de forêts subnaturelles en bon état de fonctionnement

Enfin, le forestier a toujours su qu'il a beaucoup à apprendre de l'observation de la forêt. C'est plus que jamais le cas en ce qui concerne la réaction des écosystèmes face aux changements climatiques. Comment les populations d'arbres sont-elles capables de surmonter les accidents climatiques ou les problèmes sanitaires ? Comment et à quel rythme la composition des forêts s'adapte-t-elle aux changements ? En bref, comment la dynamique propre des écosystèmes forestiers permet-elle l'adaptation progressive des forêts ? Ce sont autant de questions qui ne trouveront leurs réponses que par l'observation de forêts subnaturelles préservées dans un bon état de fonctionnement.

## Conclusion

La gestion forestière ne se conçoit qu'à long terme. Les décisions actuelles contribuent à définir la forêt de la fin du 21<sup>e</sup> siècle. Et pourtant, contrairement à la situation confortable de nos prédécesseurs, nous sommes dans l'incertitude quant aux conditions écologiques qui prévaleront d'ici la fin du siècle. À combien de sécheresses et canicules brûlantes les arbres seront-ils confrontés ? Doit-on craindre des vagues d'insectes et l'émergence de nouvelles maladies ? Ou même, à plus long terme, le Gulf Stream arrêtera-t-il de réchauffer notre continent ?

Face à ces incertitudes, le forestier peut prendre une série de mesures pour mettre sa forêt dans les meilleures conditions possibles pour qu'elle soit la mieux armée pour s'adapter aux changements, quels qu'ils soient. On peut les qualifier de « mesures sans regret » car, quoi qu'il arrive, elles sont favorables à la forêt. Mais dès à présent, le forestier doit aussi faire preuve d'imagination pour préparer les réactions possibles aux conséquences probables de ces changements.

## Bibliographie

### Références citées

- Badeau V., Dupouey J.-L., Cluzeau C., Drapier J. 2007. Aires potentielles des essences forestières d'ici 2100. Rendez-vous techniques de l'ONF. Hors série 3, 62-66.
- Bontemps, J.D., Hervé, J.C., Dhôte, J., 2009. Long-term changes in forest productivity : a consistent assessment in even-aged stands. *For. Sci.* 55, 549-564.
- Falk W., Hempelmann N. 2013. Species favourability shift in Europe due to climate change. A case study for *Fagus sylvatica* L. and *Picea abies* (L)Karst. based on an ensemble of climate models. *Journal of climatology*
- Hardy B., Dufeyt J. 2015. La forêt wallonne, composante vitale de la sidérurgie préindustrielle. *Forêt.Nature* 135, 10-18
- Kervyn T., Jacquemin F., Branquart E., Delahaye L., Dufrêne M., Claessens H. 2014. Les forêts anciennes en Wallonie 2<sup>e</sup> partie : cartographie. *Forêt Wallonne* 133 : 38-52
- Latte N., Debruxelles J., Sohier C., Degré A., Claessens H. [2012]. La dendroécologie : un outil pour affiner nos connaissances sur l'autécologie des essences forestières. *Forêt Wallonne* 116 : 3-17
- Lemaire J. 2010. Le chêne autrement, IDF, Paris, 176 p
- Riou-Nivert P. 2005. Les résineux. Tome II : Ecologie et pathologie. Paris, IDF, 446 p.
- Weissen F., Hambuckers A., Van Praag H., Remacle J. 1990. A decennial control of N-cycle in the Belgian Ardenne forest ecosystems. *Plant and Soil* 128(1) 59-66.

### Autres lectures vulgarisées plus générales

- Legay, M., Mortier F. 2006. La forêt face aux changements climatiques : adapter la gestion forestière. Les dossiers forestiers 16, ONF, Paris, 39p
- Legay, M., Mortier F., Mengin-Lecreux P., Cordonnier T. 2008. La gestion forestière face aux changements climatiques : tirons les premiers enseignements. *Forêt Wallonne* 96, 16-27
- Laurent C., Perin D. (coord) 2009. Le changement climatique et ses impacts sur la forêt wallonne. Recommandations aux décideurs et aux propriétaires et gestionnaires. Rapport au ministre des Forêts. <http://orbi.ulg.ac.be/handle/2268/56313>