

FORÊT • NATURE

OUTILS POUR UNE GESTION
RÉSILIENTE DES ESPACES NATURELS

Tiré à part de la revue **Forêt.Nature**

La reproduction ou la mise en ligne totale ou partielle des textes
et des illustrations est soumise à l'autorisation de la rédaction

foretnature.be

Rédaction : Rue de la Plaine 9, B-6900 Marche. info@foretnature.be. T +32 (0)84 22 35 70

Abonnement à la revue Forêt.Nature :
librairie.foretnature.be

Abonnez-vous gratuitement à Forêt.Mail et Forest.News :
foretnature.be

Retrouvez les anciens articles de la revue
et d'autres ressources : **foretnature.be**

Deux approches pour estimer les risques liés aux changements climatiques sur les stations forestières : exemple des plateaux calcaires du Nord-est de la France

Jean-Baptiste Richard | Sylvain Gaudin
CRPF Champagne-Ardenne

Le choix d'une essence à installer aujourd'hui doit prendre en compte les risques climatiques de demain. Plusieurs solutions existent, en fonction des données disponibles pour le gestionnaire.

RÉSUMÉ

Les modifications des paramètres climatiques sont susceptibles de modifier les adéquations essences-stations. Il faut donc tenter d'évaluer les risques liés à ces changements lors du choix des essences sur chaque station. Le CRPF de Champagne-Ardenne a testé deux méthodes pour évaluer ces risques sur les stations. La première (méthode statistique) s'appuie sur une étude de la réponse du douglas en termes de croissance à des variables environnementales (étude autécologique). La seconde (méthode analytique) étudie pour chaque station le potentiel d'économie en eau (à partir de la

topographie, de la réserve en eau du sol...) et évalue les risques en analysant conjointement ce potentiel et la croissance actuelle des essences. Les résultats apportés par les deux méthodes sont cohérents : les risques concernant une essence sont plus importants si les conditions sont déjà limites sur une station donnée. La méthode analytique semble plus simple à mettre en œuvre sur le terrain, s'appuyant sur des observations des conditions locales, tandis que la méthode statistique demande des données chiffrées et spatialisées décrivant le sol, le climat, etc.



Les guides pour l'identification des stations forestières sont des outils aujourd'hui fréquemment utilisés en France par les gestionnaires pour orienter le choix des essences à introduire ou à favoriser sur les parcelles. Ces guides, développés depuis les années '90, sont très souvent antérieurs aux préoccupations des sylviculteurs liées aux changements climatiques, et ne les prennent que très rarement en compte. Or ces risques ne sont pas les mêmes d'une station à une autre. En effet, l'alimentation en eau des peuplements est déterminée par le climat régional (qui varie très peu d'une station à l'autre), mais aussi par des conditions locales indépendantes du climat, et variant selon la station (topographie, exposition, capacité de stockage en eau du sol, présence d'une nappe, etc.). Ces conditions locales sont déterminantes pour évaluer les risques liés aux changements globaux et nuancer les possibilités de choix d'essences sur une station.

Constat initial : le climat joue un rôle déterminant sur la fertilité des stations

Le rôle du climat et de ses modifications sur la croissance des peuplements a été mis en évidence lors d'une étude des potentialités du douglas sur les plateaux calcaires du Nord-Est de la France, réalisée par le CRPF de Champagne-Ardenne⁷. Construits à partir de mesures sur 127 placettes de terrain réparties sur l'ensemble de la zone d'étude (figure 1), ces travaux consistent à caractériser chaque station en termes de

fertilité, laquelle est traduite par un indice : la hauteur dominante² à 37 ans (notée *Hdom37*).

- Plusieurs constats ont été établis suite à cette étude :
1. Globalement, la zone d'étude bénéficie d'un climat très favorable, avec des précipitations généralement abondantes (650 à 1200 mm), bien réparties sur l'année. La fertilité peut alors être assez bonne même sur des stations « difficiles » (sols superficiels), où les pluies abondantes compensent la faible capacité de stockage en eau du sol.
 2. À station égale, l'indice de fertilité peut varier de près de 10 mètres, en lien très probablement avec un gradient climatique important qui couvre la zone d'étude (figure 1).
 3. L'analyse de la croissance des peuplements en fonction du type de station (par analyse de variance) montre que celui-ci n'explique que 21 % de la variabilité de la fertilité. Le reste est probablement déterminé par d'autres facteurs : intrinsèques (génétique des peuplements), sylvicoles mais aussi climatiques.

Le climat joue donc un rôle déterminant dans la fertilité des stations sur plateaux calcaires : il semble qu'il soit presque à lui seul responsable de la croissance correcte des peuplements sur sols superficiels (1^{er} constat). Le gradient climatique couvrant la zone d'étude semble également responsable à la fois d'une partie des différences de fertilité observées à station égale (2^e constat), et d'une partie de la croissance non expliquée par la station (3^e constat). Les évolutions climatiques qui s'opèrent aujourd'hui sont alors sus-

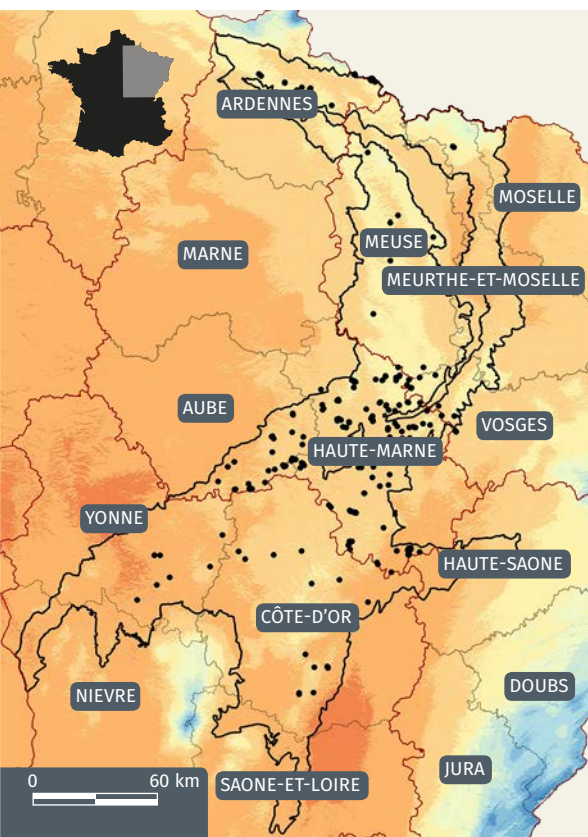
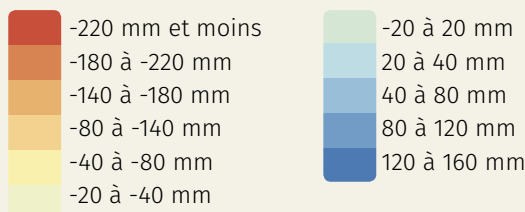


Figure 1. Carte de localisation de la zone d'étude et répartition des 127 placettes de mesure. Le fond de carte représente le bilan hydrique climatique estival moyen. L'évapotranspiration est calculée selon la formule de Turc.

Légende

- Placettes de relevés
- Périmètre de la zone d'étude

Bilan hydrique climatique (P-ETP*) moyen estival (cumul des bilans de juin, juillet et août) :



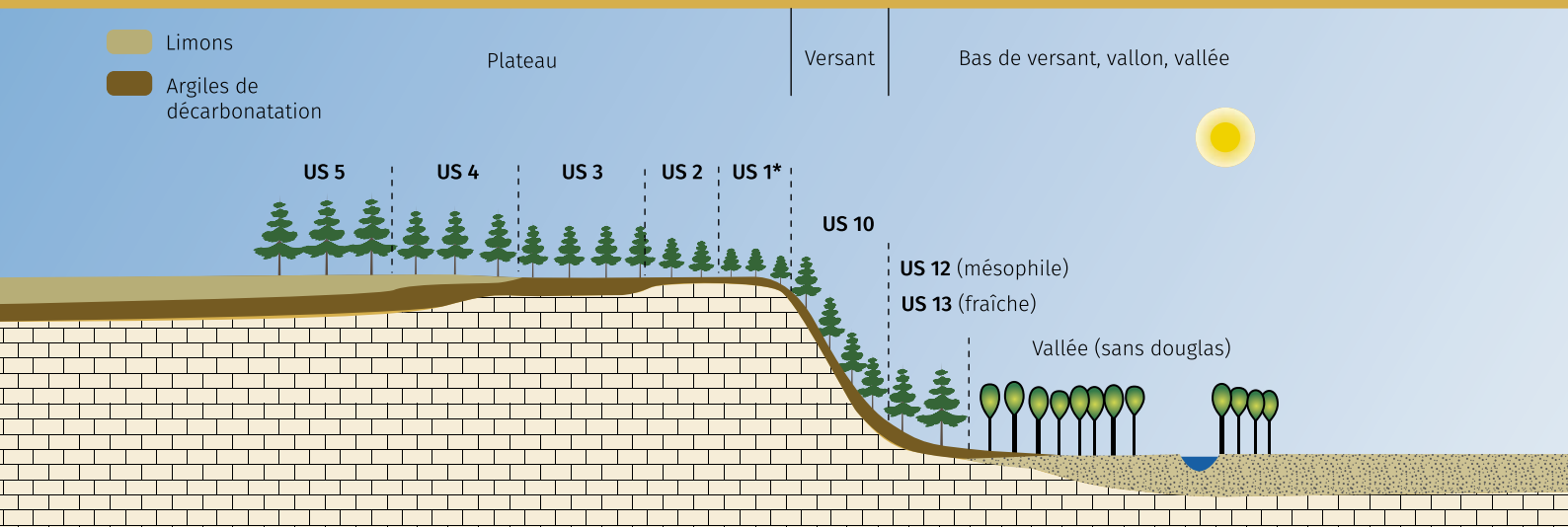
* Différence entre les apports d'eau par les pluies et les départs par évapotranspiration.

Encart 1. Structuration des stations sur les plateaux calcaires

Les unités stationnelles (US), telles que définies dans la *Guide des plateaux calcaires de Champagne-Ardenne, du Nord et de l'Est de la Bourgogne*⁶, sont d'abord différenciées par leur situation topographique (plateau, versant, fond de vallon ou vallée). Sur plateau, l'épaisseur de sol est le second critère, distinguant les stations sur argiles de décarbonatation peu épaisses (US 1 carbonatée, US 2 et 3 décarbonatées) des stations sur sol limoneux épais (US 4, US 5).

En situation de versant, l'exposition est déterminante. Pour notre étude, le douglas n'a été retrouvé qu'en situation mésotherme (exposition est ou ouest, US 10). Enfin, les situations de bas de pente ou fond de vallon se distinguent par leur fraîcheur (liée au confinement et au ruissellement). D'autres stations, impropres à la culture du douglas (engorgement, milieux rocheux avec éboulis) ou sur lesquelles cette essence n'a pas été rencontrée (versants nord, ombragés et frais), ne sont pas représentées sur ce diagramme.

* Station carbonatée dès les quinze premiers centimètres de sol.



ceptibles d'affecter la fertilité des peuplements, mais de façon différente d'une station à l'autre, en fonction du réservoir en eau du sol, de l'effet de la topographie sur le climat local, etc. Il est donc important de déterminer un niveau de risque qui permettra au gestionnaire de nuancer, pour chaque station, les choix d'essences proposés.

Pour cela, deux méthodes ont été testées dans le cadre de l'étude des potentialités du douglas sur plateaux calcaires : l'une, statistique (étude autécologique), l'autre synthétique (analyse du potentiel d'économie en eau selon les composantes stationnelles non liées au climat).

Méthode statistique : étude autécologique

Elle consiste à mesurer ou calculer, pour les 127 peuplements étudiés, des variables synthétiques caractérisant le milieu : richesse chimique des sols (pH, rapport C/N...), climat (températures, précipitations, évapotranspiration...), altitude, exposition, etc. La fer-

tilité est indiquée par la hauteur dominante à 37 ans et exprimée sous la forme d'une équation en fonction des variables les plus discriminantes, identifiées par une méthode statistique de régression linéaire multiple⁵. Dans le cadre de notre étude, l'équation modélisant la fertilité du douglas sur plateaux calcaires est la suivante :

$$H_{dom37} = 80,87 - 3,9969 \times \text{pH} - 0,73 \times DE_{\text{automnal}} - 1,84 \times T_{\text{moy}_{\text{juin}}}$$

Avec DE_{automnal} le déficit d'évaporation cumulé des mois de septembre, octobre et novembre (encart 2), et $T_{\text{moy}_{\text{juin}}}$ la température moyenne du mois de juin.

La première variable n'est pas liée au climat, mais à la richesse chimique du sol : les sols au pH élevé (carbonatés) sont les moins fertiles pour le douglas, tandis que les sols un peu plus acides sont plus favorables sur la zone d'étude.

Les deux variables suivantes sont plus intéressantes pour évaluer les risques climatiques. La première, le déficit d'évaporation, ou DE (encart 2), indique un

manque d'eau dans le sol pour que l'activité physiologique des végétaux (traduite par l'évapotranspiration), soit optimale³. Dans l'équation ci-dessus, il reflète deux choses : (1) l'intensité du stress hydrique des arbres et (2) la longueur de ce stress (par le fait qu'il s'agisse d'une valeur automnale, et non estivale). Il est d'autant plus important que le climat est sec, mais aussi que le sol est superficiel. Il est possible de calculer un déficit d'évaporation automnal futur à partir des différents scénarios climatiques développés par les climatologues. Une augmentation du déficit d'évaporation de 1 mm en automne se traduirait alors, selon notre équation, par une baisse de l'indice de fertilité de près de 70 cm. De même, la seconde variable climatique intervenant dans l'équation de prédiction de la fertilité des peuplements est la température moyenne du mois de juin. Selon les hypothèses pour les années à venir, une augmentation de 1 °C en juin se traduirait par une diminution moyenne de Hdom37 de près de 1,80 mètre.

Ce modèle permet de donner une idée des risques pour le futur, à pondérer en fonction de la station : le déficit d'évaporation augmentera plus rapidement sur les stations chaudes ou sur sols superficiels (US 2, US 3). Son augmentation sera probablement moins importante dans les vallons confinés (US 13) ou sur les stations présentant les meilleures capacités de stockage en eau des sols (US 4, US 5). Les risques seront ensuite d'autant plus importants que la station

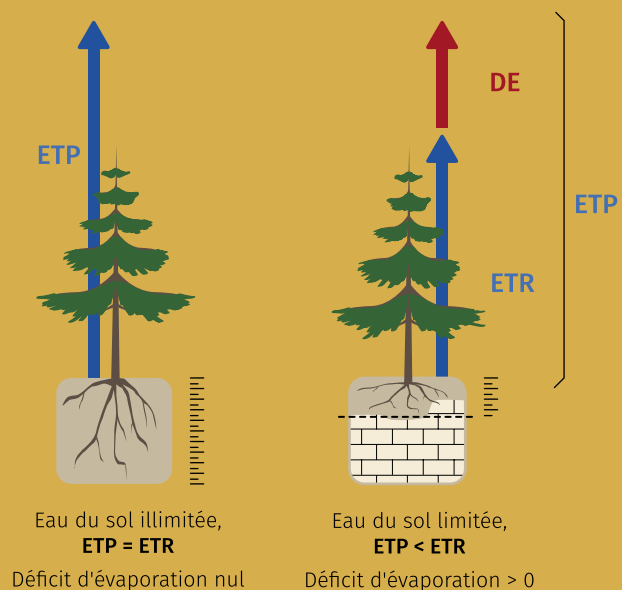
se trouve plutôt sur la partie chaude du gradient climatique (Bourgogne, sud de la Champagne), la partie du gradient plus fraîche (Lorraine, Ardennes) présentant un risque peut-être moins élevé. Il est cependant important de garder en tête les limites de cette méthode. La première est d'ordre géographique, puisque le modèle n'est valable que pour le secteur couvert par les relevés ayant servi à le calculer (figure 1). Ensuite, la part de la variabilité de la fertilité expliquée par l'équation (R^2 du modèle) n'est que de 40 %, le reste étant expliqué par des paramètres non pris en compte (sylviculture, provenances génétiques utilisées, etc.).

Méthode analytique : étude de l'économie en eau sur les stations

Les stations sont identifiées à partir de plusieurs critères dont certains renseignent sur la disponibilité en eau pour la végétation. Ces critères modulent l'évapotranspiration (exposition ombragée et confinement), la distribution des eaux pluviales par ruissellement (zones de dépôts, zones d'accumulation), la réserve en eau stockée dans le sol, etc. Une méthode a été mise au point sur les plateaux calcaires pour évaluer l'économie en eau possible sur les stations^{1,4}. Pour chaque critère (au nombre de sept), l'économie en eau possible est évaluée par un système de note (de 0 à une note maximale variant selon l'importance

Encart 2. Déficit d'évaporation

Cette variable est issue d'un bilan hydrique édaphique, c'est-à-dire le bilan des arrivées (précipitations) et départs (évapotranspiration) compte tenu de la capacité de stockage du sol. C'est l'écart entre l'évapotranspiration potentielle (ETP) et l'évapotranspiration réelle (ETR). L'ETP reflète la quantité d'eau qui, sous l'effet des températures, de la sécheresse de l'air et des rayonnements solaires, retournerait dans l'atmosphère par évaporation et transpiration des végétaux dans le cas où l'eau contenue dans le sol est en quantité illimitée. Elle traduit l'activité physiologique des végétaux dans des conditions hydriques optimales. L'ETR reflète l'évapotranspiration dans le cas où l'eau disponible dans le sol est en quantité limitée (sécheresse, sol pierreux et superficiel...). Elle traduit l'activité physiologique réelle des végétaux, limitée par les disponibilités en eau. Reflétant l'écart entre ETP et ETR, plus le déficit d'évaporation est important, plus il traduit un stress hydrique intense pour les végétaux.



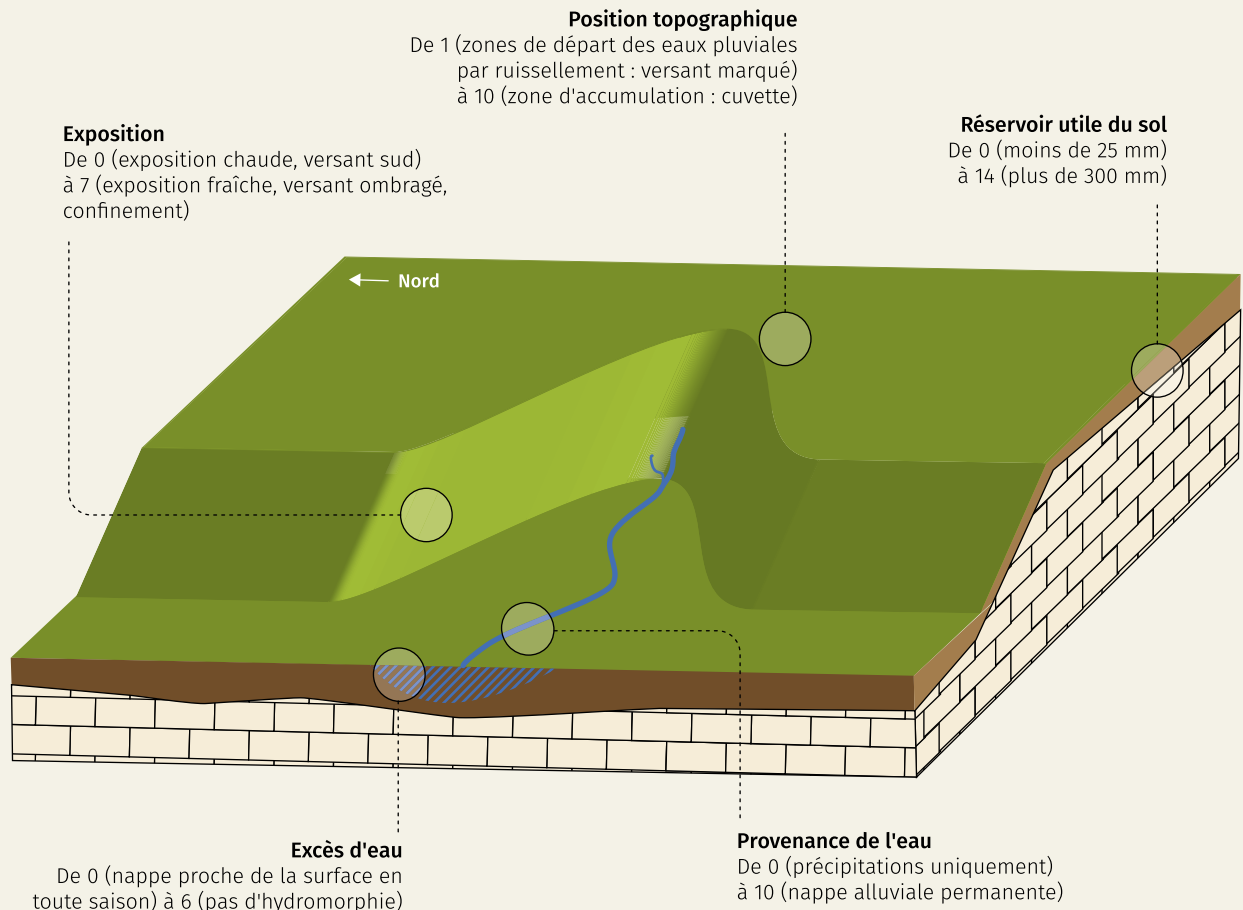
du critère pour l'économie en eau, figure 2). En additionnant la note obtenue pour chaque critère sur une station, on obtient une note globale comprise entre 0 (économie nulle) et 47 (économie optimale). En réalité, et selon la configuration des critères composant les stations sur plateaux calcaires (position topographique, épaisseur de sol...), cette note varie de 13 (station de plateau sur sol superficiel) à 24 (station de fond de vallon frais et bien drainé).

Le risque climatique pour les peuplements n'est cependant pas lié qu'à ces critères : la potentialité actuelle des stations est un autre élément important à prendre en compte. En effet, les stations les moins fertiles (par exemple, pour le douglas, une station de plateau sur sol squelettique ou carbonaté, type US 1) ont déjà une productivité presque nulle. Ce n'est donc pas sur ces stations que le risque de voir la fertilité des peuplements chuter est le plus grand. À l'inverse, des stations aux conditions optimales (sols profonds, décarbonatés et climat actuel très favorable) ne présentent pas non plus un risque majeur, la station pouvant compenser, dans une certaine mesure, un climat un peu plus défavorable (grâce au stock im-

portant d'eau dans le sol, par exemple). C'est sur les stations limites, où les conditions actuelles sont tout juste suffisantes pour avoir une bonne productivité (par exemple, une station sur sol décarbonaté assez peu profond mais bien arrosée actuellement) que les risques sont maximisés, car la fertilité des peuplements peut rapidement baisser en lien avec les modifications du climat. Dans certains cas, des dépérissements pourraient même survenir. C'est pourquoi, pour évaluer les risques climatiques, la présente méthode prend en compte à la fois la fertilité actuelle des stations, donnée dans le guide ou issue d'une étude des relations station-production, et la note d'économie en eau. L'évaluation des risques est ainsi réalisée en analysant conjointement ces deux paramètres (tableau 1).

On arrive ainsi à définir un niveau de risque sur les stations, et à nuancer le choix des essences. Par exemple, on ne choisira pas une essence dont on sait qu'elle est productive mais en conditions limites actuellement si les risques climatiques sur la station considérée sont élevés (par exemple : douglas sur US 2).

Figure 2. Attribution d'une note par critère influant sur l'économie en eau des stations. La note finale résulte de la somme des notes par critère.



		Niveau global de fertilité				
		*	**	***	****	*****
Note obtenue pour l'économie en eau	0 à 9	Faible	Moyen	Fort	Fort	Fort
	10 à 14	Faible	Moyen	Moyen	Fort	Fort
	15 à 19	Faible	Moyen	Moyen	Fort	Fort
	20 à 24	Faible	Faible	Faible	Moyen	Moyen
	25 à 29	Faible	Faible	Faible	Faible	Moyen
	30 et plus	Faible	Faible	Faible	Faible	Faible

Tableau 1. Évaluation des risques climatiques sur les stations à partir de leur fertilité actuelle (* faible, **** très bonne) et de leur potentiel d'économie en eau.

Comparaison des deux méthodes

Les deux méthodes présentées (statistique et analytique) diffèrent beaucoup quant aux informations nécessaires à l'évaluation des risques climatiques et à la manière de traiter les données. La première demande l'établissement d'un modèle autécologique nécessitant une importante campagne de terrain, afin de constituer un échantillon de peuplements suffisamment conséquent pour disposer de mesures pour tous les gradients environnementaux (trophiques, hydriques, etc.). Les indices calculés, parfois complexes, et les connaissances en statistiques et modélisation nécessaires à l'élaboration de l'équation prédisant l'indice de fertilité en fonction des facteurs du milieu parlent peu au forestier de terrain. Cependant, les résultats obtenus sont chiffrés, et projetables dans le futur : il suffit de remplacer les données climatiques actuelles dans l'équation par des données futures, modélisées par les climatologues.

La méthode autécologique présente également un risque d'interprétation : en effet, comme tout modèle, l'équation obtenue n'explique qu'une partie de la fertilité (40 % dans le cas du douglas sur plateaux calcaires). L'équation permet d'appréhender globalement le comportement des peuplements face au changement climatique, mais en aucun cas les chiffres obtenus ne représentent une prédiction au centimètre près. Aux incertitudes liées au modèle s'ajoutent en outre celles liées aux climats à venir. Une large vulgarisation est donc indispensable pour permettre au gestionnaire une prise de recul quant aux chiffres annoncés, lesquels ne doivent être utilisés que pour identifier une tendance.

Actuellement, les facteurs de milieux sont de plus en plus disponibles sous la forme de cartes numériques

au format raster (image géoréférencée dont chaque pixel donne une information climatique, de pH, etc.). Les outils informatiques actuels permettent alors de combiner ces données spatialisées conformément à l'équation du modèle autécologique, et d'obtenir des cartes de la fertilité actuelle et future à de larges échelles.

La méthode analytique est quant à elle plus accessible au technicien, pour peu qu'il connaisse bien les composantes des stations. Elle ne fait pas appel à des connaissances scientifiques ou statistiques trop pointues. En revanche, elle ne permet pas de nuancer le diagnostic du risque climatique en fonction des différentes variantes futures prévues par les climatologues, ni de s'appuyer sur des chiffres pour étayer la réflexion. L'évaluation est qualitative, et donc assez subjective, mais elle permet d'amorcer une réflexion amenant à une certaine prudence vis-à-vis du climat futur. Le flou lié à une méthode qualitative permet au gestionnaire de ne pas se focaliser sur une valeur précise qui masquerait des incertitudes liées à la modélisation.

Mais qu'ils soient obtenus par l'une ou l'autre méthode, les résultats sont cohérents : les risques sont les plus élevés sur les stations à sols moyennement profonds, aujourd'hui assez productives, mais dont la fertilité dépend beaucoup du climat. Ces stations (US 3, US 4, US 10) présentent généralement un déficit d'évaporation actuel non nul et des températures relativement élevées (comparé à un versant ombragé). Ces paramètres augmenteront rapidement si le climat évolue défavorablement. L'équation du modèle autécologique montre alors une baisse de fertilité plus importante que sur sols épais, où le stock d'eau du sol, plus conséquent, limite dans une certaine mesure le déficit hydrique. De même, ces stations sont



POINTS-CLEFS

- ▶ Le diagnostic stationnel est une méthode reconnue et largement utilisée pour évaluer la fertilité des peuplements, mais prend rarement en compte les changements du climat.
- ▶ Plusieurs méthodes sont actuellement développées pour inclure le risque climatique dans les éléments orientant le choix des essences sur les stations.
- ▶ Elles apportent des résultats cohérents : les stations actuellement limite pour une essence sont celles qui présentent les plus grands risques liés au climat.
- ▶ Le choix de la méthode à utiliser dépend essentiellement de la donnée initiale disponible : cartes numériques, données issues d'un diagnostic de terrain...

aujourd'hui moyennement fertiles, et faiblement notées quant à leur économie en eau (méthode analytique), du fait d'un apport uniquement par les pluies (pas d'apports par ruissellement ou par une nappe), d'un topoclimat non favorable et d'une réserve en eau du sol limitée. La méthode analytique identifie donc également ces stations comme celles présentant le plus de risques.

Les deux approches sont donc tout à fait cohérentes, et le choix de l'outil s'offre au gestionnaire en fonction des données dont il dispose (mesures de facteurs environnementaux ou simple analyse des stations) et de ses connaissances. Aujourd'hui, il est urgent de se préoccuper de l'évolution des stations en fonction du climat, et d'anticiper ces changements en choisissant une essence adaptée depuis le moment du renouvellement du peuplement jusqu'au jour de la récolte. Plus que le choix de la méthode, c'est alors la démarche d'anticipation qui est importante. ■

Bibliographie

- ¹ **Daize J., Vanwijnsberghe S., Claessens H.** (2011). Analyse de l'adéquation actuelle et future des arbres à leur station en forêt de Soignes bruxelloise. *Forêt Wallonne* 110 : 3-21.
- ² **Dyer J.M.** (2009). Assessing topographic patterns in moisture use and stress using a water balance approach. *Landscape Ecology* 24 : 391-403.
- ³ **Duplat P.** (1989). Indice de fertilité basé sur un modèle de croissance en hauteur. Dans : CEMAGREF, *Stations forestières, production et qualité des bois*, p. 51-79.

- ⁴ **Gaudin S.** (2007). *Prise en compte des changements climatiques dans les catalogues de station : première approche*. CRPF Champagne Ardenne, 16 p.
- ⁵ **Gilbert J.-M.** (1993). Relier milieu et production des essences forestières : comparaison de deux approches. *In-génieries - EAT* 8 : 31-39.
- ⁶ **Milard L.** (2004). *Les plateaux calcaires de Champagne-Ardenne, du Nord et de l'Est de la Bourgogne. Guide pour l'identification des stations et le choix des essences*. CFPPA de Crogny, 116 p.
- ⁷ **Richard J.-B., Gaudin S.** (2015). *Étude des potentialités du douglas sur les plateaux calcaires de Champagne-Ardenne*. Rapport d'étude CRPF Champagne-Ardenne, 84 p.

Crédits photos. S. Gaudin (p. 52).

Jean-Baptiste Richard
Sylvain Gaudin

jb.richard@crpf.fr

Centre national de la propriété forestière
Délégation régionale de Champagne-Ardenne
Maison régionale de la forêt et du bois,
Complexe agricole du Mont Bernard,
Route de Suippes | FR-51000 Châlons-en-Champagne