



# Vers un outil d'aide à la décision pour l'adaptation des forêts françaises au changement climatique

par Alice Michelot-Antalik<sup>1)</sup>, Sophie Gachet<sup>2)</sup>, Myriam Legay<sup>3)</sup>, Guy Landmann<sup>4)</sup>

© Alice Michelot-Antalik

1) Laboratoire Agronomie et Environnement Nancy Colmar, UMR 1121 Université de Lorraine - Inra

2) Institut méditerranéen de Biodiversité et d'Écologie marine et continentale UMR CNRS 7263 - IRD 237 - Aix Marseille Université.

3) Office national des forêts.

4) Groupement d'intérêt public Ecofor.

*Le défi de l'adaptation des forêts au changement climatique révèle l'insuffisance de nos outils de caractérisation de l'écologie des essences forestières. Le besoin d'approches plus quantitatives et de développement d'outils d'aide à la décision était au cœur du projet Traitaut (Traits fonctionnels et autécologie des essences forestières, 2012-2013), co-financé par le GIP Ecofor et le RMT Aforce.*

## Quelles stratégies d'adaptation ?

Le changement climatique et la concentration accrue de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère modifient le fonctionnement des peuplements forestiers et leur composition. Ces effets ont notamment des répercussions sur la production de bois et la séquestration du carbone. Les processus naturels de migration et d'adaptation génétique n'auront probablement pas le temps de suivre l'évolution très rapide des conditions environnementales, ce qui incite à rechercher des stratégies d'adaptation de la gestion forestière. Un véritable défi pour les gestionnaires forestiers publics et privés qui devront adapter la composition de leurs peuplements, malgré des incertitudes irréductibles sur la nature et l'ampleur du changement climatique. En termes de choix d'essences, plusieurs stratégies, non exclusives les unes des autres, peuvent être envisagées :

- diversifier les provenances en place,
- augmenter le nombre d'essences différentes en favorisant les mélanges d'essences sur une même parcelle ou les mélanges de peuplements purs diversifiés à l'échelle du paysage,
- planter des essences autochtones ou allochtones.

Ces stratégies doivent être complétées par des réflexions sur le type de traitement sylvicole approprié (calendrier et intensité des éclaircies, durée des révolutions, densité des arbres...) et les conséquences sur le fonctionnement des écosystèmes.

## Autécologie et traits fonctionnels

Afin d'établir ces stratégies, il est nécessaire de connaître l'autécologie des essences forestières, qui peut être définie comme la **science des réponses biologiques de chaque espèce aux facteurs abiotiques** (ex: température, précipitations, fertilité minérale...). Comme la répartition d'une espèce est non seulement due à des facteurs abiotiques, mais également aux interactions entre êtres vivants, ce concept a été étendu en incluant la réponse biologique des espèces aux facteurs biotiques, ainsi que les différents niveaux d'organisation du vivant. La prise en compte de la modification rapide des conditions climatiques incite à repenser cette approche en incluant cette fois des variables biologiques reliées quantitativement aux facteurs abiotiques et biotiques et au fonctionnement des écosystèmes, comme les **traits fonctionnels**.

Tableau 1 - Liste des essences dont les informations autécologiques sont recueillies prioritairement

Type	Nom commun	Nom latin
Essence principale	Sapin pectiné, Châtaignier, Hêtre, Épicéa, Pin maritime, Pin sylvestre, Chêne vert, Chêne sessile, Chêne pubescent, Chêne pédonculé	<i>Abies alba</i> , <i>Castanea sativa</i> , <i>Fagus sylvatica</i> , <i>Picea abies</i> , <i>Pinus pinaster</i> , <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Quercus ilex</i> , <i>Quercus petraea</i> , <i>Quercus pubescens</i> , <i>Quercus robur</i>
Essence secondaire	Érable plane, Érable sycomore, Aulne de Corse, Bouleau, Merisier, Cormier, Tilleul à petites feuilles	<i>Acer platanoides</i> , <i>Acer pseudoplatanus</i> , <i>Alnus cordata</i> , <i>Betula pendula</i> , <i>Prunus avium</i> , <i>Sorbus domestica</i> , <i>Tilia cordata</i>
Essence allochtone utilisée	Cèdre de l'Atlas, Pin laricio, Douglas, Robinier faux acacia	<i>Cedrus atlantica</i> , <i>Pinus nigra ssp laricio var corsica</i> , <i>Pseudotsuga menziesii</i> , <i>Robinia pseudoacacia</i>
Essence allochtone non utilisée	Sapin de Nordmann, Eucalyptus	<i>Abies nordmanniana</i> , <i>Eucalyptus globulus</i>

Tableau 2 - Critères de tri des publications recensées sur le site internet Traitaut

Catégorie	Critère de tri
Facteur climatique	Température, rayonnement, vent, précipitations, humidité de l'air, brouillard, évapotranspiration potentielle, gel, neige
Facteur édaphique	Réserve utile, alimentation hydrique, engorgement, richesse minérale, C/N, pH, type d'humus, profondeur utile, profondeur de carbonatation, texture
Facteur biotique	Insecte, champignon, organisme symbiotique, autre
Type de réponse	Productivité, répartition, qualité du bois, état sanitaire, phénologie, capacité de dispersion, résistance
Type d'approche	Physiologie, écophysiologie, écologie des populations, écologie des communautés, écologie du paysage, génétique, dendrochronologie, sciences forestières

Ce sont des **caractéristiques mesurables influençant la survie et la reproduction des arbres**, telles que la surface des feuilles, la taille des graines, la densité du bois ou encore la capacité photosynthétique.

### Le projet Traitaut

D'une durée d'un an, le projet Traitaut s'est inscrit dans la recherche d'une nouvelle approche de l'autécologie pour faciliter l'adaptation des forêts au changement climatique. Afin d'organiser une dynamique collective à l'échelle nationale, il a réuni les chercheurs, agents du développement, gestionnaires et décideurs. Ses objectifs étaient les suivants :

- 1) constituer une communauté recherche et développement (R & D) dans le domaine de l'autécologie des essences forestières et des traits fonctionnels ;
- 2) étudier l'apport des traits fonctionnels pour l'approche quantitative de l'autécologie ;
- 3) réaliser une synthèse clarifiant les contours de l'autécologie et décrivant son utilisation dans les outils d'aide à la décision dans le contexte du changement climatique ;
- 4) établir un cahier des charges pour l'élaboration d'un outil d'aide à la décision pour l'adaptation des forêts françaises au changement climatique.

Une consultation élargie d'experts a permis d'établir une **liste de 23 essences forestières** (Tableau 1), pour lesquelles l'information autécologique a été recueillie prioritairement.

### La plateforme web : espace d'échanges et base de sources bibliographiques

Une plateforme web a été mise en place lors du projet pour constituer une communauté R & D (<http://traitaut.gip-ecofor.org>). Elle contient :

- un annuaire des membres ;
- un recensement des **outils** (logiciel, cartographies...) intégrant l'autécologie des

essences forestières dans le contexte du changement climatique ;

- un **espace d'échanges** sur les projets et travaux en lien avec Traitaut ;

- une **base de sources bibliographiques**.

Cette base de sources bibliographiques est libre d'accès pour la consultation ou pour l'ajout de nouvelles publications (après simple inscription). Les publications peuvent être triées par essence, facteur abiotique, facteur biotique, type de réponse biologique et type d'approche (Tableau 2), facilitant ainsi la recherche et l'appréciation des contenus.

### L'apport des traits fonctionnels

Les **traits fonctionnels** permettent de caractériser la réponse du peuplement forestier à son environnement (ex : climat, pratiques de gestion...) et peuvent avoir un effet direct sur le fonctionnement de la forêt (ex : capture de la lumière, dispersion des graines...). Afin de déterminer leur apport pour l'approche quantitative de l'autécologie, la **base de données TRY**<sup>1)</sup> a été utilisée. Elle regroupe 93 bases de données différentes<sup>2)</sup> et 52 traits pour un total de 300 000 espèces végétales à l'échelle mondiale. Nous avons consulté les valeurs de 35 traits pour la liste des 23 essences forestières retenues.

La consultation de la base TRY a montré qu'elle contient un grand nombre de données avec des traits variés (traits foliaires, échanges gazeux, anatomie du bois...). Les espèces qui ont le plus grand nombre de valeurs de traits sont le Pin sylvestre (*Pinus sylvestris*), l'Épicéa commun (*Picea abies*), le Chêne vert (*Quercus ilex*), le Chêne sessile (*Quercus petraea*) et le Hêtre (*Fagus sylvatica*). Les **traits foliaires** représentent plus de la moitié des valeurs dans la base (Figure 1). La variabilité des valeurs de traits au sein d'une même essence et du nombre de mesures rend difficile l'obtention d'une moyenne comparable entre essences (exemple pour la densité du bois, figure 2).

1) Kaatge *et al.*, 2011.

2) Les bases de données élémentaires qui constituent TRY regroupent un ensemble de mesures de traits (publiées ou pas) pour un nombre variable d'espèces à différentes échelles géographiques.

Les données de TRY pourraient être utilisées afin de **paramétrer des modèles** de croissance et de distribution des essences nécessaires au fonctionnement d'outils d'aide à la décision. En revanche, il manque généralement les valeurs des facteurs abiotiques pour chaque mesure, qui seraient pourtant indispensables à la construction des **courbes de réponse** de chaque essence aux facteurs abiotiques.

### Zoom sur les outils d'aide à la décision d'autres pays

Nous avons analysé les outils d'aide à la décision développés au niveau international dans le contexte du changement climatique. Trois outils ont retenu particulièrement notre attention :

- le logiciel **ESC (Ecological Site Classification)**, mis en place en 2001 au Royaume-Uni par la *Forestry Commission*. Dans cet outil, des fonctions de réponses à dire d'expert décrivent la productivité relative

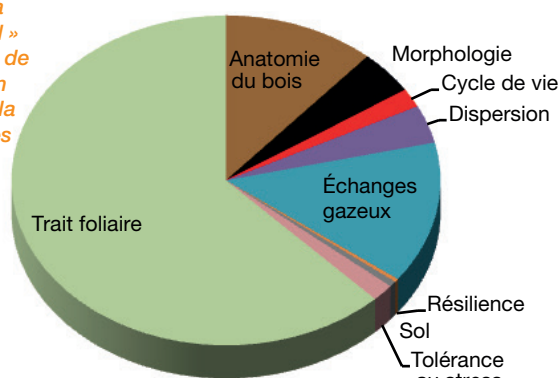
de chaque essence sur chaque site selon quatre facteurs climatiques et deux facteurs édaphiques. Les valeurs seuils de cette productivité permettent de définir l'acclimatation de l'essence pour la période de référence (1961-1990), mais également pour la période future (2050) où deux facteurs climatiques sont modifiés selon des scénarios climatiques. Des cartes permettent de visualiser les changements d'acclimatation de chaque essence forestière entre ces deux périodes. Cet outil présente l'avantage d'être simple d'utilisation pour les gestionnaires et fonctionne à l'échelle nationale. En revanche, la productivité est la seule réponse qui est prédite et les fonctions de réponse sont construites à partir des concertations d'un nombre limité d'experts, sans validation scientifique.

- **AFFOREST**, créé en 2004 dans le cadre d'un programme européen rassemblant la Suède, le Danemark, les Pays-Bas et la Belgique. Grâce à un modèle qui simule les processus biologiques et les cycles de nutriments du sol, l'effet de l'afforestation est testé en simulant les fonctions de réponse de la séquestration de carbone, du lessivage des nitrates et de la recharge en eau du sol. Une analyse de décision multicritère permet aux utilisateurs d'être guidés dans leur choix de gestion: le choix d'essences, le niveau de préparation du sol et le taux d'éclaircie. Cet outil permet de rendre accessible aux gestionnaires des approches basées sur les processus biologiques par le biais d'une version simplifiée du modèle d'origine. Cependant, il est limité concernant le choix d'espèces (restreint à quatre) et n'intègre pas l'effet des scénarios climatiques futurs.

- **DSD (Decision Support Dobrova)**, établi en 2001 à l'Université des ressources naturelles et des sciences de la vie de Vienne. Il permet aux gestionnaires d'obtenir une liste d'essences et de traitements sylvicoles potentiellement adaptés au climat futur. Il évalue les différentes stratégies adaptatives en termes de production de bois, de conservation de la biodiversité et de maintien de la productivité grâce à un modèle de croissance et une analyse multicritère. Cet outil s'inscrit dans les préoccupations actuelles d'adaptation de la gestion forestière en prenant en compte les incertitudes et les risques écologiques et économiques ainsi que des choix d'essences en peuplement pur ou mélangé. Cette approche complète est cependant établie sur une faible étendue spatiale et les scénarios climatiques considérés sont limités.

Figure 1 - Répartition des traits par catégorie d'après la consultation de la base TRY

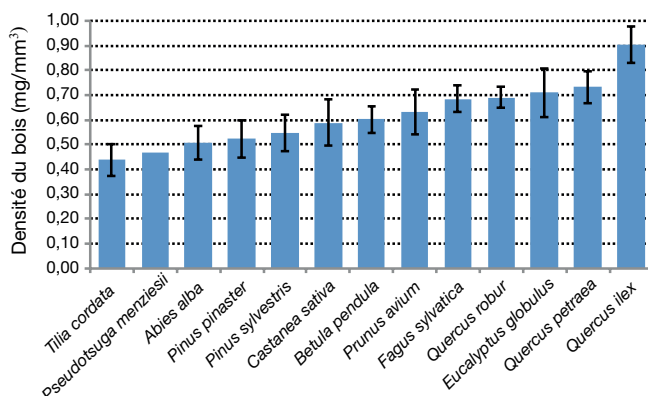
Les traits de la catégorie « sol » sont la vitesse de décomposition de la litière et la profondeur des racines.



Auteur : Alice Michelot-Antalik

Figure 2 - Densité moyenne du bois par espèce (± écart-type) d'après la consultation de la base TRY

Le nombre de valeurs moyennées par essence varient de 1 (*Pseudotsuga menziesii*) à 1252 (*Pinus sylvestris*) suivant le nombre variable de mesures réalisées pour les différentes bases de données constituant TRY.



Auteur : Alice Michelot-Antalik

Pour plus de détails, vous pouvez consulter la synthèse réalisée (Michelot *et al.*, 2013).

### Vers un outil d'aide à la décision en France

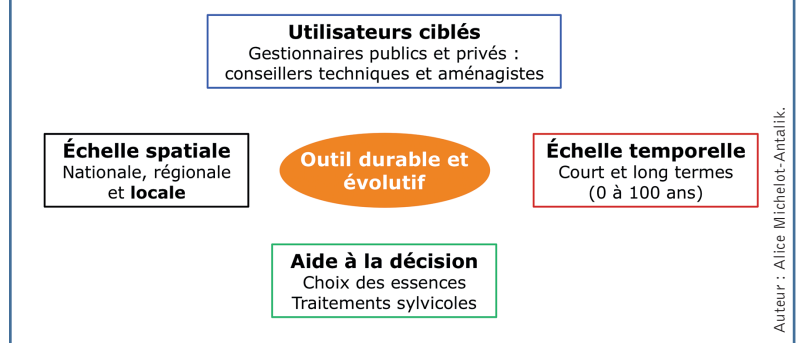
Le projet Traitaut a abouti à un cahier des charges et à un pré-projet pour la construction d'un **outil français** (figure 3) visant à aider les gestionnaires forestiers privés et publics dans leur choix en contexte de changement climatique. Une **co-construction de l'outil** associant gestionnaires et chercheurs est primordiale, afin d'assurer son adéquation par rapport aux besoins des gestionnaires et son utilisation dans les pratiques.

Les **modèles écologiques utilisés dans l'outil** peuvent être développés aux trois échelles spatiales impliquant des décisions de gestion adaptative : nationale, régionale et locale (parcelle et massif). Ils permettent de simuler la productivité et l'aire de distribution potentielle des essences à l'horizon 2050-2100 à partir d'un ensemble de facteurs climatiques et édaphiques. Un des défis dans l'utilisation de ces modèles à des fins d'aide à la décision est le passage d'une échelle spatiale large à une échelle plus petite, ce qui implique l'obtention des facteurs climatiques et édaphiques à une faible résolution sans trop augmenter la marge d'incertitudes. Des **sites expérimentaux** doivent être suivis dans différentes régions pour valider de tels modèles à l'échelle locale ou régionale.

Planter une essence potentiellement adaptée au climat futur ne suffit pas à assurer l'avenir d'un peuplement face au changement climatique car les choix de gestion sont aussi déterminants. C'est pourquoi il est nécessaire de **coupler ces modèles écologiques à des modèles de simulation de croissance** contenant des itinéraires sylvicoles. Ce type de modèles existe déjà et la plupart des modèles développés en France sont regroupés sous la plateforme Capsis (Dufour-Kowalski *et al.*, 2012).

Ces stratégies doivent parallèlement être évaluées d'un point de vue **socio-économique**, à travers des modèles, pour envisager les risques pour les gestionnaires en prenant en compte le spectre d'incertitudes liées au changement climatique. L'approche économique peut être également utilisée pour évaluer l'apport de la diversification en essences, la quantité de carbone séquestré, voire pour analyser ce qui guide les choix de gestion des

Figure 3 - Schéma général du cahier des charges pour l'élaboration d'un outil d'aide à la décision pour l'adaptation des forêts au changement climatique.



propriétaires forestiers en contexte incertain.

L'élaboration de cet outil doit se faire progressivement dans une plateforme dédiée. La construction de cette plateforme doit garantir sa **pérennité**, en intégrant l'évolution rapide des connaissances et des modèles, et sa **facilité d'accès et d'utilisation** pour les différents utilisateurs ciblés.

### Conclusion

Le projet Traitaut a rassemblé une communauté R & D autour des questions de stratégies adaptatives en contexte de changement climatique. Il a abouti à une plateforme web interactive et s'est appuyé sur des expériences internationales pour mettre en œuvre les contours d'un outil d'aide au choix des essences et traitement sylvicole associé en France, qu'il est urgent de matérialiser. ■

#### Résumé

Le projet Traitaut visait à développer une nouvelle approche quantitative pour caractériser l'autécologie des essences en contexte de changement climatique. Une communauté de recherche et développement et une plateforme web contenant une base de sources bibliographiques sur différentes essences ont été mises en place. L'apport potentiel des traits fonctionnels à l'autécologie des essences a été étudié. Les outils d'aide à la décision européens ont été analysés et comparés afin d'étayer l'élaboration d'un cahier des charges pour un outil en France.

**Mots-clés :** autécologie, trait fonctionnel, outil d'aide à la décision, changement climatique.

#### Bibliographie

- Dufour-Kowalski S., Courbaud B., Dreyfus P., Meredieu C., de Coligny F., 2012. *Capsis : an open software framework and community for forest growth modelling*. *Annals of Forest Science* (2012) 69:221-233
- Kattge J., Diaz S. *et al.*, 2011. TRY – *A global database of plant traits*. *Global Change Biology* 17(9): 2905-2935.
- Michelot A., Gachet S., Legay M., Landmann G., 2013. *L'autécologie des essences forestières et son intégration dans les outils d'aide à la décision : synthèse et évaluation*. 44 p. Lien internet à ajouter : [www.gip-ecofor.org/doc/drupal/Autecologie\\_outils\\_Traitaut\\_020513.pdf](http://www.gip-ecofor.org/doc/drupal/Autecologie_outils_Traitaut_020513.pdf)