



AFORCE
RMT Adaptation des forêts
au changement climatique

**INSTITUT CDC
POUR LA RECHERCHE**



TRAITAUT : Traits fonctionnels et autécologie des essences forestières Rapport final du projet – février 2013

Alice Michelot

Sommaire

I. Contexte et objectifs	2
II. Collaborations recherche et développement.....	3
III. Déroulement du projet et méthodes	4
IV. Résultats du projet Traitaut	7
1. Clarifier les définitions et les contours de l'autécologie	7
2. Des outils d'aide à la décision intégrant l'autécologie.....	7
3. Vers un outil d'aide à la décision pour le choix des essences futures.....	9
4. L'apport des traits fonctionnels.....	10
5. Création d'une plateforme collaborative : un réseau de compétences	12
V. Conclusions et perspectives.....	15
Bibliographie.....	16
Annexe 1. Réunion de lancement du projet Traitaut.....	17
Annexe 2. Réunion d'avancement du projet Traitaut	25
Annexe 3. Résultats du questionnaire concernant le portail web collaboratif sur l'autécologie des essences forestières	32

I. Contexte et objectifs

Les changements climatiques modifient la structure et le fonctionnement des écosystèmes forestiers. Afin d'adapter la gestion forestière et notamment le choix des essences à ces changements, il est nécessaire de connaître l'autécologie des essences forestières. Elle peut être définie comme la science des réponses biologiques de chaque espèce aux facteurs abiotiques (climat, sol...) En France, l'autécologie est généralement décrite dans les catalogues de stations forestières par une approche montrant l'adéquation d'une essence à l'échelle locale, plutôt que l'effet des gradients abiotiques sur les essences. Pour la prise en compte des changements climatiques, il apparaît essentiel de rénover cette approche en incluant des variables biologiques reliées quantitativement aux facteurs abiotiques, comme par exemple les traits fonctionnels. Ces derniers sont des caractéristiques mesurables influençant la survie et la reproduction des individus, telles que : la surface des feuilles, la taille des graines, la densité du bois ou encore la capacité photosynthétique.

D'une durée d'un an (début en février 2012), Traitaut est un projet collectif qui s'inscrit dans cette thématique, financé par le Groupement d'Intérêt Public (GIP) Ecofor et le Réseau Mixte Technologique (RMT) Aforce.

Ses **objectifs** étaient de :

1. clarifier les définitions et les contours de l'autécologie ;
2. réaliser une synthèse sur l'utilisation de l'autécologie des essences forestières dans les outils d'aide à la décision dans le contexte des changements climatiques ;
3. constituer une communauté recherche et développement (R&D) dans le domaine de l'autécologie des essences forestières et des traits fonctionnels, en mettant notamment en place un portail web collaboratif ;
4. initier le développement d'une nouvelle méthode quantitative et généralisable pour décrire l'autécologie des essences forestières.

Traitaut est un projet d'incubation dont l'un des objectifs était également de faire émerger des projets collaboratifs sur l'autécologie des essences forestières.

II. Collaborations recherche et développement

La gestion du projet a été confiée à **Alice Michelot** (chargée de mission, GIP Ecofor) avec l'appui d'une équipe de coordination constituée de **Sophie Gachet** (Maître de conférences, Institut Méditerranéen de Biodiversité et d'Ecologie marine et continentale), **Myriam Legay** (Responsable du pôle R&D de Nancy, ONF) et **Guy Landmann** (Directeur-adjoint, GIP Ecofor). De nombreux experts (33 au total) ont contribué à l'avancement du projet par leurs échanges lors des réunions de lancement et d'avancement (cf. **annexes 1 et 2**). Ces deux réunions ont rassemblé, en proportions équilibrées, des chercheurs en sciences forestières et en écologie des communautés, et des agents du développement de l'Office National des Forêts (ONF) et du Centre National de la Propriété Forestière (CNPf), qui représentaient **14 organismes différents** au total (**figure 1**).

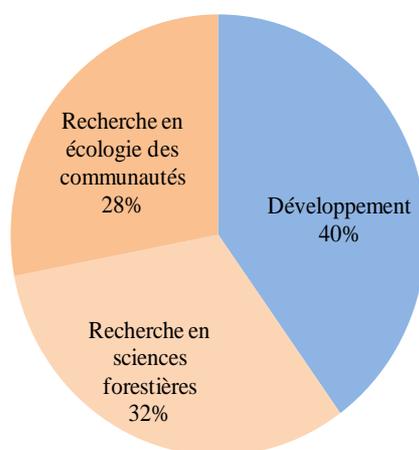


Figure 1. Répartition des participants aux deux réunions Traitaut, hors personnel du Ministère et du GIP Ecofor (non affectés spécifiquement à la recherche ou au développement).

La collaboration R&D de ce projet multipartenaire a permis un enrichissement mutuel sur les méthodes, mêlant l'expertise des agents du développement sur l'autécologie des essences forestières aux approches expérimentale et de modélisation des chercheurs. Cette collaboration a également été l'occasion de réaliser un **projet appliqué et opérationnel**, prenant pleinement en compte les attentes des gestionnaires forestiers.

La difficulté majeure a été l'appropriation de **l'approche par traits fonctionnels** par l'ensemble des participants de Traitaut et de démontrer l'utilité de cette approche en sciences forestières. Elle est principalement utilisée en écologie des communautés, où les interactions biotiques sont prises en compte, contrairement à l'autécologie. Au lancement du projet, l'utilisation des traits fonctionnels est apparue peu applicable concrètement pour les participants (malgré une présentation orale sur leur utilisation en écologie forestière) du fait de la complexité de sa définition (Violle et al., 2007) et des concepts théoriques qui l'entourent. Grâce à la **consultation de la base de données TRY** (Kattge et al., 2011) qui regroupe des bases de données contenant les valeurs de 52 types de traits mesurés sur 300 000 espèces végétales à l'échelle mondiale, des résultats ont pu être montrés aux participants lors de la réunion d'avancement, leur permettant de mieux appréhender les traits fonctionnels.

III. Déroulement du projet et méthodes

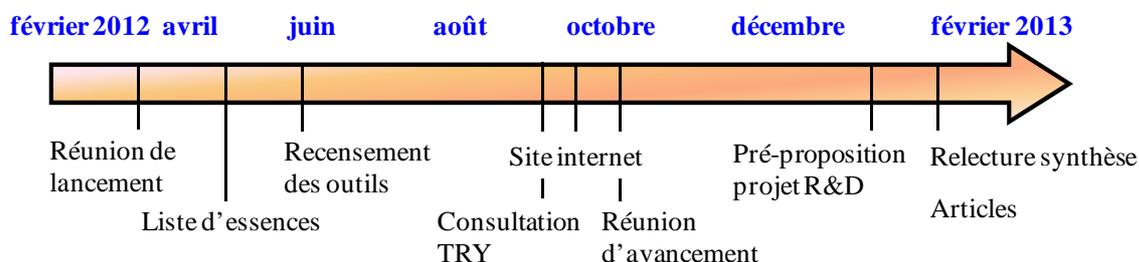


Figure 2. Principales étapes de travail du projet Traitaut

Le projet a débuté le 6 février 2012. La **journée de lancement** du projet s'est déroulée le 26 mars au GIP Ecofor à Paris (**figure 2**). Elle a réuni 19 participants, appartenant à 10 organismes différents, aussi bien des chercheurs qui étudient les traits fonctionnels ou l'autécologie des essences forestières (tropicales ou tempérées) que des agents du développement. La matinée était consacrée à la présentation du projet et des participants ainsi qu'à trois interventions orales. L'après-midi était constituée de deux ateliers successifs. Le premier portait sur l'utilisation des traits fonctionnels pour décrire l'autécologie des essences forestières. Pour chaque essence, l'ensemble des réponses d'un trait à un gradient abiotique (fonction de réponse) a été identifié comme l'information essentielle pour décrire l'autécologie. Les agents du développement ont exprimé la nécessité de déterminer les traits les plus pertinents pour caractériser l'état sanitaire des peuplements et la sensibilité des essences aux extrêmes climatiques, comme la sécheresse et le gel. Le deuxième atelier portait sur la rénovation de l'approche autécologique en milieu forestier. Il a permis d'identifier les réponses des essences aux facteurs abiotiques qui doivent être décrites, à savoir : la qualité du bois, l'état sanitaire, les caractères physiologiques impliqués dans la résistance aux événements extrêmes, ou encore la capacité de reproduction. Il est apparu nécessaire de sélectionner et hiérarchiser les facteurs abiotiques clé qui vont influencer ces réponses et de diversifier les approches (traits fonctionnels, écophysiologie, dendrochronologie, dires d'experts, systèmes d'informations géographiques, télédétection, économie...) L'intervention orale d'Alice Michelot sur les outils d'aide à la décision à l'étranger a été transmise à Jean Lemaire (CNPFP) pour sensibiliser les gestionnaires privés.

Suite à cette réunion, en concertation avec les experts, nous avons établi une **liste de 23 essences forestières** pour cibler le recueil des données autécologiques et des traits fonctionnels (**tableau 1**). Cette liste reprend en partie les essences du projet Nomades, financé par le RMT Aforce, afin d'assurer la synergie entre Nomades et Traitaut. Elle contient des espèces de statuts variés : essences sociales majeures, essences disséminées, essences introduites pour le reboisement. Parallèlement, les experts ont été concertés sur **les facteurs abiotiques et les réponses biologiques** qu'il était nécessaire d'étudier dans le contexte des changements climatiques.

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

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

Afin de rénover l'approche autécologique, nous avons ensuite **analysé les outils existants d'aide à la décision** (Reynolds et al., 2008, Muys et al., 2010) dans le contexte des changements climatiques. Ce travail s'est appuyé sur le recensement de ces outils effectué dans le cadre du projet européen FORSYS (2009-2013). **Une synthèse** intitulée « Vers un outil d'aide à la décision intégrant l'autécologie des essences dans le contexte des changements climatiques » a été rédigée à partir de juin afin de comprendre l'évolution des définitions et des concepts autour de l'autécologie, d'analyser les outils existants et de proposer un cahier des charges pour constituer un outil national.

En juin, nous avons rédigé la pré-proposition de projet pour accéder à la **base TRY** dont nous avons fait une première analyse en septembre suite à l'acceptation de notre proposition.

De juin à septembre, nous avons mis en place un **site internet collaboratif** sur l'autécologie des essences forestières visant à réunir la communauté Traitaut. Ce site a été mis en ligne le 22 octobre 2012 à l'adresse : <http://traitaut.gip-ecofor.org>.

L'avancement du projet a été présenté lors d'une réunion au Gip Ecofor le 22 octobre à Paris. Vingt-deux personnes y ont participé, avec un équilibre entre chercheurs et agents du développement. Huit personnes avaient assisté à la réunion de lancement du projet. La matinée était consacrée aux résultats du projet et à la présentation de la plateforme Capsis, comme exemple de réussite collaborative. L'après-midi était constituée d'une discussion des participants autour du site internet et des suites du projet Traitaut, notamment l'élaboration

d'un projet de R&D pour constituer un outil d'aide à la décision en France. Pour ce futur projet, il est apparu important de prendre en compte les besoins des gestionnaires, de définir les échelles spatiales, de proposer une aide au choix des essences et au traitement sylvicole, et de collecter et analyser les données autécologiques déjà disponibles sur les essences forestières. A partir de novembre 2012, nous avons travaillé sur **l'élaboration d'un projet R&D** dans le cadre de l'appel à projet Agrobiosphère de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). L'objectif de ce projet est de développer un outil d'aide au choix des essences et au traitement sylvicole associé, à destination des gestionnaires forestiers dans le contexte des changements globaux (composante changements climatiques et augmentation du CO₂ atmosphérique). Il s'appuie sur le cahier des charges établi dans la synthèse Traitaut d'après l'analyse des outils d'aide à la décision existants et il est porté par Myriam Legay qui fait partie de l'équipe de coordination de Traitaut. La pré-proposition a été envoyée en janvier 2013 à l'ANR.

IV. Résultats du projet Traitaut

1. Clarifier les définitions et les contours de l'autécologie

Le sens et l'usage du terme « autécologie » ont largement évolué au cours du temps. Historiquement, ce mot aurait été employé pour la première fois par le botaniste autrichien **Gottlieb Haberlandt en 1884** dans son livre « *Physiological Plant Anatomy* » pour désigner l'étude des relations entre un individu ou une espèce et l'environnement (Bugslag, 1968). **Pierre Dansereau**, écologue québécois, est l'un des premiers à détailler les principes de la division de l'écologie en « autécologie » et « synécologie » dans « *Biogeography: an Ecological Perspective* » paru en **1957**. Concept complémentaire de l'autécologie, la **synécologie** étudie, elle, les interactions entre espèces vivant dans le même milieu (interactions biotiques). L'autécologie a donc été utilisée en physiologie puis en biogéographie en la reliant aux capacités d'adaptation des espèces, sans considérer les interactions biotiques qui relevaient *sensu stricto* de la synécologie. Elle devait initialement permettre d'expliquer la répartition des espèces à différentes échelles spatiales. Comme le soulignent Frontier et Pichod-Viale (1993), elle a cependant rapidement buté sur un obstacle : la répartition d'une espèce est non seulement due à des facteurs abiotiques, mais également aux interactions entre êtres vivants. Par exemple, les mycorhizes qui sont des associations symbiotiques entre les racines végétales et des champignons peuvent favoriser la croissance d'une essence forestière. A l'inverse, une densité importante d'herbivores dans le milieu peut diminuer la régénération d'une espèce végétale.

L'autécologie, dans son acception initiale, est un concept qui ne permet pas à lui seul de rendre compte de la répartition des espèces. C'est probablement ce constat qui a incité les forestiers à étendre ce concept, incluant dans les définitions contemporaines de l'autécologie, la réponse biologique des espèces aux facteurs biotiques, ainsi que les différents niveaux d'organisation du vivant.

2. Des outils d'aide à la décision intégrant l'autécologie

Pour rénover l'approche autécologique, nous avons recherché les outils existants d'aide à la décision dans le contexte des changements climatiques. Ce travail s'est appuyé sur le recensement de ces outils au sein du **projet européen FORSYS (2009-2013)**. Premier constat : parmi les 75 outils décrits, seule la plateforme Capsis est recensée pour la France (Dufour-Kowalski et al., 2012). Cette dernière n'a d'ailleurs pas pour vocation première d'être un outil d'aide à la décision même si elle est parfois utilisée ainsi par des agents du développement. Trois outils élaborés à l'étranger et intégrant l'autécologie ont été plus particulièrement analysés (**tableau 2**).

Le premier est le logiciel **ESC (Ecological Site Classification)** mis en place en 2001 au Royaume-Uni par la Forestry Commission (Ray, 2001). Des fonctions de réponses établies à dire d'expert décrivent la productivité relative de chaque essence sur chaque site selon quatre facteurs climatiques (température cumulée, déficit hydrique, exposition au vent et continentalité) et deux facteurs édaphiques (alimentation hydrique et fertilité minérale). Les valeurs seuils de cette productivité sont utilisées pour qualifier l'adéquation potentielle de l'essence au climat pour la période de référence (1961-1990) mais également pour la période

future (2050) où deux facteurs climatiques sont modifiés selon les scénarios climatiques de l'UKCIP (United Kingdom Climate Impacts Program) basés sur les scénarios d'émission de l'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Des cartes permettent de visualiser l'évolution de l'adéquation de chaque essence forestière entre ces deux périodes. Cet outil présente l'avantage d'être simple d'utilisation pour les gestionnaires sur une large étendue spatiale avec une résolution fine. En revanche, la productivité est la seule réponse qui est prédite et les fonctions de réponse sont construites à partir de la concertation d'un nombre limité d'experts *via* la méthode Delphi, sans validation scientifique.

Le deuxième est l'outil **AFFOREST** créé en 2004 dans le cadre d'un programme européen rassemblant la Suède, le Danemark, les Pays-Bas et la Belgique (Gilliams et al., 2004). Grâce à un modèle mécaniste qui simule les processus fonctionnels et les cycles de nutriments du sol, l'effet de différents itinéraires d'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 leurs options 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 fonctionnels par le biais d'un méta-modèle, version simplifiée du modèle d'origine. Cependant, il est limité à un choix de quatre espèces et n'intègre pas l'effet des scénarios climatiques futurs.

Le troisième est l'outil **DSD (Decision Support Dobrova)** établi en 2001 à l'Université des ressources naturelles et des sciences de la vie de Vienne (Lexer et al., 2005). Il permet aux gestionnaires d'obtenir une liste d'essences et de traitements sylvicoles (peuplement pur ou mélangé et rythme d'éclaircies) potentiellement adaptées au climat futur. Il réalise l'évaluation des différentes stratégies adaptatives en termes de production de bois, de conservation de la biodiversité et de maintien de la productivité. Pour cela, il intègre un modèle de croissance et une analyse multicritère. Cet outil s'inscrit dans les préoccupations actuelles de la gestion adaptative en considérant des incertitudes et des 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.

Tableau 2. Principales caractéristiques de trois outils d’aide à la décision intégrant l’autécologie des essences forestières dans le contexte des changements climatiques.

Outils	ESC	AFFOREST	DSD
Date de création	2001	2004	2001
Pays	Royaume-Uni	Suède, Danemark, Pays-Bas, Belgique	Autriche
Thématique	Choix des espèces adaptées	Afforestation sur des sols agricoles	Choix de peuplement et sylviculture adaptés
Objectif de gestion	Production	Multifonctionnel	Multifonctionnel
Echelle spatiale	Parcelle-paysage (1 ha)	Parcelle-région (1 ha ou 1 km ²)	Parcelle
Echelle temporelle	Selon les scénarios climatiques	0-30 ans	0-100 ans
Analyse multicritère	Non	Oui	Oui
Type de modèle	Tables de production	Méta-modèle mécaniste	Modèle d'autécologie, modèle de croissance
Utilisateurs ciblés	Gestionnaires, décideurs politiques	Décideurs politiques, gestionnaires	Gestionnaires
Paramétrisation	Moyen	Forte	Faible
Facteurs	Climatiques et édaphiques	Climatiques, édaphiques, utilisation des terres	Climatiques
Réponses	Productivité relative	Séquestration de carbone, lessivage des nitrates, recharge en eau du sol	Indicateurs dendrométrique, édaphiques et de biodiversité
Changement climatique	Oui	Non	Oui
Aide au choix des essences	Oui	Oui, 4 essences	Oui

3. Vers un outil d’aide à la décision pour le choix des essences futures

En s’appuyant sur cette analyse et les besoins actuels de la gestion forestière, nous avons établi un **cahier des charges pour construire un outil d’aide à la décision en France métropolitaine**. Plus précisément, l’objectif serait de bâtir un outil d’aide au choix des essences et au traitement sylvicole associé, à destination des gestionnaires forestiers dans le contexte des changements climatiques. L’échelle spatiale serait triple et emboîtée, considérant le massif, la région et toute la France métropolitaine. L’échelle temporelle serait double en considérant le moyen (2050) et le long terme (2100). L’outil devra être facile d’accès et contenir une plateforme géomatique afin de référencer spatialement les paramètres initiaux, contenir des couches multiples (climat, sol...) et permettre des sorties sous forme de cartes. Le choix des modèles (croissance, niche, mécaniste...) serait à définir en fonction de leur opérationnalité, de leur complémentarité et du type de réponse biologique des essences qu’ils simulent. Ces réponses seraient en partie décrites sous la forme de fonctions de réponse aux facteurs abiotiques calibrées ou validées par les données recueillies *via* une base bibliographique. Un module d’analyse de décision multicritère serait développé séparément

afin de prendre mieux en compte les enjeux socio-économiques et de biodiversité de la gestion forestière (**figure 3**).

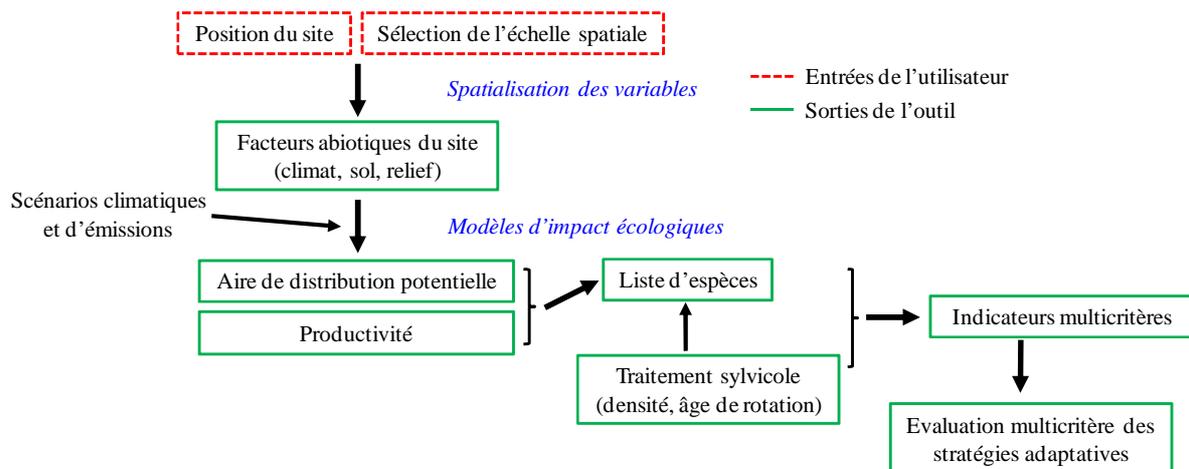


Figure 3. Préfiguration du fonctionnement de l’outil d’aide à la décision d’après le cahier des charges réalisé au cours du projet Traitaut

4. L’apport des traits fonctionnels

Pour déterminer l’apport des traits fonctionnels dans la rénovation de l’approche autécologique, la base de données TRY (Kattge et al., 2011) a été consultée pour une liste de 23 essences forestières, établie par les experts de Traitaut. Une première analyse de cette base montre 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’Epicéa (*Picea abies*), le Chêne vert (*Quercus ilex*), le Chêne sessile (*Quercus petraea*) et le Hêtre (*Fagus sylvatica*, **figure 4**). Les valeurs de traits foliaires représentent plus de la moitié des valeurs de traits dans la base (**figure 5**). La variabilité intra-spécifique des traits rend difficile l’obtention d’une moyenne comparable entre espèces (e.g. **figure 6**).

Il semble nécessaire de calculer des moyennes sur une seule base à chaque fois pour avoir des valeurs homogènes. Les données de TRY pourront être utilisées afin de **paramétrer des modèles d’impact** nécessaires au fonctionnement de l’outil d’aide à la décision. En revanche, il manque généralement les valeurs des facteurs abiotiques pour chaque mesure, qui seraient pourtant nécessaires à la construction des fonctions de réponse par espèce (e.g. **figure 7**).

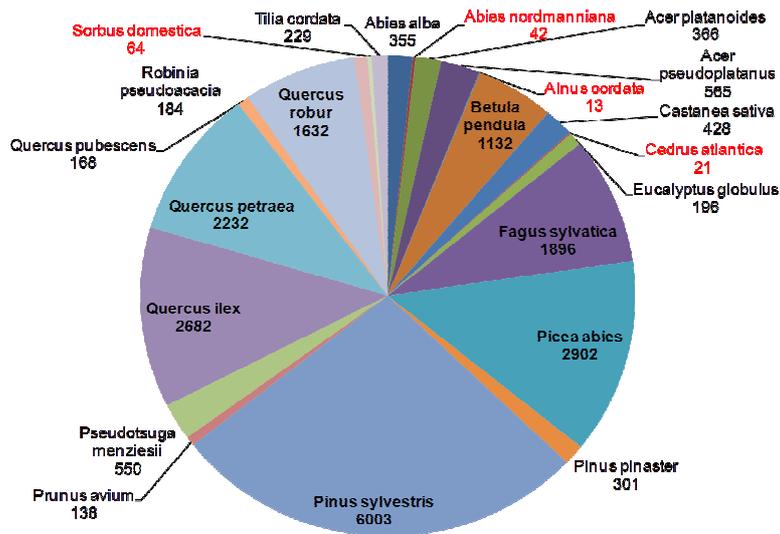


Figure 4. Nombre de valeurs de traits par espèce d'après la consultation de la base TRY au cours du projet Traitaut

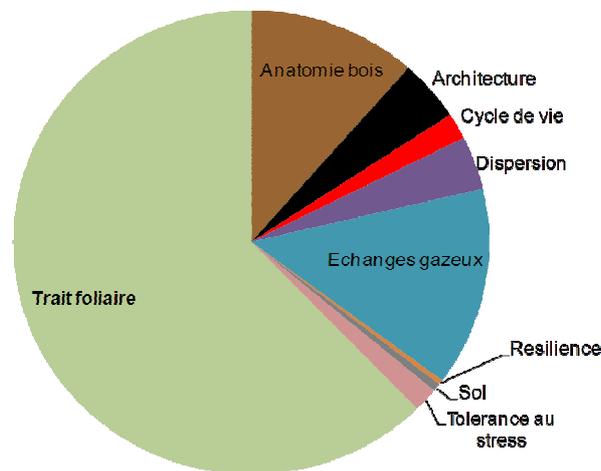


Figure 5. Répartition des traits par grand groupe d'après la consultation de la base TRY au cours du projet Traitaut

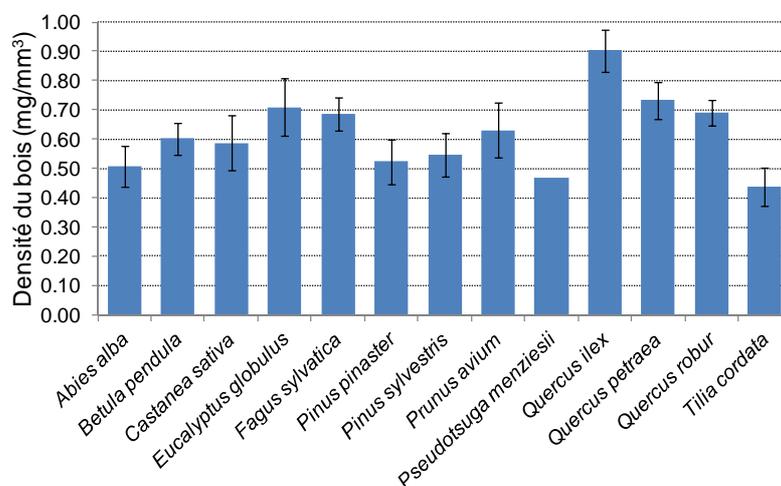


Figure 6. Densité moyenne du bois par espèce (\pm écart-type) d'après la consultation de la base TRY au cours du projet Traitaut.

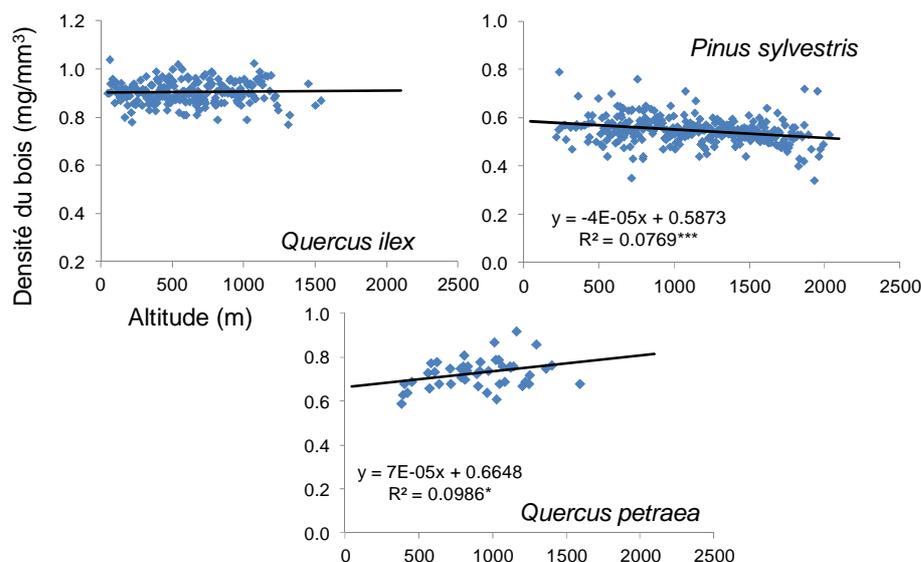


Figure 7. Densité du bois en fonction d'un gradient altitudinal pour trois essences forestières d'après la consultation de la base TRY au cours du projet Traitaut. Les droites représentent des régressions linéaires. Significativité : *** $p < 0.001$; * $p < 0.05$.

5. Création d'une plateforme collaborative : un réseau de compétences

Un **questionnaire d'enquête** a été réalisé auprès de la communauté Traitaut pour connaître les attentes concernant la mise en place d'une plateforme web collaborative sur l'autécologie des essences forestières. Vingt-sept personnes de 14 organismes différents ont y ont participé. A l'unanimité, les participants ont jugé cette initiative utile et les réponses ont conforté les objectifs initiaux (cf. détail des résultats en **annexe**). Plus particulièrement, les actions qui sont ressorties comme les plus importantes étaient de :

- créer un annuaire des membres ;
- créer une base bibliographique classée par essence et facteur abiotique ;
- présenter les projets en cours et les résultats ;
- présenter des outils d'aide au choix des essences (cartographie, logiciel...) développés en France et à l'étranger.

75 % des participants se sont dit prêts à alimenter ce portail de sources bibliographiques.

Suite à cette enquête, le site internet a été créé par Wilfried Heintz (Gip Ecofor) et Alice Michelot (pour établir progressivement le cahier des charges du site) à l'adresse : <http://traitaut.gip-ecofor.org>. Il contient un annuaire des membres, une base de sources bibliographiques, un recensement des outils sur l'autécologie et un espace d'échanges sur les projets et travaux en lien avec Traitaut (**figure 8**).



Figure 8. Capture d'écran de la page d'accueil du site internet Traitaut

La base de sources bibliographiques est libre d'accès. Elle permet d'ajouter des publications et de les trier par essence (**tableau 1**), facteur abiotique, facteur biotique, type de réponse biologique et type d'approche (**tableau 3, figure 9**), ce qui n'est généralement pas possible dans les bases existantes.

Tableau 3. Critères de tri des publications du site internet Traitaut

Facteur climatique	Facteur édaphique	Facteur biotique	Type de réponse	Type d'approche
Température	Réserve utile	Insecte	Productivité	Physiologie
Rayonnement	Alimentation hydrique	Champignon	Répartition	Ecophysiologie
Vent	Engorgement	Organisme symbiotique	Qualité du bois	Ecologie des populations
Précipitations	Richesse minérale	Autre	Etat sanitaire	Ecologie des communautés
Humidité de l'air	C/N		Phénologie	Ecologie du paysage
Brouillard	pH		Capacité de dispersion	Génétique
Evapotranspiration potentielle	Type d'humus		Résistance	Dendrochronologie
Gel	Profondeur utile			Sciences forestières
Neige	Profondeur de carbonatation			Sciences du sol
	Texture			Sciences du bois
	Charge en éléments grossiers			Génie des procédés
				Sciences de l'atmosphère et du climat
				Sciences humaines, économiques et sociales

Publications

[Ajouter une publication](#) | [Trier les publications](#)

Par essence	Fagus sylvatica
Par facteur climatique	Température
Par facteur édaphique	Alimentation hydrique
Par facteur biotique	Tous
Par type de réponse	Productivité
Par type d'approche	Dendrochronologie

Nombre de références : 2

Lebourgeois F. (2005) Approche dendroécologique de la sensibilité du Hêtre (*Fagus sylvatica* L.) au climat en France et en Europe. *La revue forestière française*, **LVII** (), 33-50, RFF
[+ de détails]

Lebourgeois F., Breda N., Ulrich E., Granier A. (2005) Climate-tree-growth relationships of European beech (*Fagus sylvatica* L.) in the French Permanent Plot Network (RENECOFOR). *Trees*, **19** (), 385-401,
[+ de détails]

GIP-Ecofor © 2012 - Tous droits réservés

Figure 9. Exemple de tri bibliographique sur le site internet Traitaut

V. Conclusions et perspectives

Le projet Traitaut a mis en évidence la nécessité de **développer des outils informatiques d'aide à la décision** permettant de rénover l'approche autécologique dans le contexte des changements climatiques. Ce type d'outil est en pleine expansion dans d'autres pays et permet d'intégrer les connaissances sur l'autécologie des essences dans un outil opérationnel et accessible aux gestionnaires forestiers. Ce constat est d'ailleurs à l'origine de la rédaction d'une pré-proposition de projet, déposée en janvier 2013 à l'ANR.

Le recensement des données sur l'autécologie des essences forestières et les valeurs de traits fonctionnels disponibles sur les 23 essences sélectionnées a montré que certaines essences sont peu documentées, notamment les essences secondaires autochtones. Il est difficile d'établir des fonctions de réponse d'une espèce aux facteurs abiotiques uniquement à partir des données bibliographiques. En l'absence de données quantitatives, il peut être nécessaire de compléter ces informations par des dires d'experts dans un premier temps. Les **traits fonctionnels** pourraient être utilisés pour **caractériser les réponses biologiques d'un groupe d'espèces** au comportement semblable vis-à-vis des facteurs abiotiques.

Enfin, ce projet a souligné davantage l'importance du **transfert des connaissances** entre les chercheurs, les agents du développement et les gestionnaires forestiers pour la **mise en place de stratégies adaptatives** dans le contexte des changements climatiques. L'autécologie au sens strict apparaît comme un concept relativement restrictif. Pour appréhender l'adaptation potentielle des peuplements aux changements climatiques, il semble indispensable de développer une **vision plus intégrative de l'écologie**, notamment en y intégrant les interactions biotiques et des niveaux d'organisation du vivant autres que celui de l'espèce. Il est nécessaire de fédérer les approches à l'échelle nationale. Par exemple, différents modèles simulent la réponse des essences au climat mais selon leur construction (modèle mécaniste, modèle de croissance, modèle de niche...) ils n'apportent pas les mêmes conclusions quant à l'adaptation potentielle des essences. Leur comparaison et leur association au sein d'un projet collaboratif permettra de mieux prendre en compte la variabilité de ces simulations et les incertitudes.

Les produits attendus du projet Traitaut sont la publication du **document de synthèse** sur les outils d'aide à la décision et un **article** contenant les résultats du projet, qui devrait paraître dans « Les Rendez-vous techniques de l'ONF », s'ajoutant au **site internet** et à l'élaboration du **pré-projet R&D**. Le projet Traitaut devrait se poursuivre à travers le **développement de la plateforme web collaborative** et notamment **l'enrichissement de la base bibliographique**, ainsi qu'à travers **l'élaboration de projets de recherche** au sein de la communauté créée.

Bibliographie

1. Bugslag C.R. (1968) Ecology as a factor in planning for outdoor recreation, University of British Columbia, pp. 123.
2. Dufour-Kowalski S., Courbaud B., Dreyfus P., Meredieu C. et Coligny F. (2012) Capsis: an open software framework and community for forest growth modelling. *Annals of Forest Science*, **69**, 221-233.
3. Frontier S. et Pichod-Viale D. (1993) Ecosystème : structure - fonctionnement - évolution, pp. 447.
4. Gilliams S., Van Orshoven J., Hansen K., Skov-Petersen H. et Muys B. (2004) The AFFOREST-sDSS tutorial, pp. 43.
5. Kattge J., Diaz S., Lavorel S., Prentice I.C., Leadley P., Bönsch G., . . . Wirth C. (2011) TRY – a global database of plant traits. *Global Change Biology*, **17**, 2905-2935.
6. Lexer M.J., Vacik H., Palmethhofer D. et Oitzinger G. (2005) A decision support tool to improve forestry extension services for small private landowners in southern Austria. *Computers and Electronics in Agriculture*, **49**, 81-102.
7. Muys B., Hynynen J., Palahi M., Lexer M.J., Fabrika M., Pretzsch H., . . . Kint V. (2010) Simulation tools for decision support to adaptive forest management in Europe. *Forest Systems*, **19**, 86-99.
8. Ray D. (2001) Ecological Site Classification V1.7- A PC-based Decision Support System for British Forests, Edinburgh.
9. Reynolds K.M., Lexer M.J., Vacik H., Ray D., Shao G. et Borges J.G. (2008) Decision Support Systems in Forest Management. Dans: *Handbook on Decision Support Systems 2* (eds 499-533. Springer Berlin Heidelberg, Leipzig.
10. Violle C., Navas M.L., Vile D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I. et Garnier E. (2007) Let the concept of trait be functional! *Oikos*, **116**, 882-892.

Annexe 1. Réunion de lancement du projet Traitaut

Le 26 mars 2012, Ecofor, Paris

Personnes présentes :

Vincent BADEAU, INRA
Jean-Claude BERGONZINI, GIP Ecofor
Aggeliki DOXA, Aix-Marseille Université
Sophie GACHET, Aix-Marseille Université
Christian GAUBERVILLE, CNPF
Sylvie GOURLET-FLEURY, CIRAD
Nathalie KORBOULEWSKY, IRSTEA
Georges KUNSTLER, IRSTEA
Jean LADIER, ONF
Guy LANDMANN, GIP Ecofor
François LEBOURGEOIS, AgroParisTech
Myriam LEGAY, ONF
Jean LEMAIRE, CNPF
Alice MICHELOT, GIP Ecofor
Xavier MORIN, CNRS
Céline PERRIER, CNPF
Olivier PICARD, CNPF
Quentin PONETTE, UCL
Bernard RIÉRA, GIP Ecofor

Date à retenir : Fin juin pour réaliser les quatre prochaines étapes fixées lors de cette réunion (cf. page 8).

1. PRESENTATION DU PROJET

Après une introduction de Guy Landmann pour le **GIP Ecofor** et Céline Perrier pour le **RMT AFORCE**, qui sont les deux organismes **financeurs du projet**, le contexte et les objectifs initiaux du projet TRAITAUT sont présentés.

- **Contexte**

Les changements climatiques entraînent des modifications physiologiques et phénologiques des essences forestières. Afin d'évaluer les conditions d'adaptation des forêts à ces changements, il est nécessaire de décrire **l'autécologie des essences**, définie comme la réponse des espèces aux facteurs de l'environnement (e.g. climat, sol) en fonction de leurs physiologies et de leurs adaptations respectives (Frontier et Pichod-Viale, 1993). Les gestionnaires forestiers ont en effet besoin d'outils opérationnels pour le choix futur des essences. Actuellement, les catalogues forestiers indiquent l'adéquation de l'essence pour une station donnée. L'autécologie des essences y est généralement décrite avec des paramètres empiriques, peu modulables dans le contexte des changements climatiques. Il est donc nécessaire de **renover l'approche autécologique en incluant notamment les traits fonctionnels**¹ et les paramètres écophysologiques des essences qui sont plus quantifiables.

TRAITAUT est un **projet collectif d'une durée d'un an (début 6 février 2012)** qui s'inscrit dans cette thématique. Il est géré par Alice Michelot (chargée de mission à temps plein sur le projet) et trois coordinateurs : Sophie Gachet, Myriam Legay et Guy Landmann.

- **Objectifs** (formulés avant cette journée)

1. Clarifier les définitions et les contours de l'autécologie (synécologie, compétition, facteurs du milieu). Ce travail débouchera sur la **rédaction d'un document synthétique de référence**.
2. **Développer une nouvelle méthode quantitative et généralisable** pour décrire l'autécologie des essences forestières. Elle inclura leurs exigences écologiques (optima et seuils limite de tolérance), leurs traits fonctionnels et une approche écophysologique de leurs réponses aux changements climatiques.
3. Constituer un **portail collaboratif** facilitant les échanges et offrant des sources d'informations dans les domaines de l'autécologie des essences forestières et des traits fonctionnels.

Ces objectifs ont été discutés (puis reformulés) au cours de la journée en concertation avec les participants (cf. partie 4).

Les participants se présentent tour à tour en spécifiant leurs organismes d'appartenance et leurs thématiques d'étude. Il est important de souligner la mixité des participants et des organismes : des chercheurs (dans le domaine fondamental ou appliqué) sur les thématiques des traits fonctionnels et/ou de l'autécologie des essences forestières (tropicales ou tempérées) ainsi que des agents du développement.

2. PRESENTATIONS ORALES

¹ Caractéristiques morphologiques, physiologiques ou phénologiques qui impactent indirectement la valeur sélective des individus *via* leurs effets sur la croissance, la reproduction et la survie (Violle *et al.* 2007).

- « **L'autécologie pour développer des outils d'aide à la gestion forestière – Exemples à l'étranger** », par **Alice Michelot**

Cette communication est le résultat d'une synthèse bibliographique sur deux outils d'aide au choix des essences principalement à destination des gestionnaires. Le premier est le logiciel « Ecological Site Classification » mis en place au Royaume-Uni par Duncan Ray et ses collaborateurs de la Forestry Commission qui y travaillent depuis 1992. Par une approche empirique (i.e. observations et mesures des gestionnaires), il renseigne 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 les scénarios climatiques de l'UKCIP basés sur les scénarios d'émission de l'IPCC. Pour chaque essence, des cartes permettent de visualiser les **changements d'acclimatation** entre ces deux périodes. Cette méthodologie est également développée depuis 2008 en Irlande avec la prise en compte d'événements climatiques extrêmes comme les gelées tardives (**programme CLIMADAPT**). Le deuxième outil est le site web « Tree Atlas » mis en place aux Etats-Unis par des chercheurs (Iverson, Prasad *et al.*) de la Northern Station Research. Par modélisation statistique, cet outil permet d'identifier les facteurs environnementaux à l'origine de **l'indice d'importance** de chaque essence (i.e. surface terrière et densité relatives de l'espèce par rapport au peuplement) pour la période 1961-1990 parmi **38 facteurs climatiques et édaphiques**. Ensuite, les indices d'importance sont prédits pour chaque essence selon les scénarios climatiques et d'émissions futurs et visibles sous forme de cartes. Cette méthodologie a été récemment développée pour quantifier l'impact des facteurs biologiques, des perturbations, des incertitudes des scénarios et du déplacement maximal de l'essence sur l'aire de répartition potentielle future (Matthews *et al.* 2011).

- « **Quelle méthode pour réviser les outils d'aide au boisement ? Exemple en Région wallonne** », par **Quentin Ponette**

En Région wallonne **deux outils existent pour aider les gestionnaires à choisir les essences**. Le premier est « Le guide de boisement des stations forestières de Wallonie », conçu en 1994. Il fournit une liste d'essences compatibles avec les conditions du milieu considéré, décrite selon les niveaux hydrique et trophique, déduits à partir d'une clé, et la zone écologique (« territoire écologique »). Pour les essences « de production », la compatibilité est évaluée en considérant la possibilité de produire du bois de qualité. Pour les essences secondaires, la compatibilité s'appuie sur la phytosociologie. Le deuxième outil est le « Fichier écologique des essences », conçu en 1991. Il décrit des informations supplémentaires sur la sensibilité de chaque essence, les effets du milieu sur l'essence, les facteurs de compensation et les effets de l'essence sur le milieu. Il reprend également les risques biotiques ainsi qu'une série d'informations culturelles. **Ces deux outils sont actuellement en révision** afin d'intégrer l'impact des changements climatiques sur les essences, de prendre en compte la diversité des objectifs de gestion, d'homogénéiser les

approches et d'en faciliter l'utilisation pour les gestionnaires. Concernant la méthodologie, il est ainsi prévu la fusion de ces outils, une révision de la zonation écologique du territoire, une clarification des échelles et des modes d'action des facteurs environnementaux, et la prise en compte de **plusieurs réponses de l'essence (survie, productivité, qualité, stabilité)**. De plus, le nouvel outil sera documenté avec des définitions, un mode d'emploi et l'actualisation des concepts afin d'en faciliter la compréhension et l'utilisation pour les gestionnaires.

- « **Utilisation des traits en écologie forestière** », par **Sophie Gachet**

L'objectif de cette présentation est de donner des **définitions concrètes des traits fonctionnels** et des exemples de leur utilisation en écologie forestière. Selon Violle *et al.* (2007), les traits sont définis comme tout caractère morphologique, physiologique ou phénologique, mesurable sur un individu, de la cellule à l'organisme entier (e.g. hauteur d'un arbre, surface foliaire, taille de la graine, etc.) Les traits reflètent l'adaptation, le métabolisme, et l'assemblage des communautés. Ils peuvent également être utilisés pour mettre en évidence des gradients environnementaux et les réponses ou les effets des communautés aux perturbations. **De nombreuses bases de données regroupent plusieurs traits fonctionnels** aussi bien sur les herbacées que sur les ligneux dans différents biomes, comme la base **TOPIC** au Canada (Aubin *et al.*, 2007) ou la base **TRY** à l'échelle mondiale qui regroupe 300 000 espèces (Kattge *et al.*, 2011). **Les traits sont également des indicateurs de processus fonctionnels** comme la physiologie, la phénologie, le stockage du carbone dans le sol, la réponse à l'herbivorie, les successions végétales ou encore la dynamique de la biodiversité des sous-bois. Afin d'obtenir des définitions et des concepts consensuels sur les traits, un outil informatique (**appelé ThésauForm**) a été récemment développé pour cela lors de la thèse de Marie-Angélique Laporte (CEFE/LIRRM, Montpellier).

3. ATELIERS

L'après-midi est consacré à deux ateliers successifs (1h chacun) avec des pistes de réflexion sous forme de questions. Afin de faciliter la discussion, les participants sont divisés en **trois sous-groupes, homogènes** entre les chercheurs qui travaillent sur les traits, ceux qui travaillent sur l'autécologie et les agents du développement. Chaque sous-groupe rapporte ensuite en session plénière sa discussion en notant les questions importantes sur des post-it.

- **Composition des groupes**

Groupe 1 : Sophie Gachet, François Lebourgeois, Jean Lemaire, Alice Michelot, Céline Perrier, Quentin Ponette.

Groupe 2 : Vincent Badeau, Jean-Claude Bergonzini, Aggeliki Doxa, Christian Gauberville, Myriam Legay, Xavier Morin, Bernard Riéra.

Groupe 3 : Sylvie Gourlet-Fleury, Nathalie Korboulewsky, Georges Kunstler, Jean Ladier, Guy Landmann, Olivier Picard.

• Synthèse des discussions

Atelier 1 : Utiliser les traits fonctionnels pour décrire l'autécologie des essences forestières. Comment définit-on les traits fonctionnels ? Pourquoi les utiliser comme paramètre autécologique ? Comment intégrer leur variabilité à de larges échelles spatiales ?

Quels traits pour l'autécologie ? On peut différencier deux types de traits : les traits qualitatifs qui sont liés à l'espèce comme le mode de dispersion ou la persistance du feuillage et les traits quantitatifs qui sont liés à l'environnement. La réponse des traits à un gradient environnemental correspond à une fonction de réponse qu'il faut bien distinguer des traits mesurés eux-mêmes. C'est cette fonction de réponse et la gamme de valeurs qu'elle prend pour chaque essence qui semble pertinente à utiliser pour décrire l'autécologie.

Les traits comme indicateurs. Les traits peuvent être des indicateurs et des intégrateurs de multiples processus fonctionnels et de leur effets sur la productivité, la biodiversité ou encore les services écosystémiques. Les gestionnaires veulent connaître les traits les plus pertinents pour caractériser l'état sanitaire des peuplements et la sensibilité des essences aux extrêmes climatiques (e.g. résistance à la sécheresse ou résistance au gel).

Les limites de l'approche « trait ». Une des limites de l'utilisation des traits pour décrire l'autécologie est leur variabilité intra-spécifique due à l'environnement. Par exemple, certains individus peuvent mieux résister que la gamme moyenne attendue pour l'espèce à un stress environnemental.

Utiliser les bases de données. Les bases de données comme TRY pourraient permettre de regrouper les espèces ayant des traits fonctionnels similaires, il s'agit d'un des avantages de l'approche « trait ». Dans ces bases, il semble manquer des traits sur l'anatomie du bois.

NB : L'approche « traits » comme nous l'avons abordée n'est pas seulement celle définie par Violle *et al.* (2007) où le « trait » est une caractéristique mesurable à l'échelle de l'individu. Au sens plus large les traits sont définis ici comme des caractéristiques qui peuvent se mesurer sur un peuplement sans forcément arriver à en distinguer les différents individus (e.g. dans les forêts tropicales).

Atelier 2 : Rénover l'approche autécologique en milieu forestier. Quels besoins pour les gestionnaires ? A quelles réponses aux facteurs environnementaux doit-on s'intéresser ? Quels paramètres autécologiques faut-il décrire ? Où trouver les informations nécessaires ?

La nécessité de rénover la méthodologie. Les catalogues forestiers actuels ne fournissent pas suffisamment d'informations quantitatives sur l'autécologie des essences. Il est nécessaire de produire de nouveaux outils d'aide à la décision plus opérationnels pour les gestionnaires. Avant de concevoir l'outil final d'aide à la décision (e.g. logiciel « Ecological Site Classification » au Royaume-Uni), il est essentiel de construire une méthode généralisable et quantitative pour pouvoir comparer l'autécologie des essences.

Les réponses des essences à caractériser. Les mesures de productivité ne suffisent pas à caractériser toutes les réponses d'un peuplement forestier à son environnement. Ainsi, d'autres informations doivent compléter l'approche autécologique comme la qualité du bois, l'état sanitaire, la résistance aux évènements extrêmes (e.g. sécheresse, gel...), la capacité de reproduction, ou encore les facteurs d'adaptabilité et de compensation. Concernant l'état sanitaire, il est difficile pour les gestionnaires de le caractériser de manière quantitative et il y a généralement un retard dans la détection du dépérissement ou une sous-estimation du dépérissement qui est due à l'accoutumance des gestionnaires à l'état de leurs peuplements. L'approche écophysiological semble adéquate pour appréhender l'état sanitaire et la mortalité des peuplements mais les modèles écophysiologicals sont peu accessibles aux gestionnaires.

Les facteurs environnementaux à considérer. Il faut hiérarchiser et sélectionner les facteurs environnementaux clé qui vont influencer la réponse future des essences forestières. Pour chaque facteur, des valeurs seuils à partir desquelles l'essence est sensible pourront être établies. Concernant le climat, l'effet thermique sur les peuplements doit être découplé de l'effet du stress hydrique. L'évapotranspiration potentielle est un facteur à prendre en compte mais les données météorologiques pour la calculer ne sont pas toujours mesurées à l'échelle locale. Les facteurs édaphiques, topographiques, géologiques, biotiques et les perturbations influencent également l'autécologie des essences. Par exemple en Belgique, il semble que l'acidité des sols soit le principal facteur à l'origine des changements d'état sanitaire plutôt que le réchauffement climatique.

De multiples approches. Les approches pour caractériser l'ensemble des réponses des essences à leur environnement doivent être multiples. On peut citer l'écophysiological, la dendrochronologie (qui servirait plutôt à comprendre les processus fonctionnels qu'à prédire des vulnérabilités futures), la combinaison des traits fonctionnels, les dires d'experts, les systèmes d'informations géographiques (SIG) pour créer des cartographies multi-couches, la télé-détection ou encore l'économie (pour inclure la notion de risque économique, à distinguer du risque biologique).

Les limites et les manques de l'approche autécologique. Il reste difficile de prévoir la dynamique et la vitesse de colonisation des espèces invasives qui peuvent perturber l'écosystème. Il manque des descriptions autécologiques sur les essences moins répandues ou secondaires. L'incertitude des scénarios climatiques et d'émissions de gaz à effet de serre complique la prise de décision. Une façon de fournir néanmoins des outils opérationnels aux gestionnaires malgré les incertitudes est d'intégrer la notion de risque dans les cartographies. Pour chaque essence, il faudrait donner une probabilité de risque de vulnérabilité délimitée spatialement.

Des outils opérationnels faciles d'utilisation. L'outil final pourrait être cartographique avec plusieurs couches de facteurs (climat, topographie, géologie) et de réponses (productivité, qualité, état sanitaire...) Il faut adapter l'échelle spatiale de cet outil à la gestion. Si les modèles de niche intègrent des échelles spatiales assez larges, le gestionnaire a besoin d'une information plus locale (e.g. maille de 5 ha). Dans le choix futur des essences, il faut aussi prendre en compte des paramètres sylvicoles comme le temps d'exposition des essences au stress en fonction de leur âge d'exploitation et le statut social des arbres car une espèce dominée n'aura pas forcément les mêmes conditions micro-climatiques qu'une espèce dominante. L'outil final doit être dynamique (i.e. intégrer les différents scénarios et leurs amplitudes) et facile d'utilisation, mais toujours avec la nécessité que le gestionnaire comprenne la méthodologie utilisée.

4. BILAN ET SUITES DU PROJET

La troisième partie de l'après-midi est consacrée à 1h30 de discussion plénière sur les suites du projet d'après les restitutions d'ateliers. **Les objectifs initiaux du projet ont ainsi été soumis à l'avis des participants. Les prochaines étapes du projet** nécessaires au développement d'une nouvelle méthode quantitative et généralisable pour décrire l'autécologie des essences et constituer un outil d'aide à la gestion ont été établies.

• **Objectifs initiaux**

1. Clarifier les définitions et les contours de l'autécologie (synécologie, compétition, facteurs du milieu). Ce travail débouchera sur la rédaction d'un document synthétique de référence.

→ Ce travail n'est plus identifié comme la priorité immédiate du projet mais il semble néanmoins important de **bien définir les concepts utilisés et les termes employés**. Le besoin sera réévalué en cours de projet.

2. Développer une nouvelle méthode quantitative et généralisable pour décrire l'autécologie des essences forestières. Elle inclura leurs exigences écologiques (optima et seuils limite de tolérance), leurs traits fonctionnels et une approche écophysiological de leurs réponses aux changements climatiques.

→ Ce travail reste l'objectif central du projet. **Il sera établi sur des exigences écologiques précises et pour une liste restreinte d'essences tempérées** (cf. ci-dessous).

3. Constituer un portail collaboratif facilitant les échanges et offrant des sources d'informations dans les domaines de l'autécologie des essences forestières et des traits fonctionnels.

→ La question : « Où trouver les informations ? » sur l'autécologie des essences est restée en suspend au cours de cette réunion. Le contenu du portail collaboratif devra être réévalué en

fonction de l'avancée du travail. Certains participants ont cependant indiqué qu'ils souhaitaient **le partage d'articles en lien avec le projet sur le site internet du GIP Ecofor.**

• Prochaines étapes du projet dans l'ordre chronologique

1. Établir une liste de 20 essences tempérées qui doit comprendre des essences principales, secondaires, exotiques acclimatées et exotiques non acclimatées. Pour cela on peut reprendre la **liste établie pour le projet NOMADE** (projet financé par le RMT AFORCE) et y ajouter des essences secondaires. Alice se charge d'établir la liste en concertation avec les participants.

2. Récapituler les questions des questionnaires sur les exigences écologiques de ces essences, plus particulièrement sur les besoins d'informations sur les **résistances à la sécheresse et au gel, et la dispersion**. On pourra s'appuyer sur l'article de Philippe Riou-Nivert (2008). Cet objectif est confié aux agents du développement de l'IDF/CNPF et de l'ONF en collaboration avec Alice.

3. Faire une proposition de collaboration pour utiliser la base de données TRY. L'objectif est de rechercher dans cette base les **traits qui pourraient indiquer la résistance à la sécheresse, la résistance au gel ainsi que la dispersion pour les essences listées**. Sophie Gachet accepte de rédiger la proposition de collaboration en accord avec les autres participants du projet.

4. Rechercher s'il y a des informations dans la base TRY et dans la littérature pour répondre aux questions des questionnaires (établies en 2) sur la résistance à la sécheresse, la résistance au gel et la dispersion. **Identifier les manques**. Alice sera chargée de cette synthèse bibliographique et sera aidée par les articles suggérés par les participants et les avis des chercheurs en écophysiologie.

Ces étapes sont à réaliser pour fin juin.

Bibliographie citée :

- Aubin I., Gachet S., Messier C. et Bouchard A. (2007). How stable are northern hardwood forests to human disturbance? An evaluation using a plant functional group approach. *Ecoscience* 14(2): 259-271
- Frontier S. et Pichon-Viale D. (1993) *Ecosystème : structure - fonctionnement – évolution*. Ed. Masson, Paris, 447 p.
- Kattge J. *et al.* (2011) TRY – a global database of plant traits. *Global Change Biology* 17: 2905–2935
- Riou-Nivert P. (2008) Changement climatique : questions des sylviculteurs et réponses des chercheurs. *Forêt Entreprise* 180: 11-45.
- Violle C., Navas M.-L., Vile D., Kazakou E., Fortunel C., Hummel I. et Garnier E. (2007) Let the concept of trait be functional! *Oikos* 116: 882-892.

Annexe 2. Réunion d'avancement du projet Traitaut

Le 22 octobre 2012, Ecofor, Paris

22 personnes présentes :

BERGONZINI Jean-Claude, GIP Ecofor
BOUILLON Pierre, MAAF
CAROULLE Fabien, MAAF
DE COLIGNY François, INRA
DAMESIN Claire, Université Paris-Sud
DELEUZE-BREZINS Christine, ONF
DREYFUS Philippe, INRA
GAUDIN Sylvain, CRPF
IBOUKASSENE Soraya, UCL
LADIER Jean, ONF
LANDMANN Guy, GIP Ecofor
LEBOURGEOIS François, AgroParisTech
LEGAY Myriam, ONF
MICHELOT Alice, GIP Ecofor
MORIN Xavier, CNRS
MUSCH Brigitte, ONF
PERRIER Céline, CNPF
PEYRON Jean-Luc, GIP Ecofor
POFFET Laëtitia, MAAF
SEVRIN Eric, CRPF
TOIGO Maude, IRSTEA
VALLET Patrick, IRSTEA

Participants

22 personnes sont présentes (contre 19 lors de la réunion de lancement du 26 mars 2012), avec un **équilibre entre chercheurs et agents du développement**. 8 personnes avaient assisté à la réunion de lancement du projet. La grande majorité des participants travaille sur les forêts tempérées ce qui est en lien avec les thématiques développées dans le projet qui se sont axées sur les milieux tempérés plutôt que tropicaux.

Rappels

Le projet Traitaut a débuté le **6 février 2012** pour une durée d'un an et il est co-financé par le GIP Ecofor et le RMT Aforce. Les objectifs du projet sont :

(1) de **clarifier les définitions** et les contours de l'autécologie ;

(2) d'établir une synthèse sur l'utilisation de l'autécologie des essences forestières dans les outils d'aide à la décision ;

(3) de constituer une communauté R&D dans le domaine de l'autécologie des essences forestières et des traits fonctionnels, en mettant notamment en place un portail web collaboratif ;

(4) de développer une nouvelle méthode quantitative et généralisable pour décrire l'autécologie des essences forestières. Cet objectif est à plus long terme.

Alice Michelot présente l'avancement du projet Traitaut (matinée et début d'après-midi). Les trois premiers points d'avancement sont plus détaillés dans un document de synthèse et d'évaluation qui est en cours de rédaction. François de Coligny présente la plateforme Capsis (fin de matinée).

I. RESUME DES PRESENTATIONS

1. Définitions et contours de l'autécologie (A. Michelot)

Différentes définitions de l'autécologie peuvent être trouvées en sciences forestières. Historiquement, le terme « autécologie » a été d'abord employé en 1884 par le botaniste autrichien G. Haberlandt en physiologie végétale, pour désigner l'étude des relations entre un individu ou une espèce et l'environnement. Puis, en 1957, l'écologue québécois P. Dansereau explicite la division entre autécologie et synécologie, cette dernière étant l'ensemble des interactions biotiques entre différentes espèces vivant dans le même milieu. Au sens strict l'autécologie est donc la science des réponses biologiques de chaque espèce aux facteurs abiotiques. Cependant, la répartition des espèces dépend également des interactions biotiques. L'autécologie est donc initialement un concept relativement restrictif qui ne permet pas à lui seul une gestion forestière adaptée aux changements climatiques.

2. Les outils d'aide à la décision dans le contexte des changements climatiques (A. Michelot)

En France, dans les catalogues forestiers, l'autécologie est généralement décrite avec des paramètres empiriques, peu modulables dans le contexte des changements climatiques. Il est donc nécessaire de rénover l'approche autécologique en incluant des paramètres quantifiables comme les traits fonctionnels par exemple. Pour atteindre cet objectif, nous avons recherché les outils d'aide à la décision à l'étranger, notamment en s'appuyant sur les travaux du projet européen FORSYS. Nous avons constaté qu'il existe un seul outil en France (Capsis) parmi les 75 qui sont décrits. 4 outils d'aide à la décision intégrant l'autécologie et à destination des gestionnaires sont présentés : ESC, ForestGALES, AFFOREST et DSD. Leurs points forts et limites sont ensuite analysés afin d'établir un cahier des charges pour construire ce type d'outil en France.

3. Cahier des charges pour un outil d'aide à la décision en France (A. Michelot)

La première version du cahier des charges établi propose que l'outil soit à destination des gestionnaires. L'échelle spatiale pourrait être multiple de la parcelle au massif et l'échelle temporelle double, à court et long termes. L'aide à la décision sera principalement une aide au choix des essences voire éventuellement une aide dans le traitement sylvicole. Concernant la structure de l'outil, il doit être facile d'accès et contenir une plateforme SIG afin de référencer

spatialement les paramètres initiaux, contenir des couches multiples (climat, sol...) et permettre des sorties sous forme de cartes. Le fonctionnement général de l'outil pourra s'inspirer de celui des outils décrits précédemment, notamment de l'outil DSD. Il faudra proposer aux utilisateurs de tester plusieurs scénarios possibles en termes de climat et d'émissions pour qu'ils puissent se rendre compte de l'impact des incertitudes. Une liste d'essences pourra être proposée aussi bien en peuplement pur que mélangé. Le choix des modèles (croissance, niche, mécaniste) est à discuter en fonction des échelles qui apparaîtront les plus pertinentes. Les performances environnementales seront décrites sous la forme de fonction de réponse calibrées ou validées par les données recueillies *via* une base bibliographique. Ces données, triées par facteur et réponse, permettront de paramétrer les modèles et de les valider ou les calibrer. Les dires d'experts pourront permettre la vérification des données récoltées. Un module d'analyse de décision multicritères pourra être développé séparément afin de prendre mieux en compte les enjeux économiques et sociaux dans la gestion forestière.

4. Capsis : une plateforme logicielle générique pour la simulation de la croissance des peuplements forestiers (F. de Coligny)

Capsis est une plateforme logicielle générique créée en 1994 par des chercheurs de l'UFRM d'Avignon puis reprise en 1999 par l'UMR AMAP à Montpellier. Son objectif est d'intégrer des modèles de croissance et de dynamique forestière à destination des modélisateurs, gestionnaires forestiers et de l'enseignement. La plateforme Capsis est constituée d'une structure commune, stable et évolutive et de modules correspondant aux différents modèles. Son fonctionnement standard consiste à choisir puis paramétrer un modèle, simuler l'évolution temporelle des sorties du modèle et choisir des scénarios d'intervention sylvicoles au cours du temps. Capsis est également utilisé comme outil d'aide à la décision par l'ONF pour élaborer des guides de sylviculture. Le développement de la plateforme est assuré par un ingénieur informaticien qui anime le projet et accompagne à tout moment les modélisateurs. Les modélisateurs peuvent faire évoluer librement leurs modèles (plus d'une cinquantaine à ce jour) et partagent le code source de Capsis avec le développeur. La réussite de Capsis s'explique notamment par une approche ouverte, une licence libre, un accompagnement des utilisateurs, une structure pérenne et une interface simple.

5. Apports des traits fonctionnels : la base TRY (A. Michelot)

La base de données TRY est un regroupement de bases de données contenant des traits fonctionnels à l'échelle mondiale. Elle a été consultée dans le cadre du projet Traitaut pour une liste de 23 essences forestières établie par des experts forestiers. TRY contient un grand nombre de données avec des traits variés. Les espèces qui ont le plus de valeurs de traits sont : *Pinus sylvestris*, *Picea abies*, *Quercus ilex*, *Quercus petraea* et *Fagus sylvatica*. Les valeurs de traits foliaires représentent plus de la moitié des valeurs de traits dans la base. La variabilité intra-spécifique des traits rend difficile l'obtention d'une moyenne comparable entre espèces. Il semble nécessaire de calculer des moyennes sur une seule base à chaque fois pour avoir des valeurs homogènes. Pour la suite de Traitaut, les données de TRY peuvent être utilisées afin de paramétrer des modèles. En revanche, il manque généralement les valeurs des facteurs environnementaux pour chaque mesure qui sont nécessaires à la construction de fonctions de réponse par espèce.

6. Site internet (A. Michelot)

En juin 2012, sur 75 personnes contactées, 27 personnes de 14 organismes différents ont répondu à une enquête réalisée pour connaître les attentes concernant un portail web collaboratif sur l'autécologie des essences forestières. L'initiative a été jugée utile à l'unanimité. Les actions se révélant les plus importantes sont de : créer un annuaire des membres, créer une base bibliographique classée par essence et facteur, présenter les projets en cours et les résultats et présenter des outils d'aide au choix des essences. 75 % des participants se sont dit prêts à alimenter ce portail de sources bibliographiques. A partir des résultats de cette enquête le site internet Traitaut a été constitué et est en ligne depuis le 22 octobre à l'adresse : <http://traitaut.gip-ecofor.org>. Les modalités du site sont présentées aux participants. Cette base est libre d'accès après s'être inscrit gratuitement dans l'annuaire du site. Elle permet de trier les publications par essence, facteur et réponse biologique ce qui est un point fort par rapport aux bases existantes. Les participants peuvent également présenter différents outils intégrant l'autécologie (outils d'aide à la décision, plateforme SIG...) Un onglet échanges permet aux utilisateurs de discuter sous la forme d'un forum et également de présenter leurs travaux en cours sur les thématiques de Traitaut.

7. Poursuites du projet Traitaut (A. Michelot)

Les suites du projet Traitaut sont :

- le développement du site internet et notamment de la base bibliographique sur l'autécologie des essences forestières ;
- un document de synthèse et d'évaluation des outils d'aide à la décision, permettant d'établir un cahier des charges pour élaborer un outil en France. Les coordinateurs recherchent des relecteurs de ce document ;
- des articles de synthèse (*Forest Ecology and Management*, *Forêt Entreprise* et *Rendez-vous Techniques*) ;
- l'élaboration de projets de recherche.

L'équipe de coordination travaille sur l'élaboration d'un projet de recherche qui s'appuie sur les éléments de la synthèse et viserait la constitution d'un outil qui permettrait de transférer les données scientifiques de la recherche vers les gestionnaires, de considérer les écosystèmes par une approche plus intégrative que l'autécologie et de prendre en compte la multifonctionnalité des forêts dans les objectifs de gestion adaptative. Les réflexions sur le projet sont en cours. A ce stade, les axes de travail proposés sont de :

- définir des priorités de gestion et des sites pilote,
- collecter et analyser des données scientifiques,
- développer des modèles et des cartographies SIG,
- développer une analyse multicritère pour l'aide à la décision et mettre en place techniquement l'outil en agencant les modules développés.

Ces pistes sont soumises aux participants afin qu'ils donnent leur opinion et proposent des éléments complémentaires pour la construction du projet.

II. SYNTHÈSE DES DISCUSSIONS

Ecofor souhaiterait poursuivre le projet Traitaut, notamment pour la mise à jour du site internet. Pour cela, son action sera de participer aux futurs projets de recherche *via* une personne dédiée ou éventuellement de mettre à disposition une personne faisant partie des membres d'Ecofor.

Site internet

Concernant l'onglet « publications », il faudrait s'appuyer sur l'expérience d'autres initiatives du Gip recensant des sources bibliographiques comme Ca-SIF (Catalogue en ligne des Sources d'Information sur la Forêt créé par le Gip Ecofor) ou CCBio sur l'impact du changement climatique sur la biodiversité en France. Il est nécessaire de se référer également à des bases existantes comme celles de l'IGN pour les catalogues forestiers. Il est proposé une automatisation partielle pour rentrer les nouvelles publications directement à partir de logiciels de gestion de bibliographie pour assurer une sécurisation et une économie de temps.

Futur projet de recherche

La structure du projet s'articulera sur une **problématique d'ingénierie et des questions scientifiques sous-jacentes**. Il aura pour objectif d'élaborer un outil d'aide à la décision dans le contexte du changement climatique. Le projet doit être réalisable en 4 ans. Pour cela, il est préconisé de **prioriser les actions** notamment en :

- choisissant les échelles spatiales ;
- en simplifiant les objets. Par exemple, on peut diviser les modèles de croissance en trois objets : croissance, recrutement et mortalité. Ces 3 objets ont des liens différents avec le climat et on peut définir un ordre de priorité suivant ces 3 objets ;
- en caractérisant les objectifs : aide choix des essences et/ou proposition de traitement sylvicole.

Il est essentiel **d'identifier les projets** en cours ayant des thématiques proches et de déterminer leurs avancées. Les participants citent le projet BACCARRA, projet européen (2009-2012) coordonné par Hervé Jactel (INRA) et le projet AMtools (ANR Agrobiosphère, 2012-2016), coordonné par Juan F. Fernandez-Manjarrés.

Certains présents sont intéressés pour participer au projet.

1. Légitimer le projet

D'après la synthèse de Traitaut, la France est en retard concernant l'élaboration des outils d'aide à la décision. Si ce constat semble légitimer la construction d'un projet de recherche certains participants se demandent si la France est prête à la construction de tels outils évoquant certaines réticences aussi bien au niveau de la recherche que de la gestion. Pour la plupart des présents, **il est urgent d'élaborer des outils dès maintenant** afin d'anticiper les situations futures. En intégrant les incertitudes et en diagnostiquant les zones à risque l'outil devrait permettre de diffuser les connaissances scientifiques au gestionnaire.

2. Prendre en compte les besoins des gestionnaires (utilisateurs)

Il est nécessaire de **recueillir les attentes des gestionnaires**, notamment ceux de la forêt privée, en amont du projet afin de construire un outil opérationnel. Les gestionnaires interrogés seront des experts forestiers et des agents des coopératives forestières. Cette initiative aura pour objectif de préciser les besoins de gestion à différentes échelles spatiales et de promouvoir la légitimité et l'utilisation future de l'outil. Comme il est essentiel que les gestionnaires gardent leur indépendance dans leurs choix de gestion, **l'outil devra proposer plusieurs solutions à l'utilisateur qui prendra la décision finale**. Par la suite, il faudra prévoir un accompagnement et des formations à destination des utilisateurs.

3. Définir les échelles spatiales

Le choix des échelles spatiales et de leur harmonisation est une problématique centrale pour la construction de l'outil. Ces échelles seront à la fois dépendantes des modèles qui vont être développés et des attentes des utilisateurs ciblés. Pour certains, il est nécessaire de fixer une échelle spatiale car les processus écologiques dépendront de cette échelle et parce qu'il faut prioriser les actions et élaborer un projet réalisable dans le temps imparti. Pour d'autres, il est au contraire indispensable de travailler à des échelles différentes qui vont apporter chacune des informations complémentaires dans un contexte environnemental changeant. Il est suggéré de développer l'outil à des échelles spatiales assez larges pour l'étendre à des échelles plus locales.

4. Proposer une aide au choix des essences et des traitements sylvicoles

Il est proposé de développer l'outil pour **l'aide au choix des essences principalement** mais on peut aussi **intégrer une aide à la décision dans les traitements sylvicoles** pour favoriser une **gestion adaptative**. En effet, sur certains sites, il ne sera pas envisageable de planter des nouvelles espèces. Certains participants soulèvent l'importance d'étudier à la fois le choix des essences et la gestion adaptative, notamment la variabilité intra-spécifique et de ne pas découpler les deux. Pour d'autres, au moment de l'aménagement forestier, la question du choix des essences est centrale et devra être intégrée en priorité avant de développer les propositions de gestion adaptative.

5. Collecter et analyser les données disponibles

Il est indispensable **d'identifier les informations déjà disponibles et les informations manquantes sur l'autécologie des essences forestières**, notamment en identifiant les études précédentes sur ces thématiques et en s'appuyant sur ces travaux (ex : IGN, groupe de travail Aforce...) En consultant la base TRY on pourra également rapidement identifier les bases bibliographiques d'intérêt.

L'autécologie n'est pas une approche suffisante pour construire un outil d'aide à la décision mais elle peut être utilisée comme première approche avant de faire évoluer l'outil en prenant en compte les interactions biotiques. Une première étape est de **valider les données autécologiques obtenues sur les essences forestières**, ce qui coïncide avec les actions du Ministère de l'Agriculture de l'AgroAlimentaire et de la Forêt. Ensuite, il est nécessaire d'étudier l'autécologie des essences en **peuplements mélangés** qui peut être différente de celles en peuplements monospécifiques.

Actions à venir

Il est demandé aux participants :

- de nous signaler les **projets en cours et les appels à projet** connexes aux thématiques
- d'entrer **10 publications dans la base de données** du site internet : www.gip-ecofor.org/traitaut.

L'équipe de coordination va développer la trame du projet de recherche dans les semaines à venir. D'autres initiatives concernant les thématiques de Traitaut peuvent être proposées par les participants à la communauté.

Annexe 3. Résultats du questionnaire concernant le portail web collaboratif sur l'autécologie des essences forestières

I. Les participants

27 personnes de 14 organismes différents (**figure 10**).

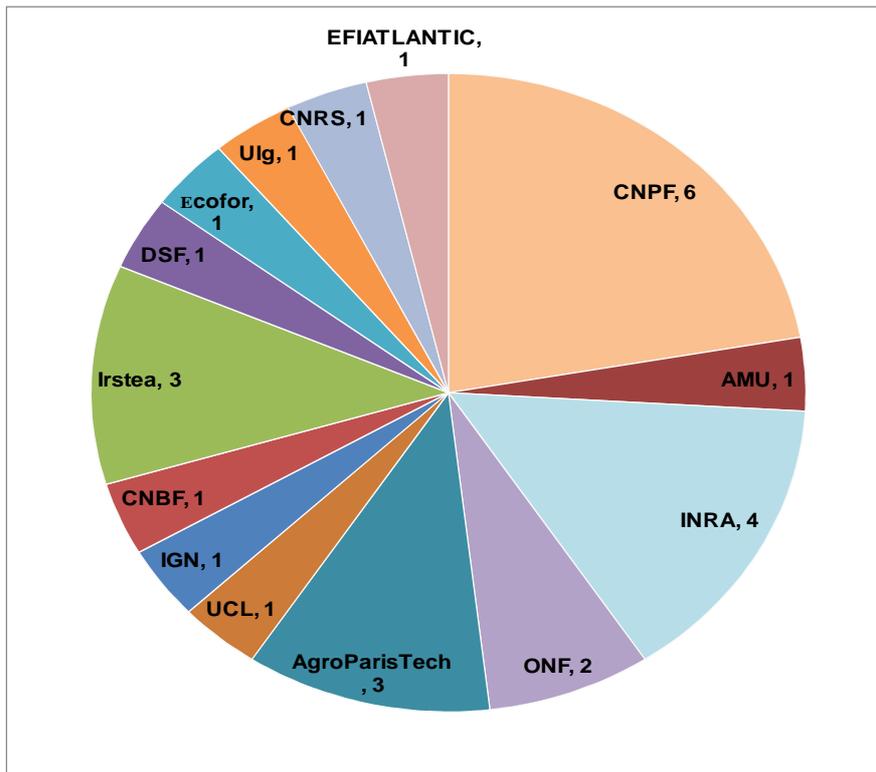


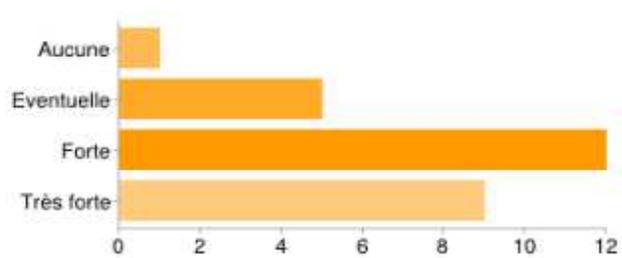
Figure 10. Répartition par organisme des 27 participants au questionnaire.

II. Les attentes

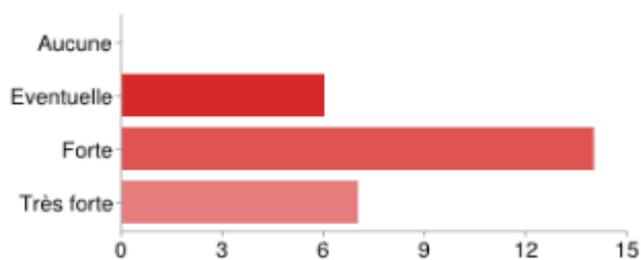
➤ Connaître les autres acteurs du domaine



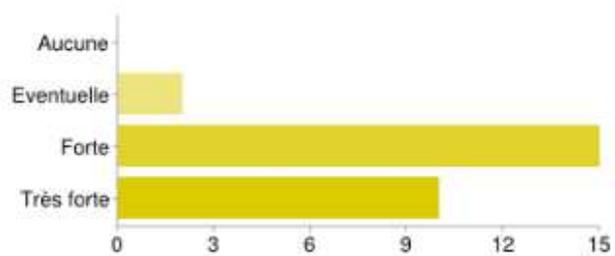
➤ **Trouver des ressources bibliographiques**



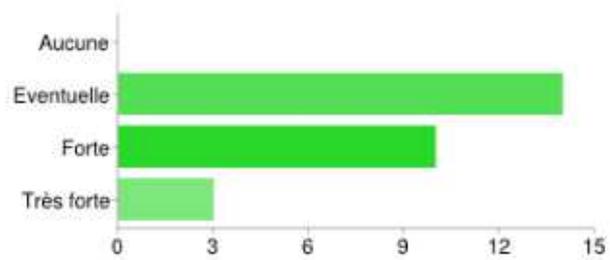
➤ **Echanger**



➤ **Connaître les travaux en cours**

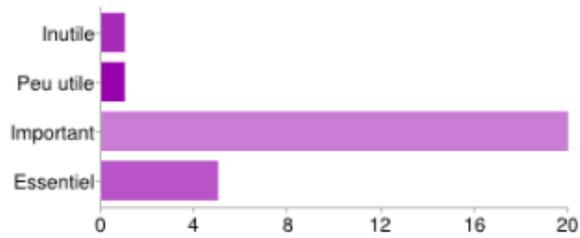


➤ **Communiquer et diffuser**

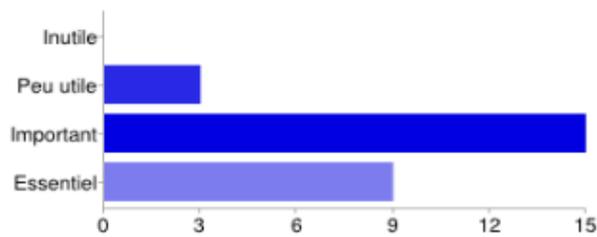


III. Les actions

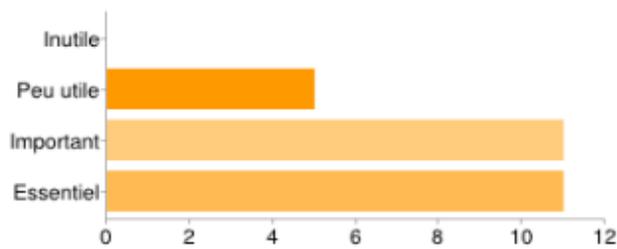
➤ Créer un annuaire des membres



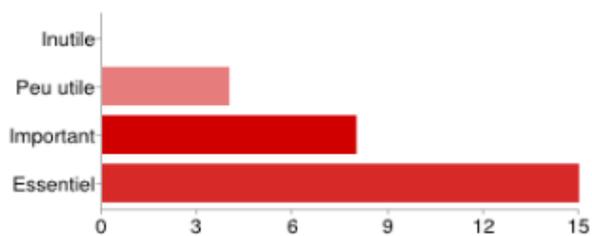
➤ Constituer une base bibliographique



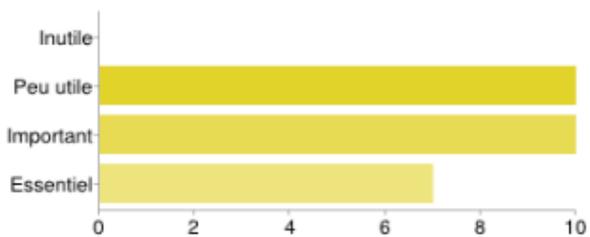
➤ Classer la bibliographie...



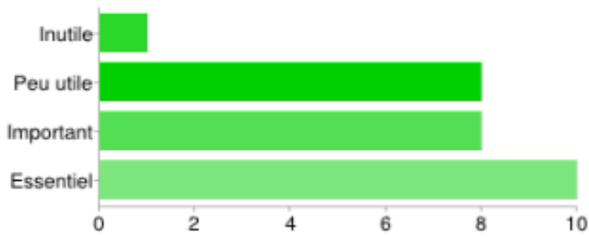
➤ ... par essence



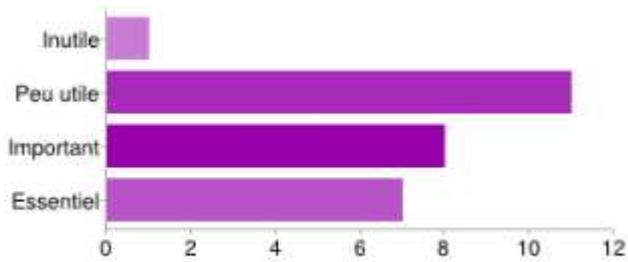
➤ ... par approche (dendrochronologie, écophysiologie...)



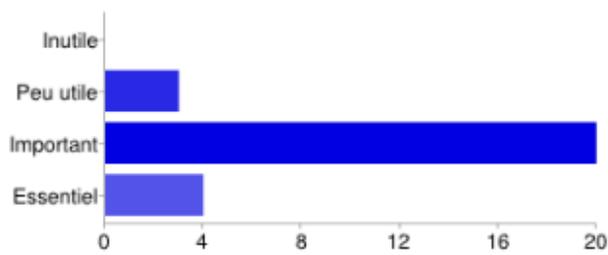
➤ ... par facteur abiotique (température, pluies...)



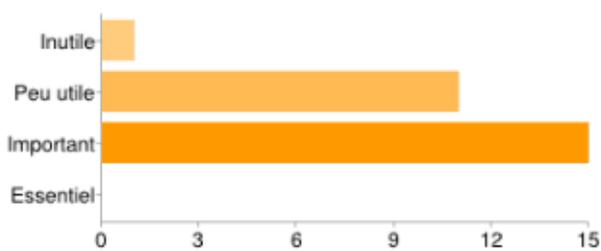
➤ ... par réponse au facteur (production, qualité du bois...)



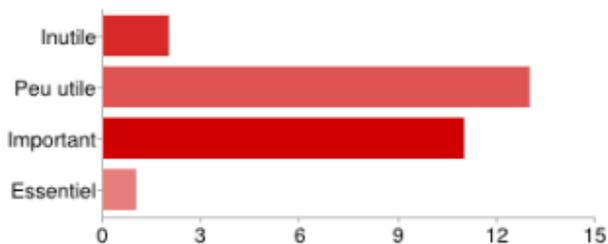
➤ Présenter les projets en cours



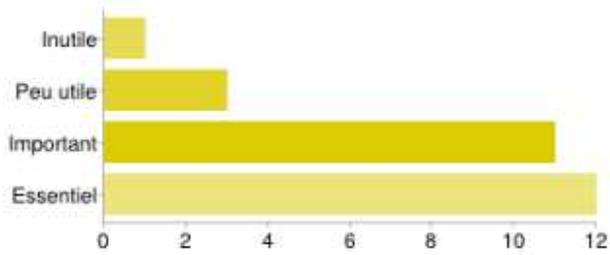
➤ Présenter vos résultats



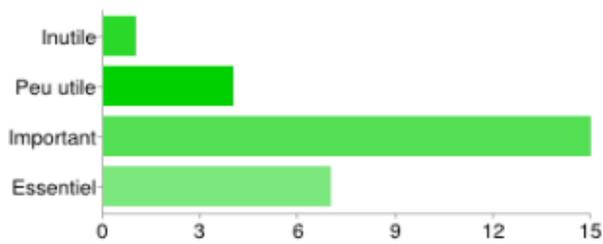
➤ Présenter vos articles



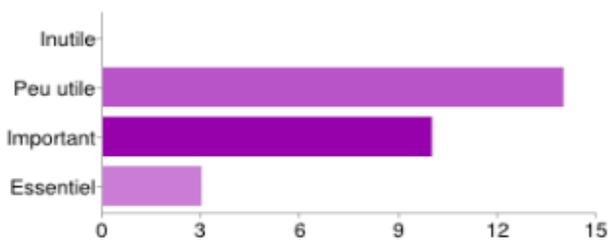
➤ Présenter des outils français d'aide au choix des essences (cartographies, logiciels...)



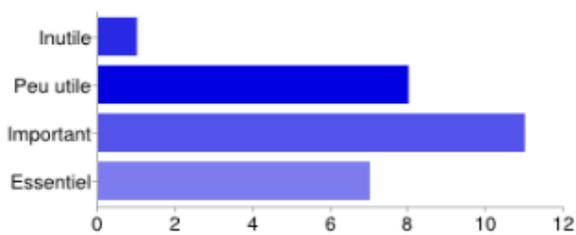
- **Présenter des outils étrangers d'aide au choix des essences (cartographies, logiciels...)**



- **Créer un espace de discussion de type "forum"**



- **Lancer des débats sur des problématiques liés à l'intégration des changements climatiques**



- **Etes-vous prêts à alimenter le site de sources bibliographiques ?**

