



Avancement et suites du projet TRAITAUT

Alice Michelot : chargée de mission (GIP ECOFOR)

Réunion d'avancement
Paris - 22 octobre 2012



AFORCE
RMT Adaptation des forêts
au changement climatique

Rappels des objectifs du projet

Début en février 2012 (1 an)

Coordination : Alice Michelot, Sophie Gachet, Myriam Legay et Guy Landmann

- 1. Clarifier les définitions et les contours de l'autécologie ;**
- 2. Etablir une synthèse** sur l'utilisation de l'autécologie des essences forestières dans les outils d'aide à la décision ;
- 3. Constituer une communauté R&D** dans le domaine de l'autécologie des essences forestières et des traits fonctionnels.
→ Portail collaboratif
- 4. Développer une nouvelle méthode quantitative et généralisable** pour décrire l'autécologie des essences forestières.



1. Définitions et contours de l'autécologie

Autécologie ?

Qu'est-ce que l'autécologie ?

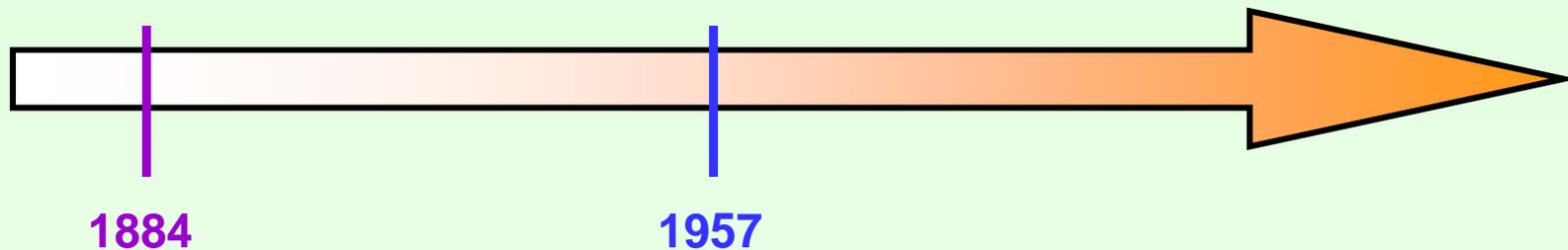
Plusieurs définitions différentes de l'autécologie

→ Quelles significations et pourquoi ont-elles évoluées ?



Autécologie ?

« Autós » qui signifie « soi-même » → une espèce indépendamment de sa localisation et des êtres vivants qui l'entourent



Botaniste Gottlieb Haberlandt dans « Physiological Plant Anatomy »
→ Etude des relations entre un **individu** ou **une espèce** et l'environnement

Ecologue Pierre Dansereau dans « Biogeography: an Ecological Perspective »
→ division **autécologie/synécologie**

Interactions biotiques entre différentes espèces vivant dans le même milieu

Autécologie ?

➤ **Science des réponses biologiques de chaque espèce aux facteurs abiotiques**

Mais

Répartition d'une espèce dépend aussi des **relations interspécifiques** et **relations intra-spécifiques**



➤ Autécologie : **concept restrictif** qui ne permet pas à lui seul une gestion forestière adaptée aux changements climatiques

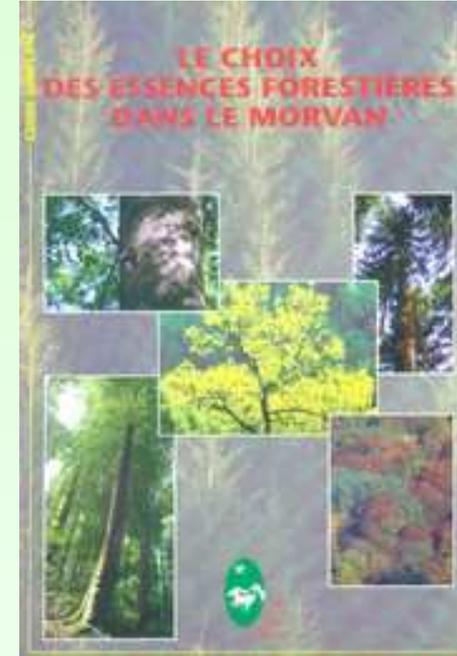
→ Définitions plus étendues incluant les facteurs biotiques et d'autres niveaux du vivant (provenances)



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

Outils en France

- Catalogues des stations forestières
- Guide de choix des essences



- ↳ Paramètres empiriques, peu quantifiables
→ difficilement modulables dans le cadre des changements climatiques

Vers des nouvelles méthodes

Méthode renouvelée

- Paramètres **quantifiables**
- **Fonctions de réponse** aux facteurs de l'environnement
- **Seuils** et **optima** des essences



Traits fonctionnels :

Caractéristiques morpho-physio-phénologiques qui impactent indirectement la **valeur sélective des individus**.

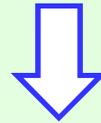
Violle et al. (2007)

→ Recherche sur les méthodes à l'étranger



Outils d'aide à la décision

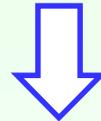
COST Action FP0804 - Forest Management Decision Support Systems (FORSYS) - 2009 à 2013



75 systèmes d'aide à la décision
→ **1 seul en France : Capsis**

Démarche

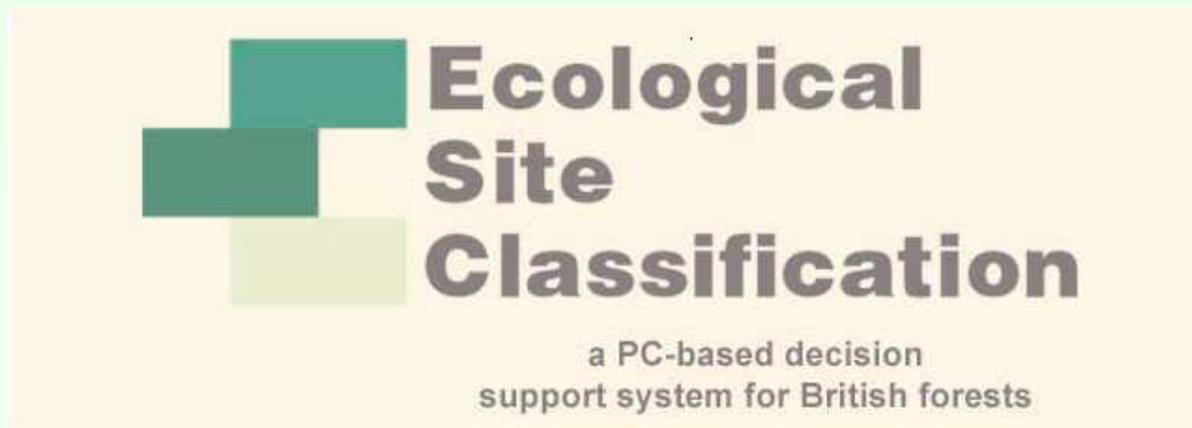
4 outils d'aide à la décision qui intègrent l'autécologie



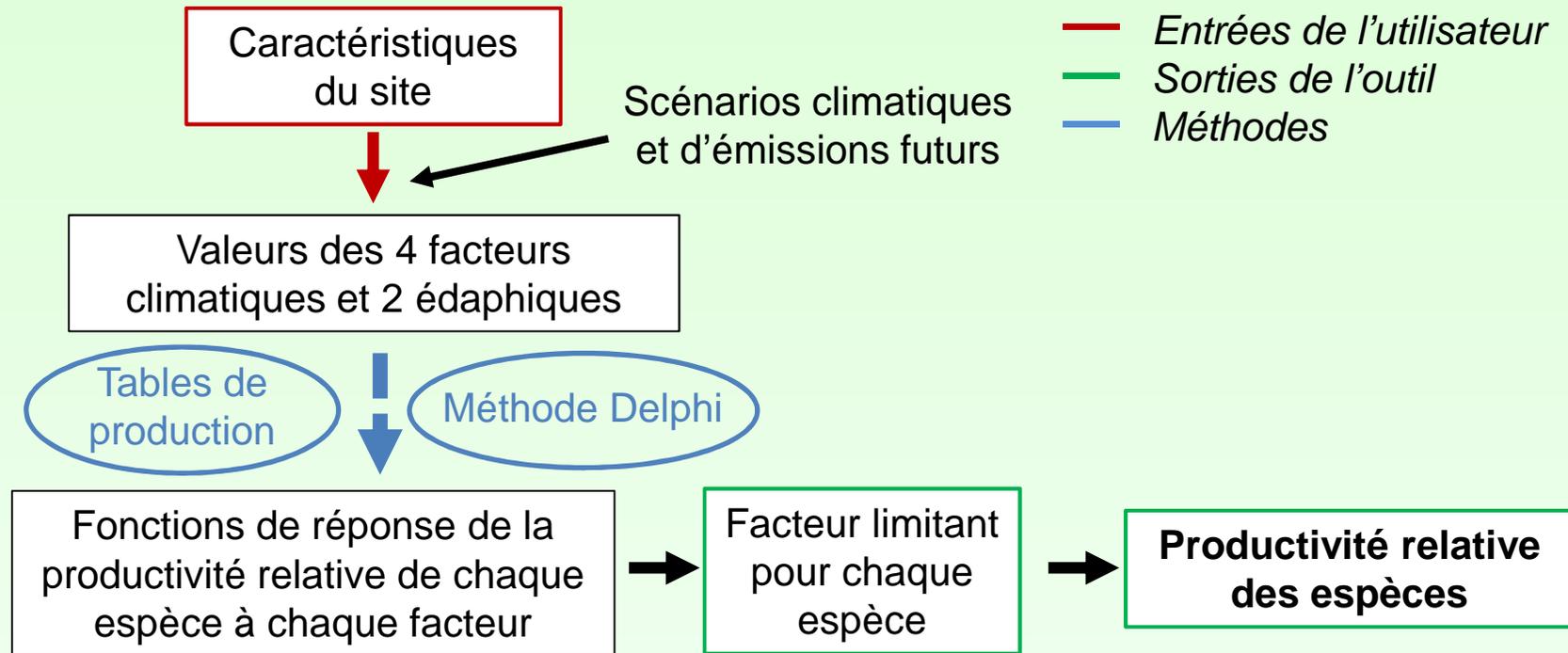
Etablir un **cahier des charges** pour un futur outil en France

ESC : présentation

- Forestry Commission (2001), Royaume-Uni
- Choix d'essences futures dans le contexte des changements climatiques
- Utilisateurs ciblés : gestionnaires et décideurs
- Echelle spatiale : Parcelle ou paysage (1 ha)
- Echelle temporelle : selon les scénarios climatiques



ESC : fonctionnement

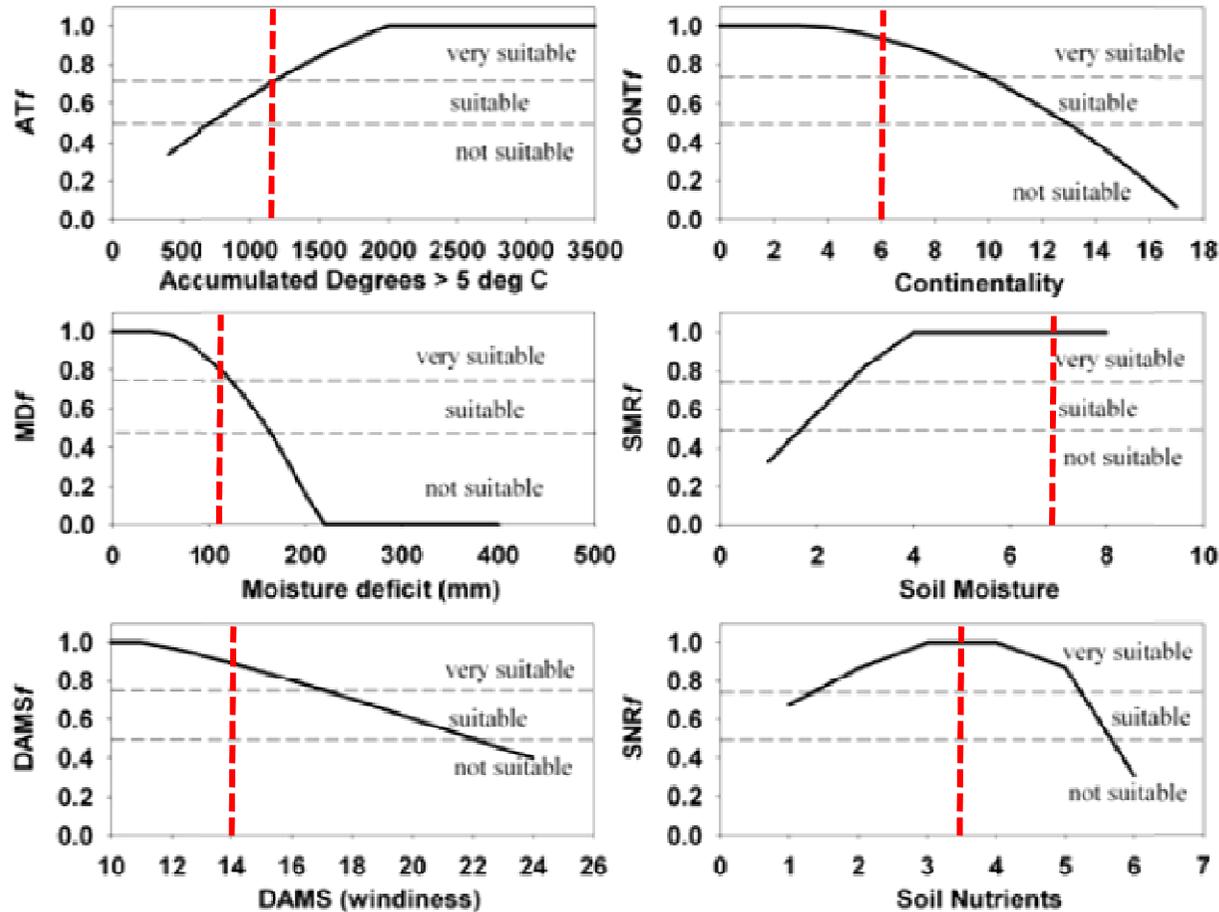


- Position du site, altitude, type de sol (profil de sol, relevé floristique)
- Température cumulée, déficit hydrique, exposition au vent, continentalité
Humidité du sol et fertilité minérale

ESC : fonctionnement

Exemple : Épicéa de Sitka

Productivité obs. / productivité max
(Edward & Christie, 1981)



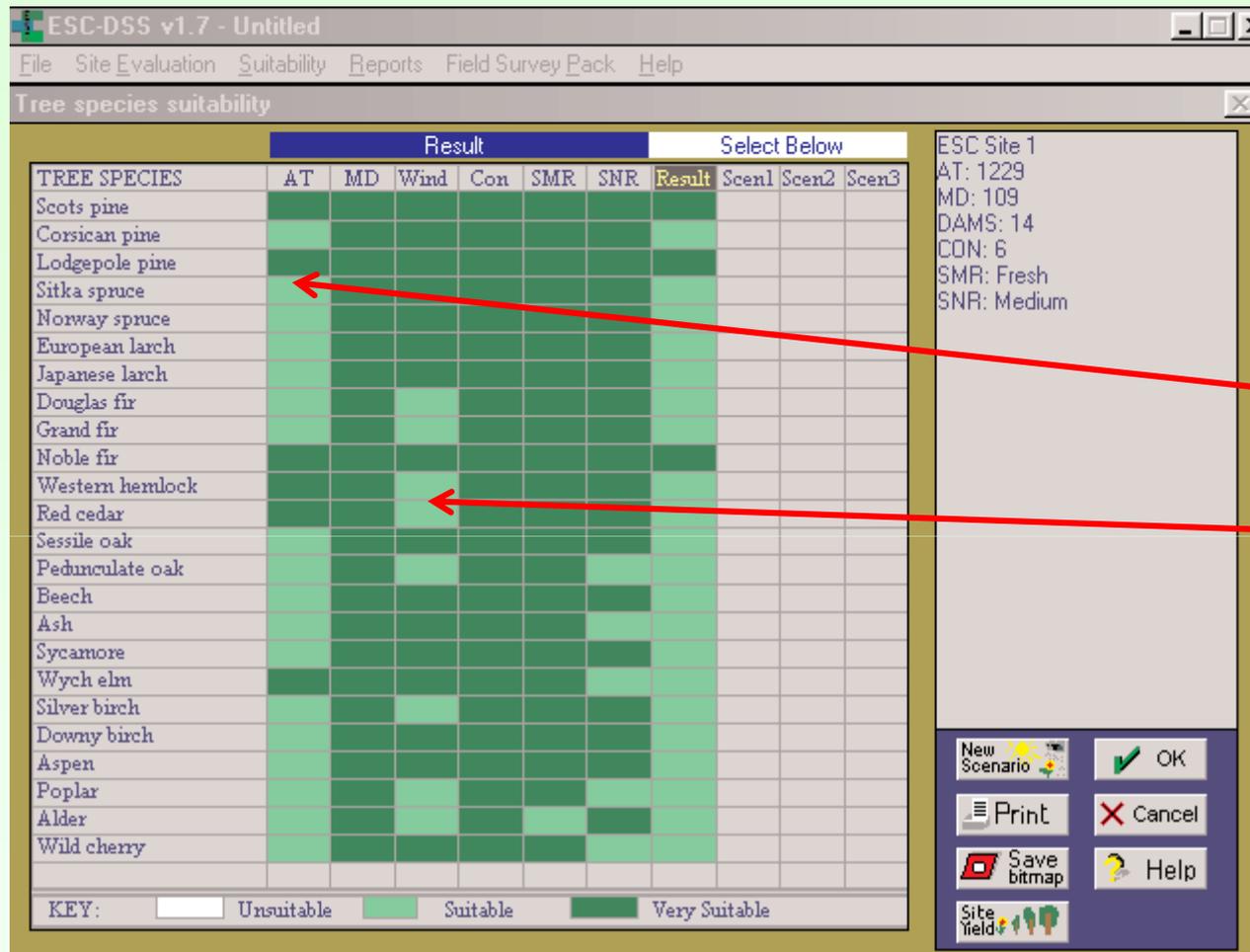
Exemple site

AT : 1229°C
MD : 109 mm
DAMS : 14
CONT : 6
SMR : frais
SNR : moyen

- Non acclimaté (< 50 % productivité max.)
- Acclimaté (50 à 75 % productivité max.)
- Très acclimaté (≥ 75 % productivité max.)

Ray (2008)

ESC : fonctionnement



Quel est le facteur limitant du site pour chaque essence ?

→ Diminution de la productivité selon le facteur limitant

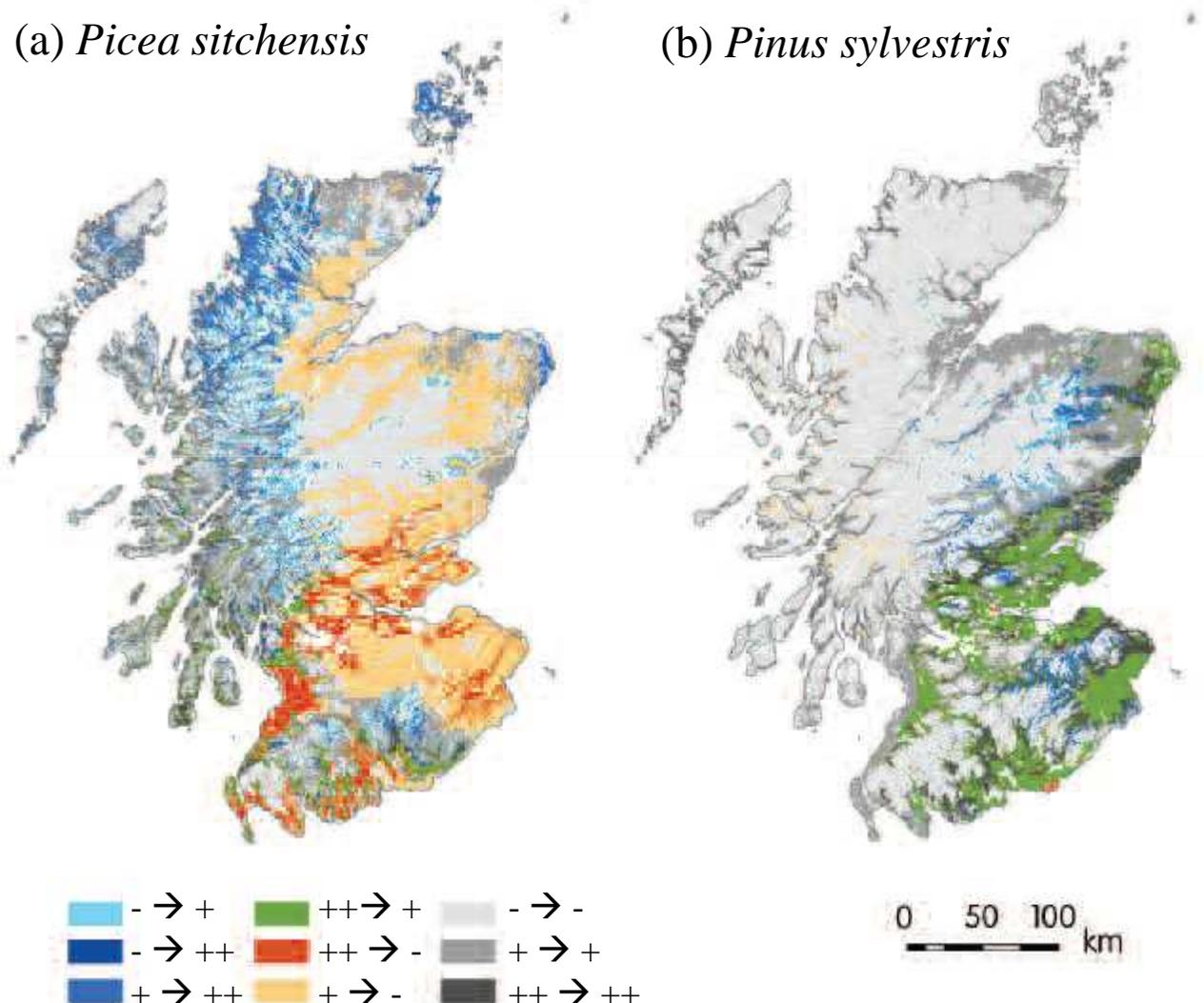
Ray (2001)

ESC : sorties

Changement d'acclimatation de 1961-1990 à 2080

(a) *Picea sitchensis*

(b) *Pinus sylvestris*



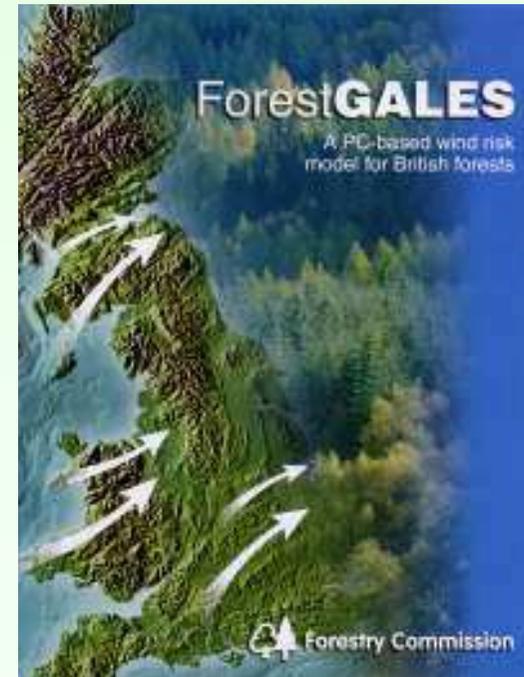
Ray (2008)

ESC : points forts et limites

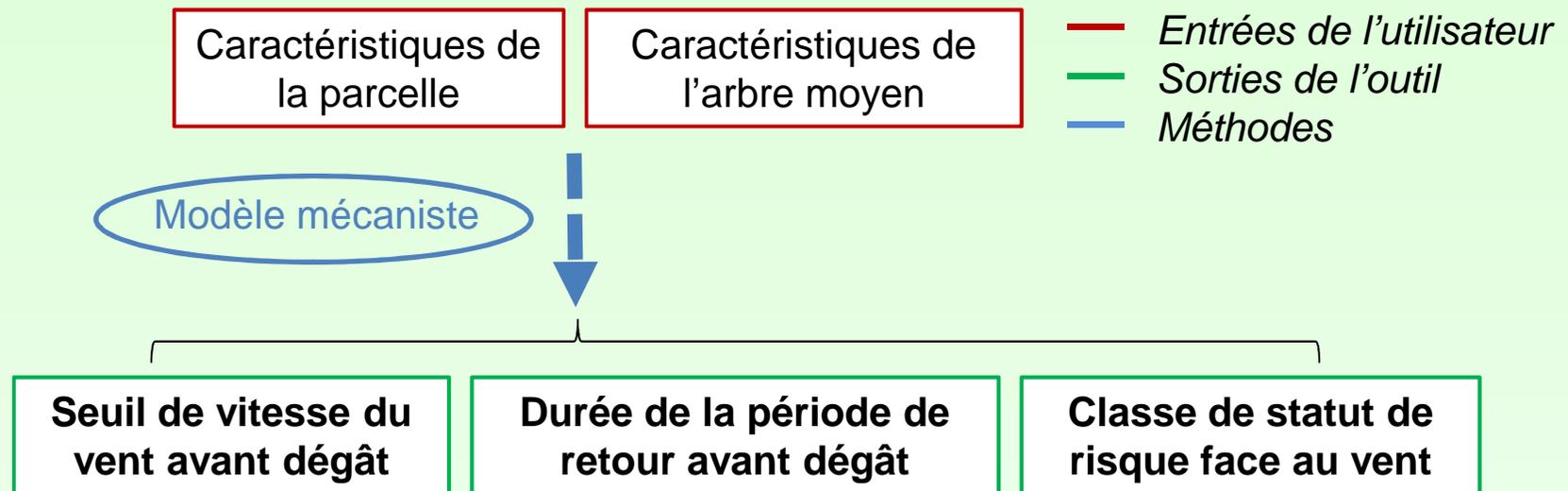
| Points forts | Limites |
|---|--|
| Echelle spatiale large à maille fine | Seulement 1 objectif de productivité |
| Facilité d'utilisation pour les gestionnaires | Pas de modulation selon les préférences de gestion |
| Notion de facteur limitant primordiale | Pas d'analyse de décision multicritères |
| Hiérarchisation et choix de facteurs | Fondé uniquement sur les dires d'experts |
| Différents scénarios d'émission | Pas de pris en compte des peuplements mélangés |

ForestGALES : présentation

- Forestry Commission (2000), Royaume-Uni. Utilisé en Ecosse puis en Nouvelle-Zélande, en France (Sud-Ouest), au Canada et au Japon
- Estimer les probabilités de dégâts du vent sur les parcelles de conifères
- Utilisateurs ciblés : gestionnaires
- Echelle spatiale : Parcelle ou paysage (10 ha)
- Echelle temporelle : 0 à 80 ans

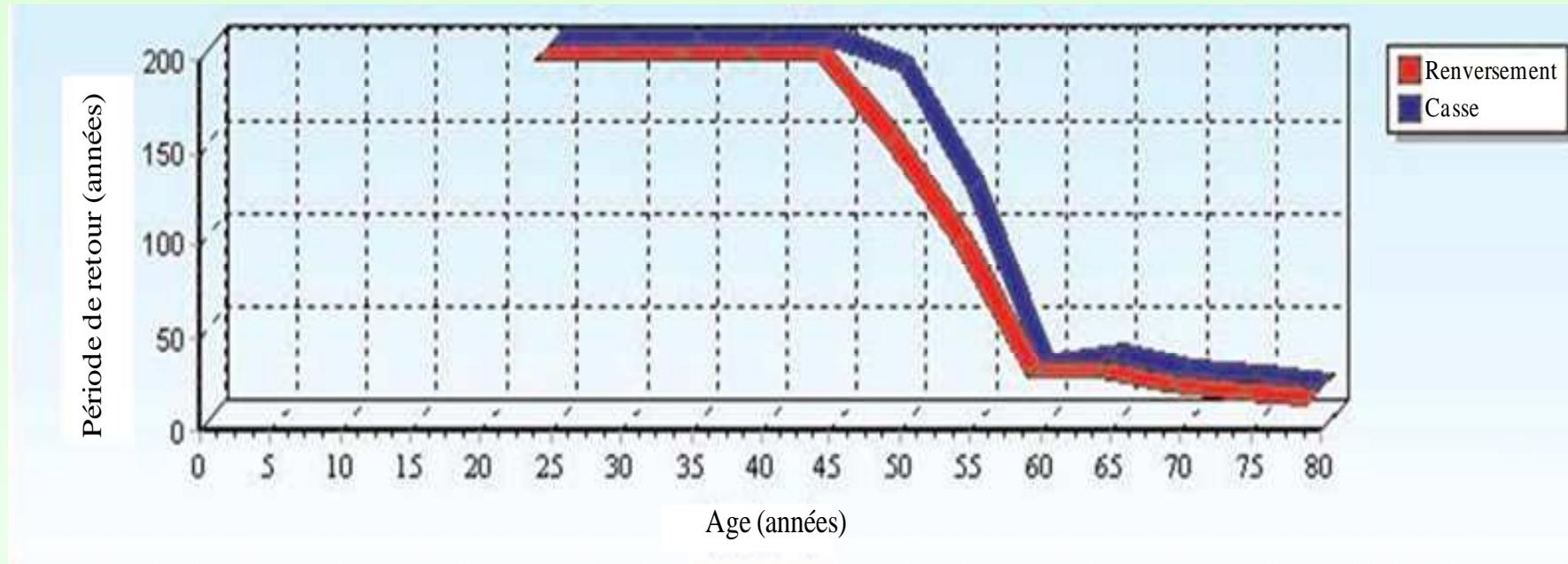


ForestGALES : fonctionnement



- 3 choix possibles de paramétrisation : élevée, moyenne ou faible
- Fonctions de réponse de la vitesse seuil du vent selon les caractéristiques des arbres → régressions statistiques sur 2000 échantillons

ForestGALES : sorties



Durée de la période de retour avant une tempête engendrant des dégâts forestiers en fonction de l'âge de rotation

Gardiner *et al.* (2006)

ForestGALES : points forts et limites

| Points forts | Limites |
|--|---|
| 2 échelles spatiales | Très dépendant des caractéristiques dendrométriques |
| Dynamique temporelle | Pas d'analyse multicritères |
| Modèle mécaniste et pourtant interface adaptée à l'utilisateur | Pas d'analyse comparative de l'impact du choix d'espèce sur la résistance au vent |
| Logiciel appuyé sur travaux passés | |
| Mesures à l'origine des fonctions de réponse | |
| Outil probabiliste : forte notion de risque | |

AFFOREST : présentation

- Programme européen (2000-2004), Suède, Danemark, Pays-Bas, Belgique
- Tester l'effet de l'afforestation sur des terres agricoles
- Utilisateurs ciblés : gestionnaires et décideurs
- Echelle spatiale : Parcelle ou région (1 ha ou 1km²)
- Echelle temporelle : 0 à 100 ans



AFFOREST : fonctionnement

- Entrées de l'utilisateur
- Sorties de l'outil
- Méthodes

Terre agricole

Type de sol, pluies annuelles, dépôts annuels $N_{atm.}$ et type d'utilisation des terres



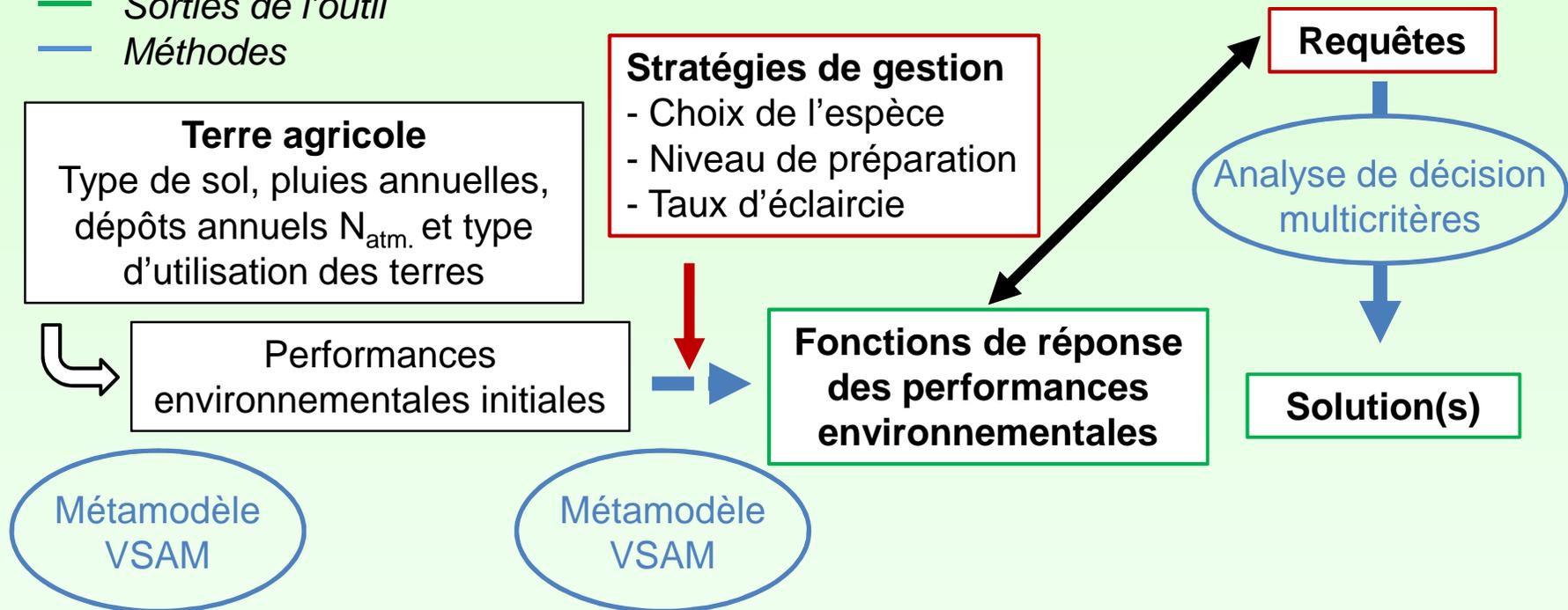
Performances environnementales initiales

Métamodèle
VSAM

- Modèle mécaniste SMART2 : processus fonctionnels et les cycles de nutriments du sol
- Séquestration du carbone, lessivage des nitrates et recharge en eau du sol

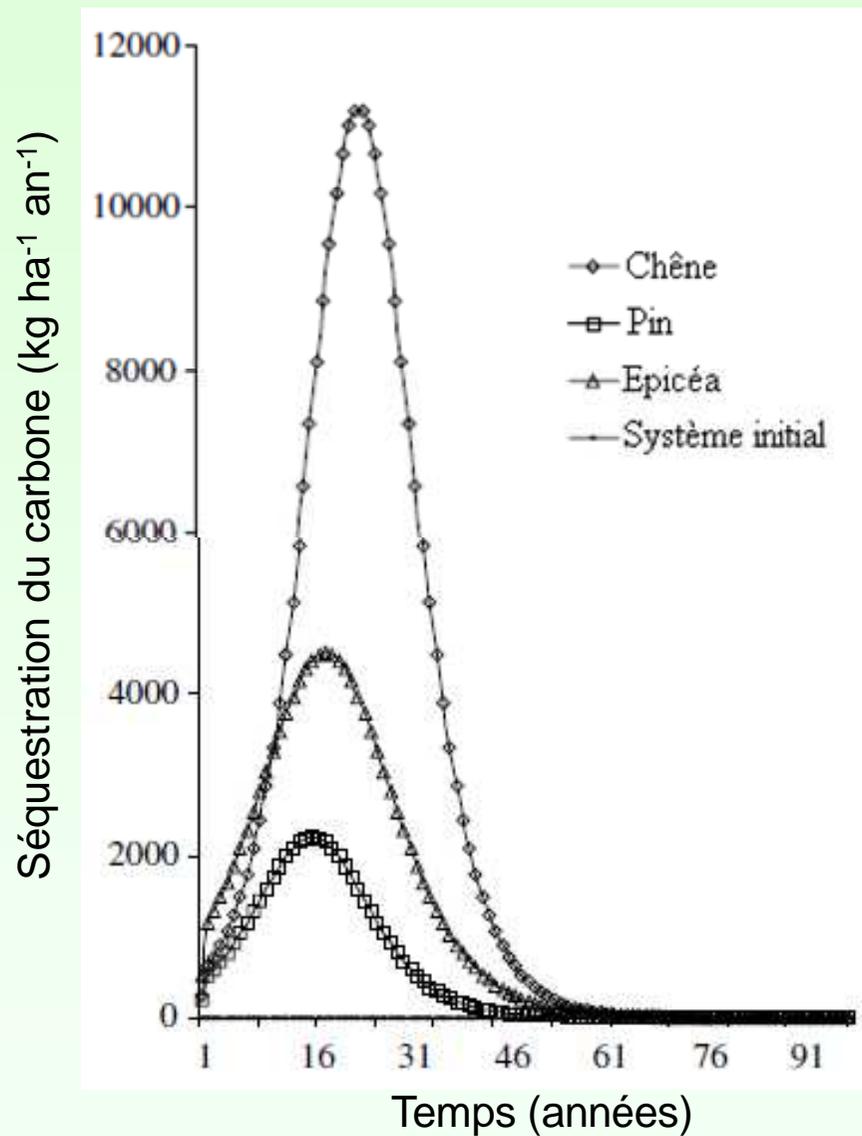
AFFOREST : fonctionnement

- Entrées de l'utilisateur
- Sorties de l'outil
- Méthodes



- 4 espèces : *Picea abies*, *Pinus sylvestris*, *Quercus robur* et *Fagus sylvatica*
- Site : 1 classe de climat, 3 paramètres édaphiques → espèce adaptée (tables de production et observations)

AFFOREST : exemple de sortie



Gilliams *et al.* (2005)

AFFOREST : points forts et limites

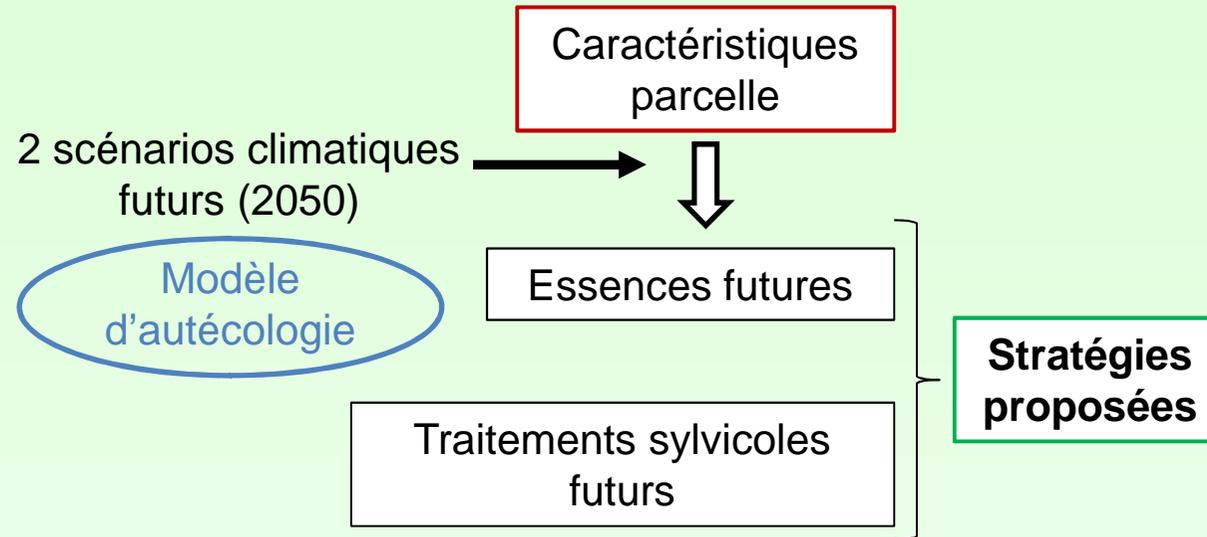
| Points forts | Limites |
|--|--|
| Objectif multifonctionnel | Paramétrisation forte |
| 2 échelles spatiales | Processus fonctionnels du sol seulement |
| Structure modulaire | Limité dans la vulnérabilité des essences au changement climatique |
| Modèle mécaniste déjà construit (métamodèle) | Pas de scénario de changement climatique pris en compte |
| Analyse multicritère simple et complexe | Seulement 4 essences forestières |
| Fonctions de réponse quantitatives | |

DSD : présentation

- Université des ressources naturelles et des sciences de la vie de Vienne (Autriche), créé en 2001
- *Pinus sylvestris* et *Picea abies* → peuplements mixtes décidus et conifères
- (1) Choix espèce et type de peuplement futurs les moins vulnérables
(2) Identifier la gestion sylvicole la plus adaptée
- Utilisateurs ciblés : gestionnaires
- Echelle spatiale : Parcelle, échelle locale sur la région de Dobrova
- Echelle temporelle : 0 à 100 ans



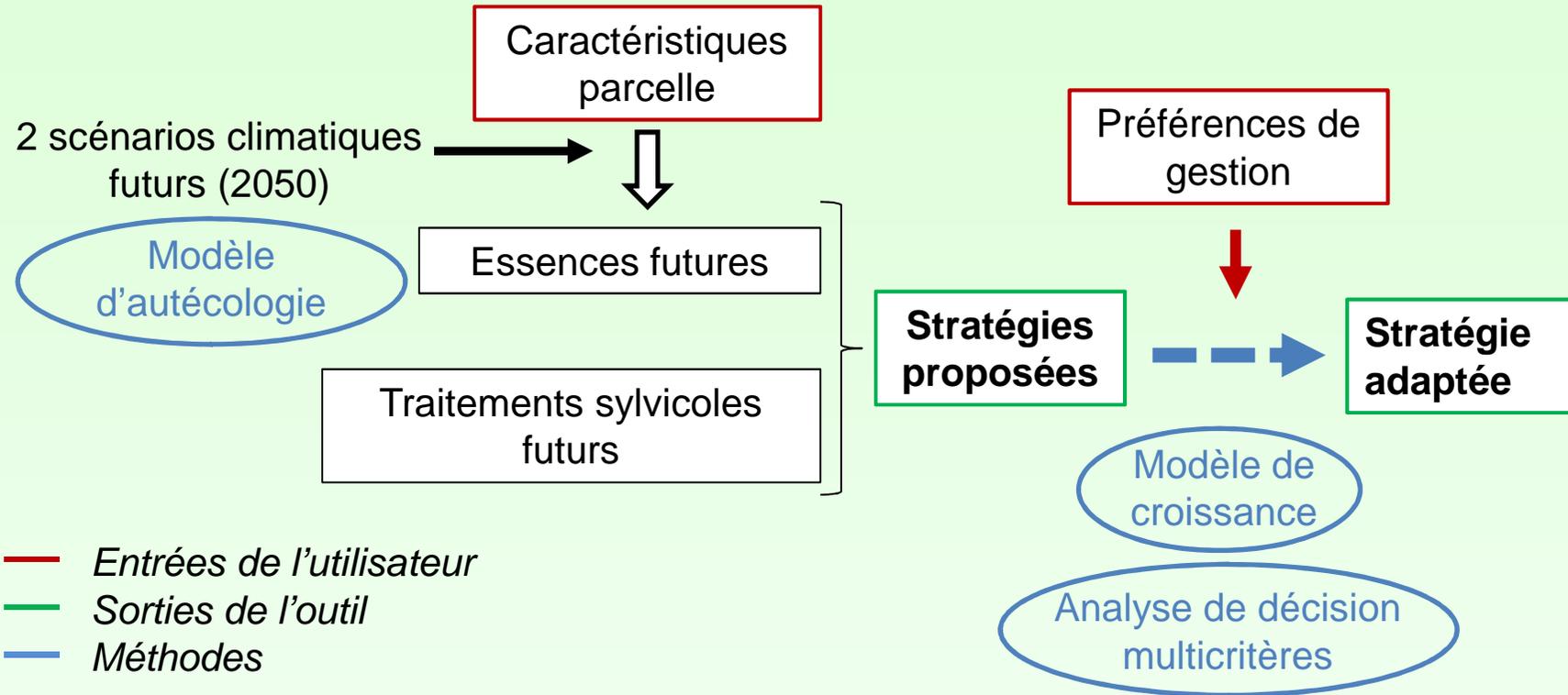
DSD : fonctionnement



- Entrées de l'utilisateur
- Sorties de l'outil
- Méthodes

- 5 types de site, 1 seuil de vulnérabilité des espèces (faible, modéré ou fort)
→ **modèle autécologique** : température, humidité du sol et fertilité minérale
- **27 types de peuplements prédéfinis**

DSD : fonctionnement



3 objectifs de gestion : production de bois, conservation de la nature et de la biodiversité et maintien ou amélioration de la productivité du site.

DSD : analyse de décision multicritères

1. Calcul des valeurs des **indicateurs** pour chaque stratégie (espèce(s) et traitement sylvicole)

| Objectif | Echelle temporelle | Critère | Indicateur |
|-----------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Production de bois | 30 ans | Valeur nette | Coût de liquidation parcelle (€/ha) |
| | 30 ans | Vent | Hauteur dominante (m) |
| Conservation | 30/100 ans | Diversité spécifique | Indice de Shannon-Weaver |
| Maintien productivité | 30/100 ans | Décomposition litière | C/N de la litière |

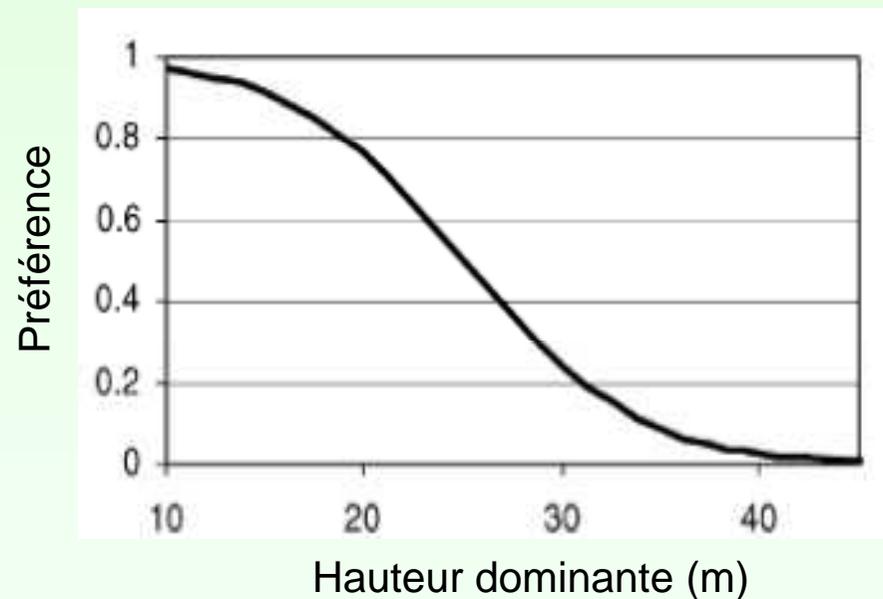
(d'après Lexer et *al.* 2005)

Utilisation du modèle de croissance MOSES (Hasenauer *et al.* 1995)

DSD : analyse de décision multicritères

2. Fonctions de préférence pour chaque stratégie (espèce(s) et traitement sylvicole) selon les valeurs des indicateurs → construites à partir de données scientifiques ou dires d'experts

Valeurs des fonctions sommées et pondérées selon l'importance de chaque critère → fonctions d'utilité



Fonction de préférence de la hauteur dominante par rapport au risque face au vent (d'après Lexer et al. 2005)

DSD : analyse de décision multicritères

Pour chaque stratégie,
calcul du rang moyen selon
les préférences de gestion

→ stratégie la plus adaptée

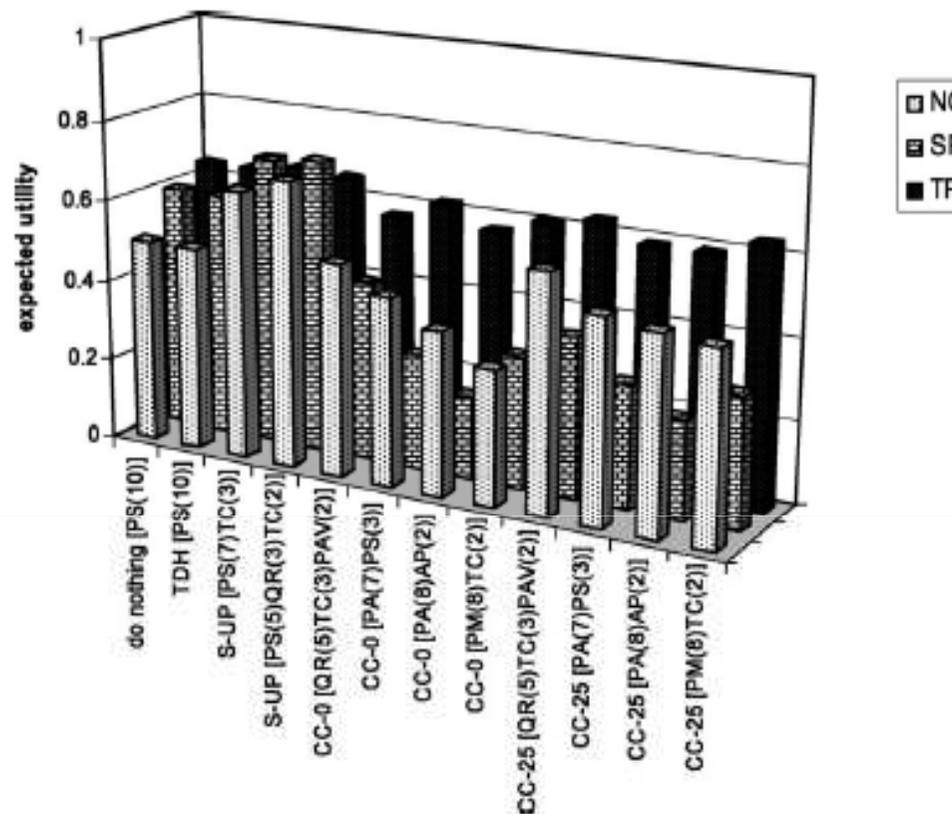


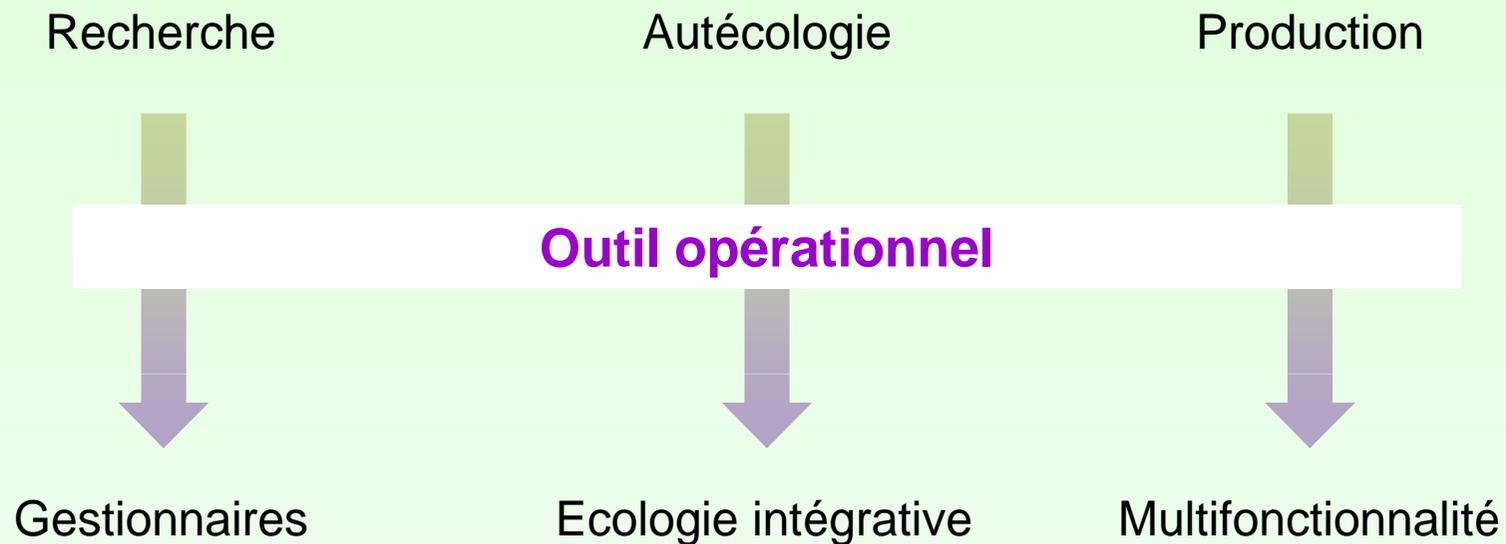
Fig. 7. Calculated expected utility of management alternatives that considered varying levels of importance for timber production, nature conservation, and sustainable site productivity (compare Table 5). TP= highest priority for timber production, NC= highest priority for nature conservation, SP= highest priority for sustainable site productivity. Acronyms for management alternatives: TDH= target diameter harvest, S-UP= shelterwood + underplant, CC-0= clear cut immediately, CC-25= clear cut after 25 years; species abbreviations (followed by volume proportions in parentheses): PS = *Pinus sylvestris*, PA = *Picea abies*, PM = *Pseudotsuga menziesii*, TC = *Tilia cordata*, QR = *Quercus robur*, PA = *Prunus avium*, AP = *Acer pseudoplatanus*.

Lexer et al. (2005)

DSD : points forts et limites

| Points forts | Limites |
|--|---|
| Objectif multifonctionnel | Paramétrisation très locale et prédéfinie |
| Court terme et long terme | 3 facteurs abiotiques pour déterminer la vulnérabilité des espèces |
| Analyse de décision multicritères | Mélange de données scientifiques et d'expert avec le même poids |
| Fonctions de préférence quantitatives | Scénarios de CC limités et n'interviennent que pour le modèle autécologique |
| Incertitudes et risques (notamment économiques) pris en compte | |
| Choix des essences (pur ou en mélange) ET traitement sylvicole | |

Cahier des charges pour un outil d'aide à la décision



Cahier des charges pour un outil d'aide à la décision

Utilisateurs ciblés

- Gestionnaires de parcelles forestières publiques et privées
- Des orientations nationales jusqu'aux choix d'aménagement à l'échelle locale

Echelle spatiale

Parcelle ou massif-
région-territoire
→ modèle

Outil durable et évolutif

Echelle temporelle

Court et long termes
(0 à 100 ans)

Aide à la décision

Choix des essences
Traitements sylvicoles



Structure

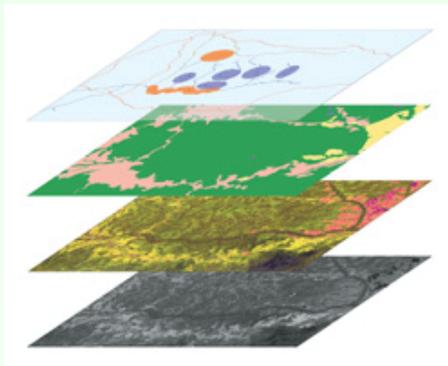
Accès

- Mises à jour centralisées
- Utilisation la plus accessible possible → internet



Plateforme SIG

- Référencement spatial des paramètres initiaux
- Multicouches de données
- Sortie cartes

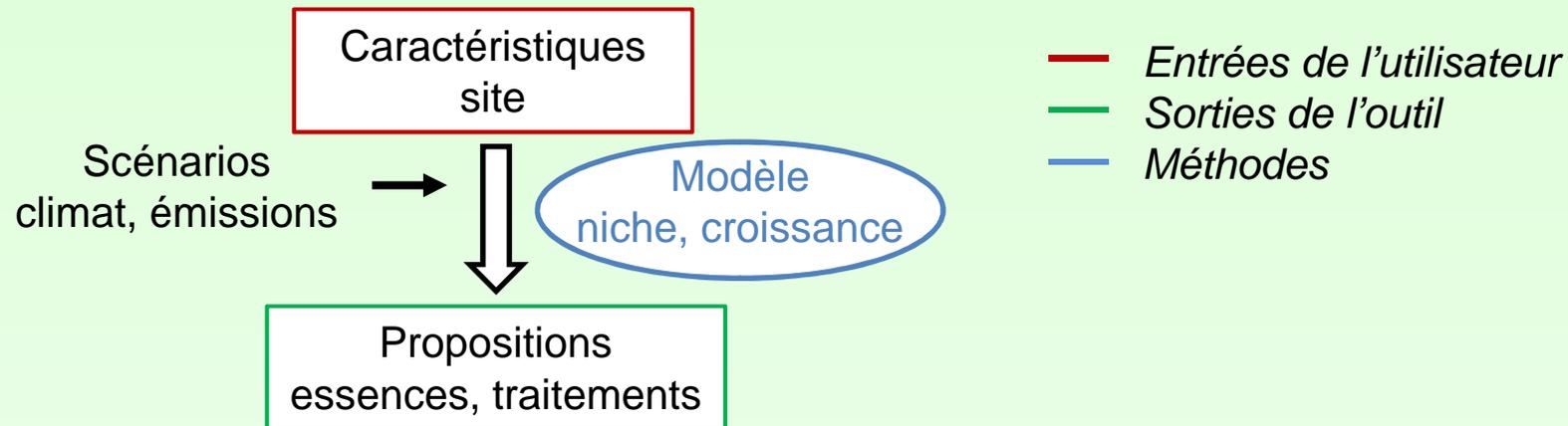


Outil durable et évolutif

Interface utilisateur

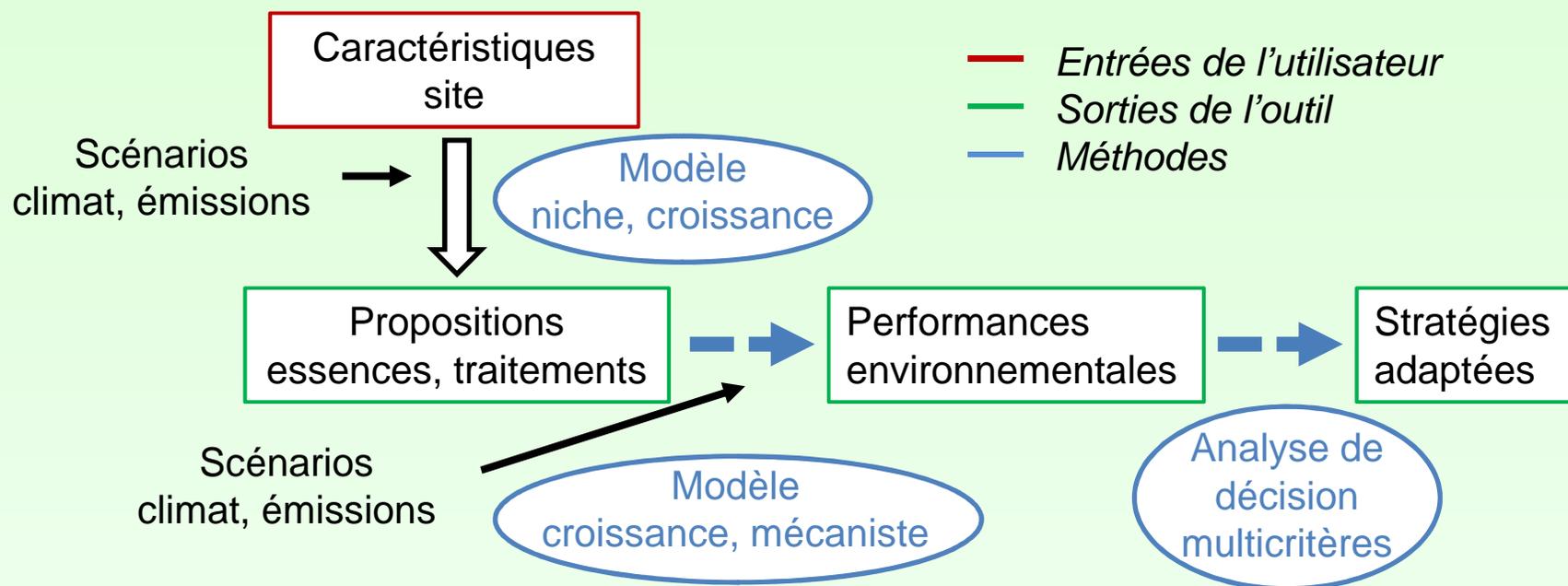
- Méthodologie complexe
→ interface simple
- Documents de support

Fonctionnement



- Caractéristiques du site : géo-référencement → facteurs abiotiques
- Scénarios DRIAS, plusieurs scénarios de climat et d'émissions
- Propositions d'essences adaptées → peuplements monospécifiques ou mélangés

Fonctionnement



- Choix des modèles → à discuter
- Performances environnementales sous la forme de fonction de réponses, calibrées ou validées par les données recueillies
- Analyse multicritères : dimension écologique, économique, sociale → module séparé

Recueil des données

➤ Types de données

Données quantitatives sur l'autécologie des essences en peuplement monospécifique ou mélangé → validation scientifique

→ paramétrer les modèles

→ fonctions de réponse pour valider ou calibrer les modèles

Expertise pour vérification des données

➤ Organisation

Collecte de données (site internet)

→ tri des données par facteur, réponse biologique

→ renseignement sur les conditions de mesure

→ bases de traits fonctionnels : paramétrisation, fonction de réponse (si homogénéisation)



3. Apports des traits fonctionnels : la base TRY

Base de données TRY

Liste d'essences

- Essences principales : Sapin pectiné, Sapin de Nordmann, Chataignier, Hêtre, Epicea, Pin maritime, Pin sylvestre, Chêne vert, Chêne sessile, Chêne pubescent, Chêne pédonculé
- Essences secondaires : Erable plane, Erable sycomore, Aulne de Corse, Bouleau, Merisier, Cormier, Tilleul à petites feuilles
- Essences exotiques : Cèdre de l'Atlas, Pin Laricio de Corse, Douglas, Eucalyptus, Robinier faux acacia

Global Change Biology

Global Change Biology (2011) 17, 2905–2935, doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02451.x

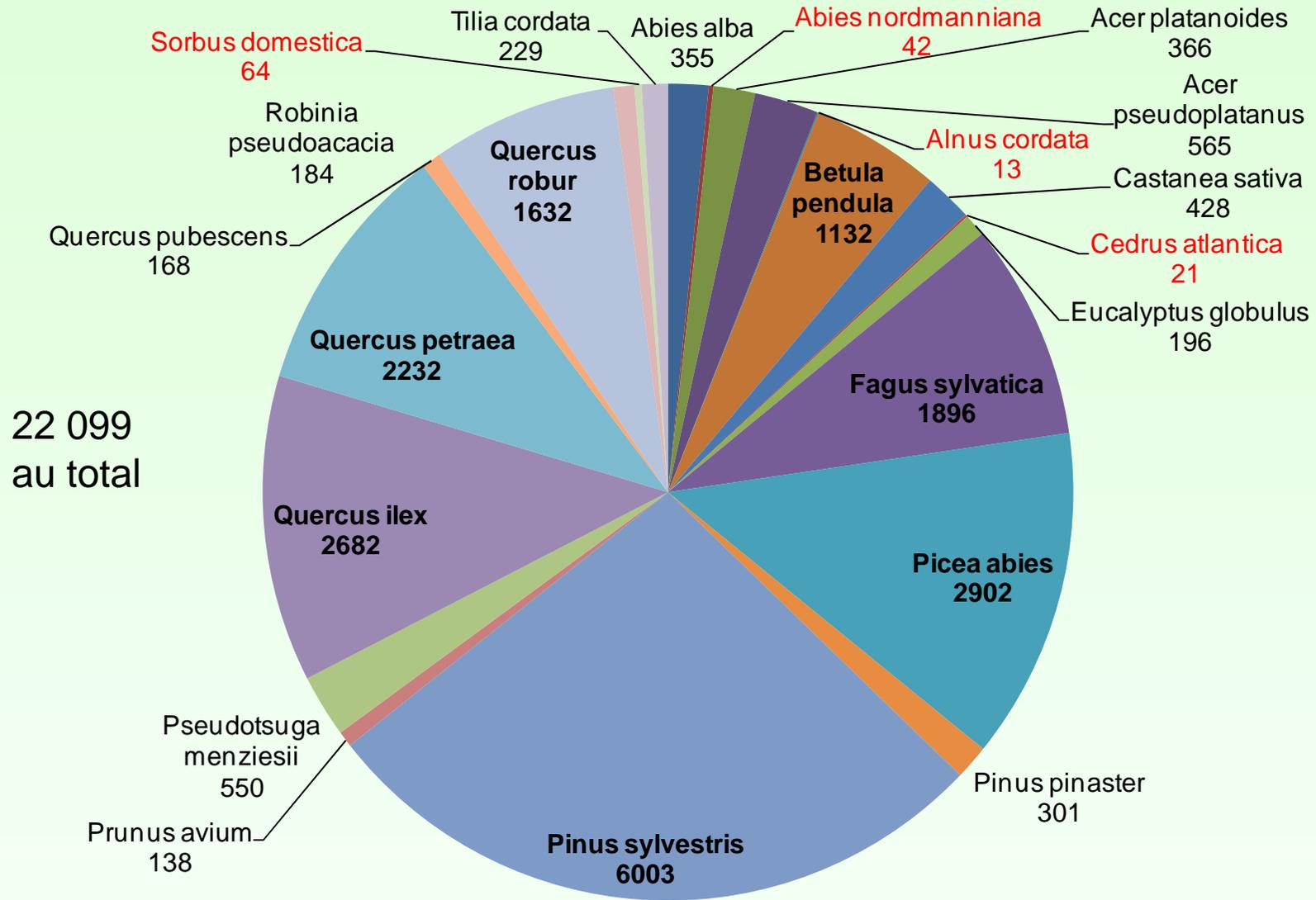
Kattge *et al.* (2011)

TRY – a global database of plant traits

52 traits, 300 000 espèces végétales

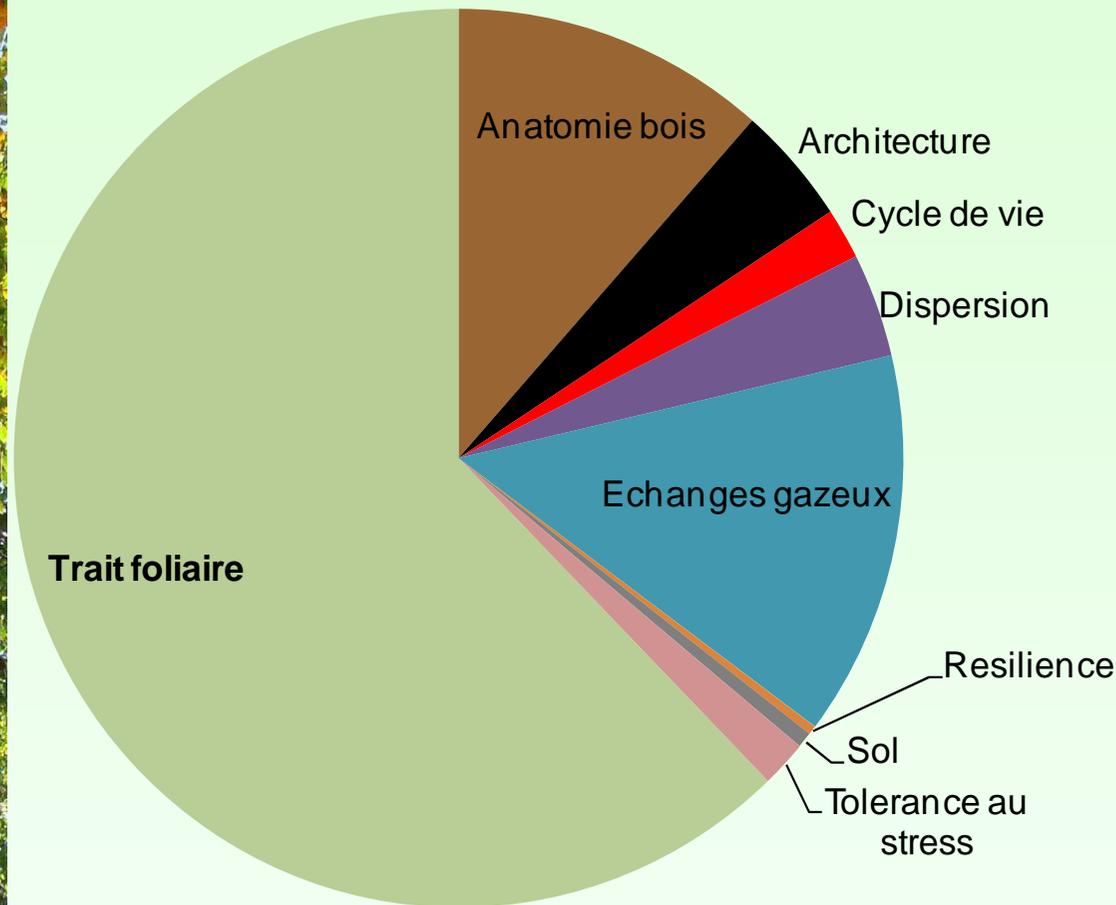
→ Traits foliaires, taille des graines, conductance stomatique...

Nombre de valeurs de traits par espèce



Kattge *et al.* (2011) TRY - a global database of plant traits. *Global Change Biology* 17:2905-2935

Répartition des traits par type



➤ Traits foliaires

- Surface, masse, épaisseur, masse surfacique
- % C, % Azote, % Phosphore, % MS
- Longévité

➤ Echanges gazeux

- Respirations
- Photosynthèse, V_{cmax} , J_{max}
- Conductance stomatique

➤ Anatomie du bois

Densité du bois, densité des tissus conducteurs

➤ Architecture

Diamètre houppier, hauteurs

➤ Dispersion

Type de dispersions, germination, longueur masse et longévité graines, espèce invasive ?

➤ Cycle de vie

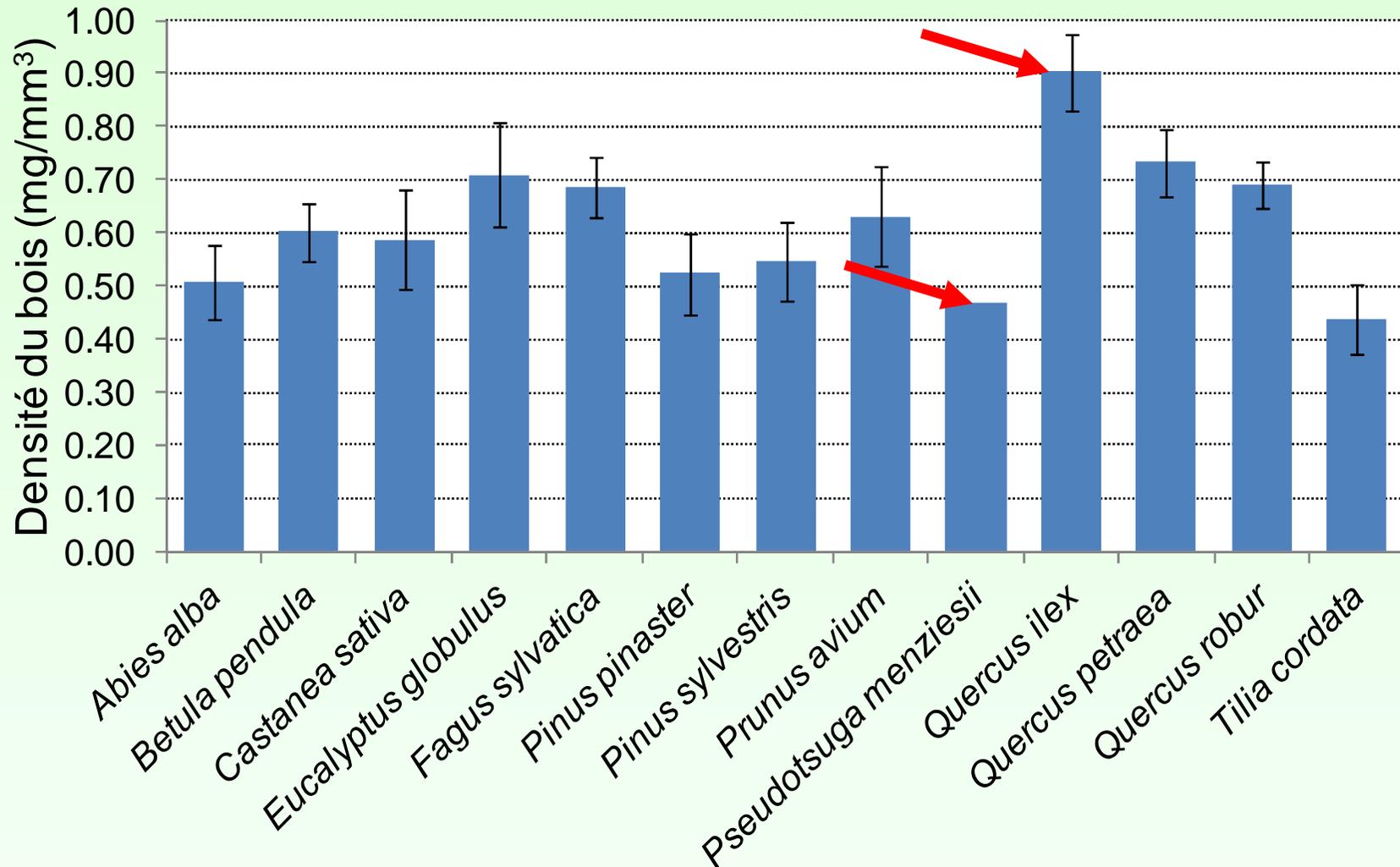
Phénologie, âge de maturité, longévité

➤ Tolérance aux stress abiotiques

➤ Résilience après feu, herbivorie, taille

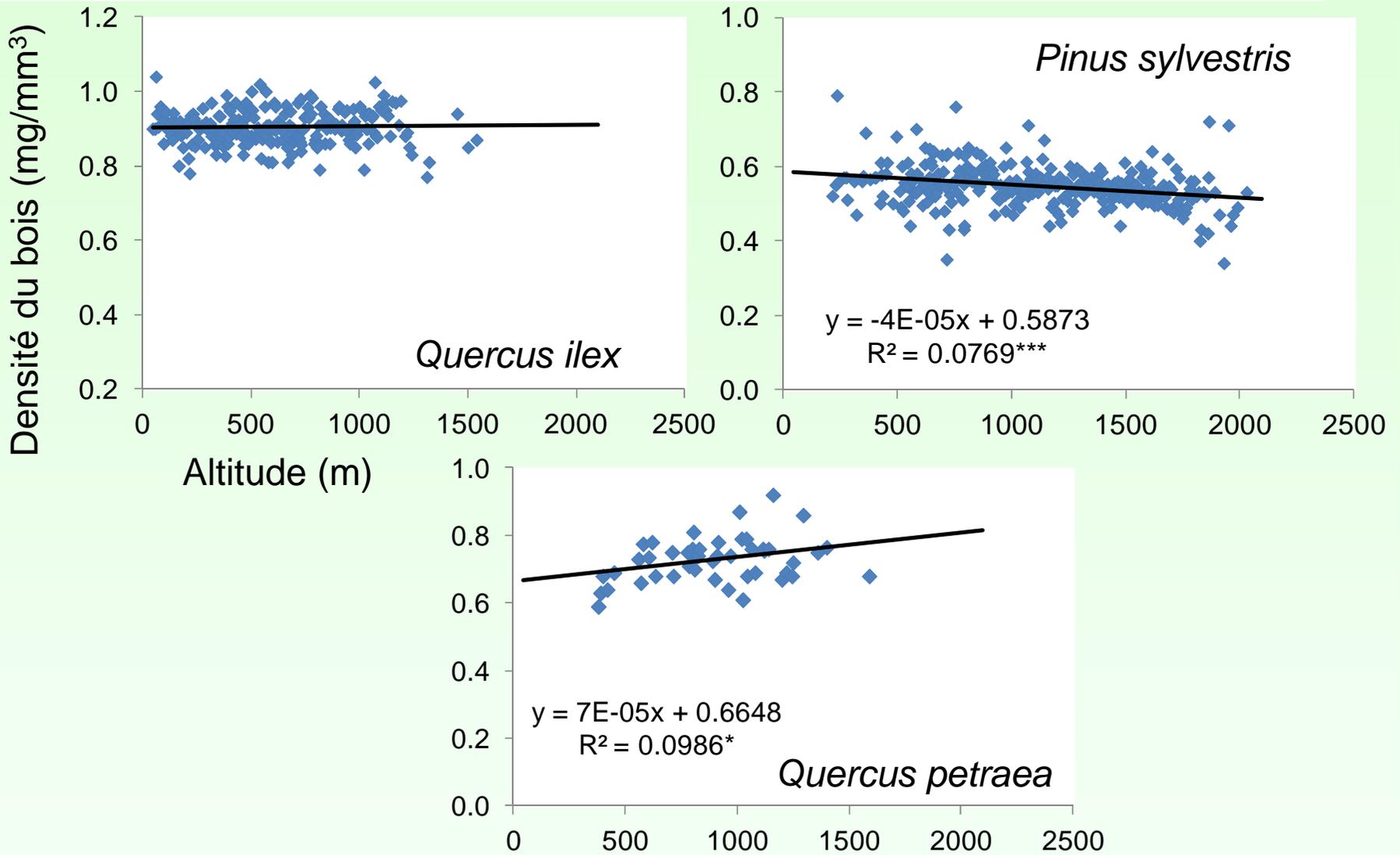
Kattge *et al.* (2011) TRY

Exemple : densité du bois par espèce



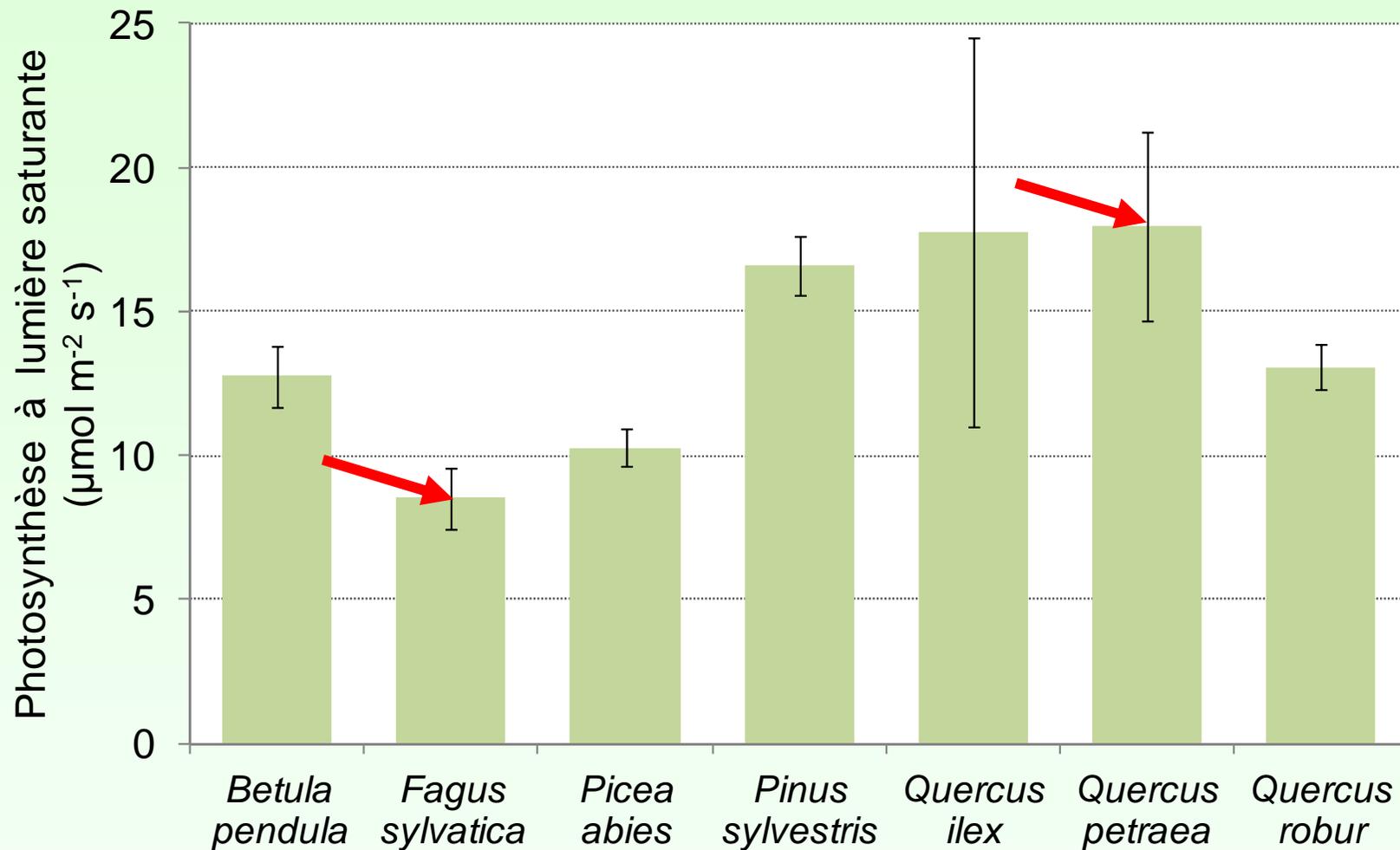
Catalonian Mediterranean Forest Trait Database, Ogaya & Penuelas (2003, 2006, 2007, 2008)

Densité du bois en fonction de l'altitude



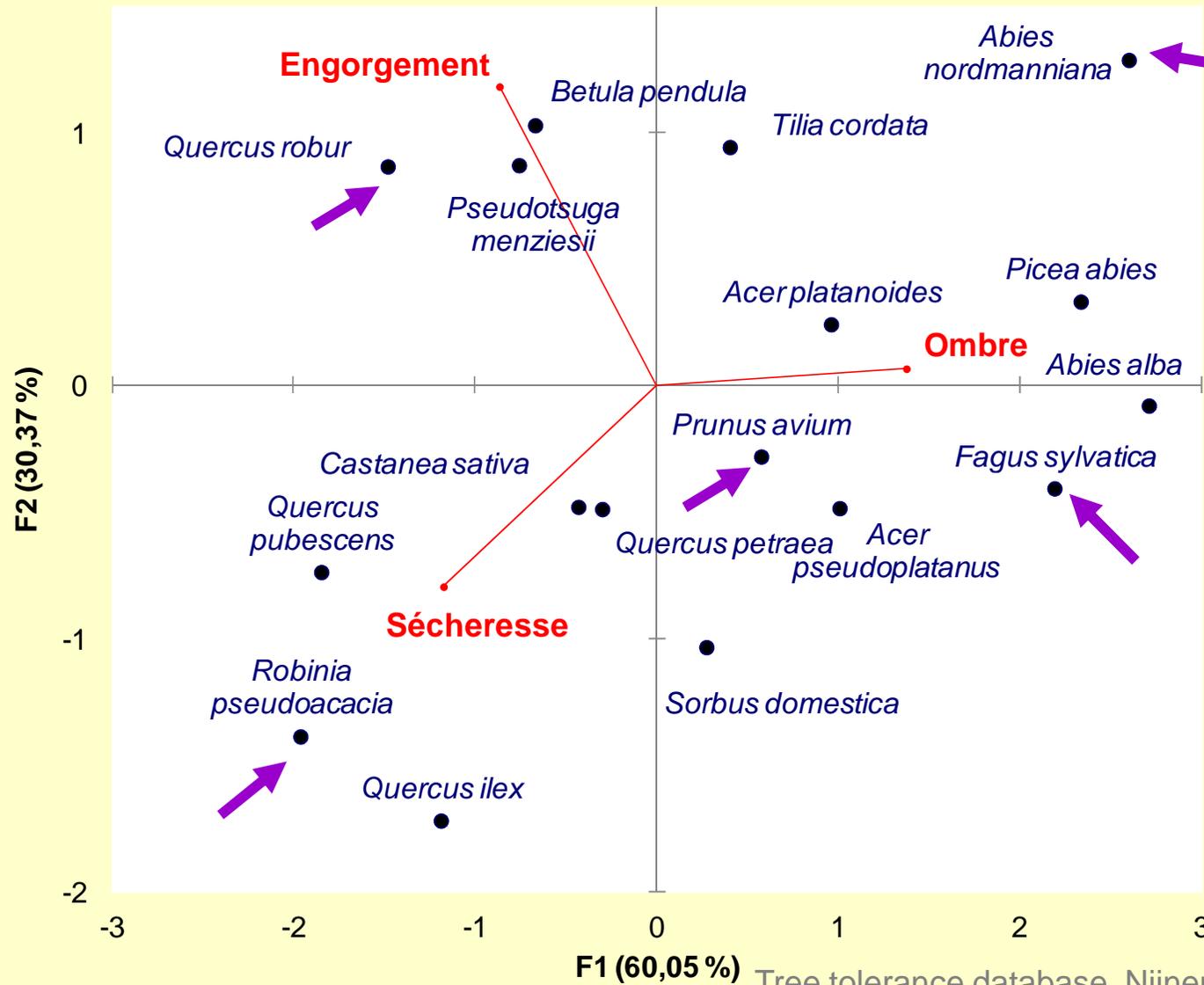
Catalonian Mediterranean Forest Trait Database, Ogaya & Penuelas (2003, 2006, 2007, 2008)

Photosynthèse moyenne par espèce



ECOCRAFT, Medlyn and Jarvis (1999), Medlyn *et al.* (1999, 2001)

Tolérance aux stress abiotiques



Tree tolerance database, Niinemets & Valladares (2006)

Bilan de première utilisation

- Grand nombre de données de traits, traits variés
- Difficultés :
 - Variabilité intra-spécifique → moyenne pas homogène/espèce.
 - Manque de renseignements sur les caractéristiques des individus (ex : âge)
→ Travailler sur la même base de données pour des moyennes homogènes
- Valeurs de traits dépendent de différents facteurs → Fonctions de réponses à un facteur abiotique difficiles à obtenir → limite de l'autécologie
- Base TRY → **paramétrisation des modèles** utilisés dans l'outil

Global Change Biology

Global Change Biology (2011) 17, 2905–2935, doi: 10.1111/j.1365-2486.2011.02451.x

TRY – a global database of plant traits



Merci de votre attention