Diversifier les plantations forestières face au changement climatique

Adrien BAZIN - CNPF AURA Cassandre GUINET - VetAgroSup et CNPF AURA

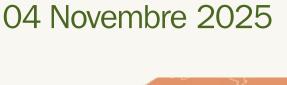














La diversification est une des possibilités d'adaptabilité face au changement climatique

Comment diversifier les plantations forestières pour tendre vers plus d'adaptabilité et de potentiel de résilience des forêts face au changement climatique ?



Programme INTERREG SUDOE COOPTREE

- → Accompagner l'adaptation des forêts face au changement climatique
- → Apporter un éclairage technique sur les plantations mélangées, en croisant les enjeux de biodiversité - changement climatique - gestion durable des territoires













Vulnérabilité croissante des forêts face au changement climatique



Projection climatique (TRACC): +4°C d'ici 2100

Actuellement Tmoy = 10 °C en Auvergne-Rhône-Alpes

Lorsque des températures élevées sont combinées à un déficit hydrique

- → Augmentation de l'évapotranspiration (stress hydrique des arbres)
- → Une mortalité rapide des arbres peut survenir

Déplacement des aires de répartition

Les aires climatiques favorables aux essences se déplacent plus vite que les espèces elles-mêmes ne peuvent se déplacer







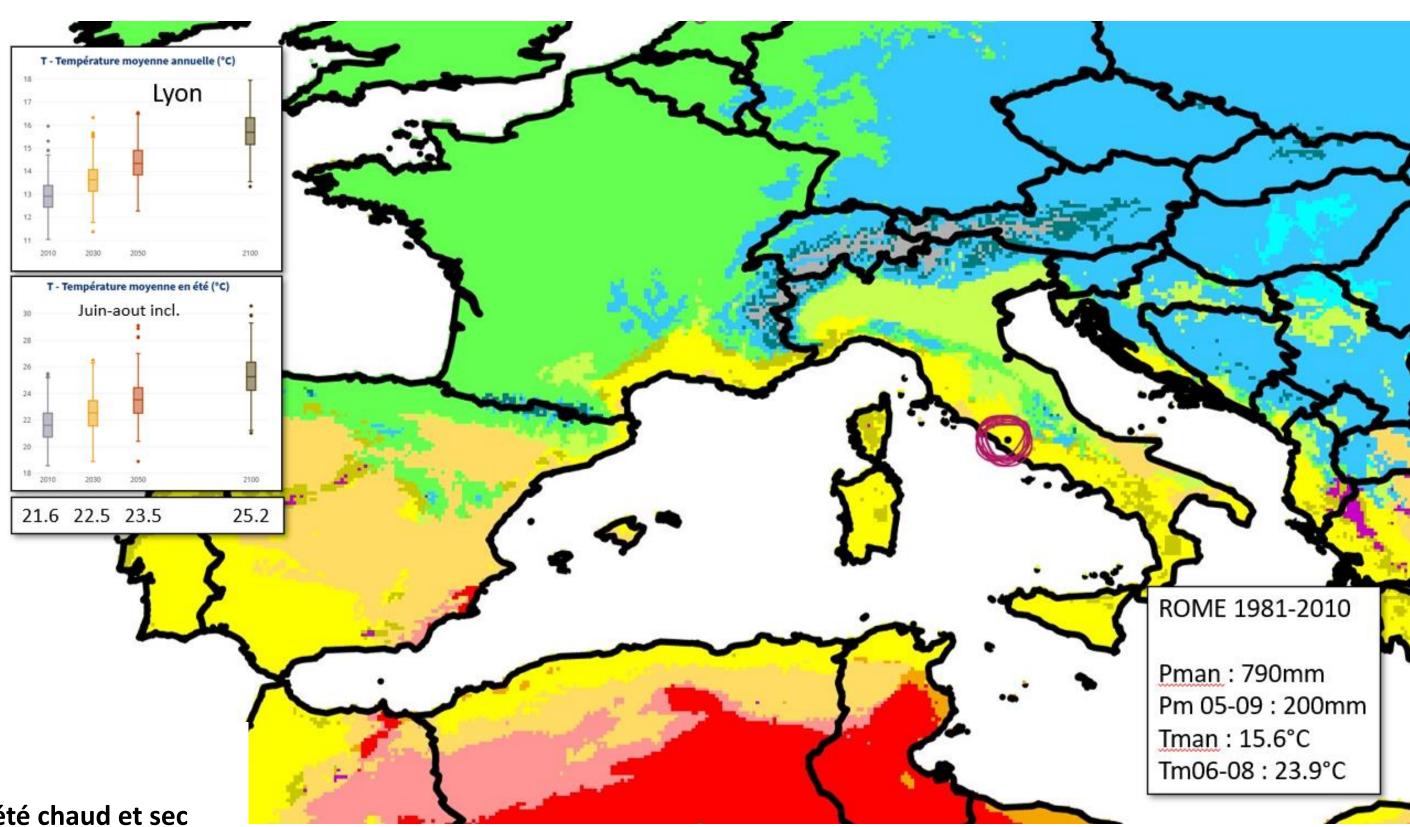
Introduction

Questionnement Préalable

Autécologie

Croissance





Climat de Koppen de Rome

Csa: méditerranéen; tempéré à été chaud et sec

Csb: supra-méditerranéen; tempéré à été frais et sec









Observé Moyennes 1988-2017

| Type | Nom (indicatif) | Caractéristiques | | | |
|------|-----------------|--|--|--|--|
| D | Montagnard | Tempéré à hiver froid (influences continentales) | | | |
| Cfb | Breton | Tempéré à été frais sans saison sèche | | | |
| Csb | Charentais | Tempéré à été frais et sec | | | |
| Cwb | Mexicain (*) | Tempéré à été frais et saison sèche hivernale | | | |
| Cfa | Danubien | Tempéré à été chaud sans saison sèche | | | |
| Csa | Méditerranéen | Tempéré à été chaud et sec | | | |
| Cwa | Subtropical (*) | Tempéré chaud et saison sèche hivernale | | | |
| BSk | Sarde | Semi aride frais | | | |
| BSh | Sicilien | Semi aride chaud | | | |
| BW | Tunisien (*) | Aride et chaud | | | |

Tableau 1 : principaux types de Köppen rencontrés en France. (*) Les types en italique sont très faiblement représentés dans les TCA en France.













RCP-4.5 2041-2070 Moyennes DRIAS-2020 CNRM-CM5

| Type | Nom (indicatif) | Caractéristiques | | | |
|------|-----------------|--|--|--|--|
| D | Montagnard | Tempéré à hiver froid (influences continentales) | | | |
| Cfb | Breton | Tempéré à été frais sans saison sèche | | | |
| Csb | Charentais | Tempéré à été frais et sec | | | |
| Cwb | Mexicain (*) | Tempéré à été frais et saison sèche hivernale | | | |
| Cfa | Danubien | Tempéré à été chaud sans saison sèche | | | |
| Csa | Méditerranéen | Tempéré à été chaud et sec | | | |
| Cwa | Subtropical (*) | Tempéré chaud et saison sèche hivernale | | | |
| BSk | Sarde | Semi aride frais | | | |
| BSh | Sicilien | Semi aride chaud | | | |
| BW | Tunisien (*) | Aride et chaud | | | |

Tableau 1 : principaux types de Köppen rencontrés en France. (*) Les types en italique sont très faiblement représentés dans les TCA en France.













RCP-8.5 2071-2100 Moyennes DRIAS-2020 CNRM-CM5

| Type | Nom (indicatif) | Caractéristiques | | | |
|------|-----------------|--|--|--|--|
| D | Montagnard | Tempéré à hiver froid (influences continentales) | | | |
| Cfb | Breton | Tempéré à été frais sans saison sèche | | | |
| Csb | Charentais | Tempéré à été frais et sec | | | |
| Cwb | Mexicain (*) | Tempéré à été frais et saison sèche hivernale | | | |
| Cfa | Danubien | Tempéré à été chaud sans saison sèche | | | |
| Csa | Méditerranéen | Tempéré à été chaud et sec | | | |
| Cwa | Subtropical (*) | Tempéré chaud et saison sèche hivernale | | | |
| BSk | Sarde | Semi aride frais | | | |
| BSh | Sicilien | Semi aride chaud | | | |
| BW | Tunisien (*) | Aride et chaud | | | |

Tableau 1 : principaux types de Köppen rencontrés en France. (*) Les types en italique sont très faiblement représentés dans les TCA en France.









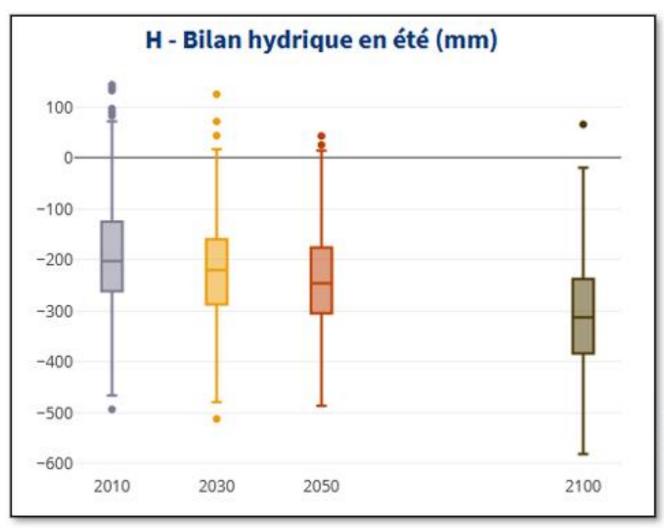






H - BILAN HYDRIQUE EN ÉTÉ (MM) H - Bilan hydrique en été (mm) entre le 1 juin et le 31 août

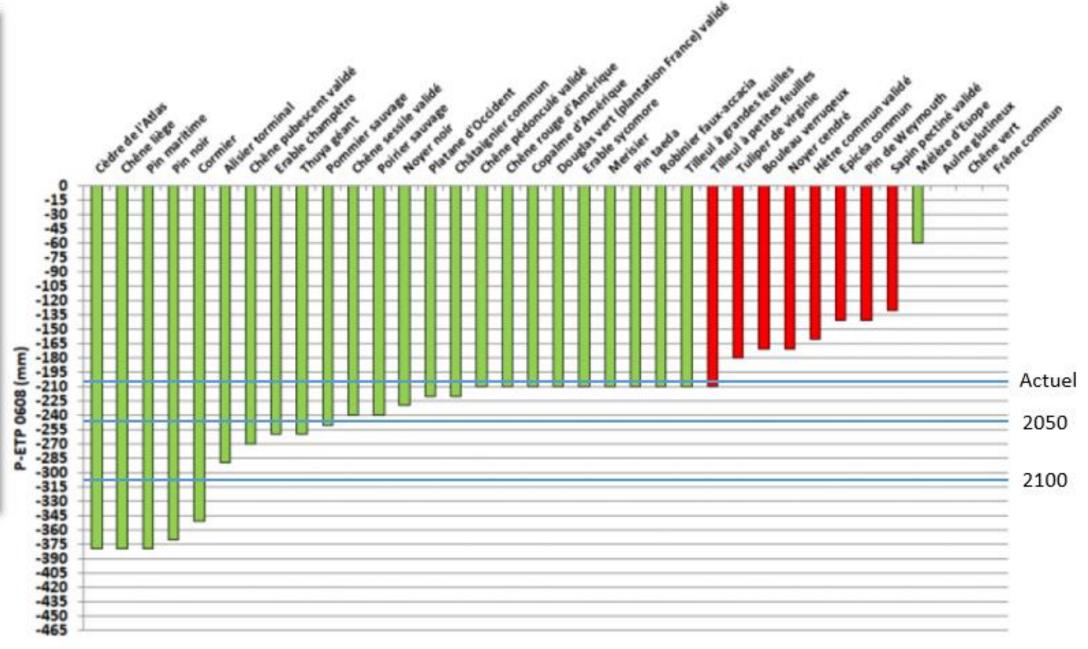
P-ETP (Turc) les mois les plus chauds (mm de juin à août inclus, percentile arrondi)



Lyon - Juin-aout incl.

Médiane

2050: -245mm 2010: -310mm













Vulnérabilité croissante des forêts face aux crises sanitaires

Entre **2005-2013**, la mortalité était de ~**7,4 Mm³/an**

Entre **2014-2022**, la mortalité s'élève à ~**15,2 Mm³/an**

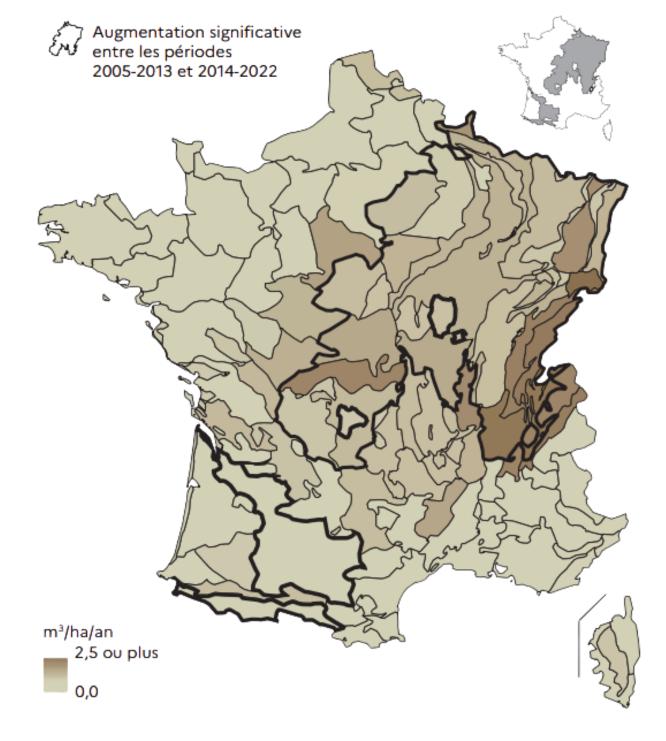
Ce doublement est dû aux **crises sanitaires** liées à des conditions climatiques difficiles pour les arbres et propices aux insectes xylophages



Les essences les plus impactées : frêne, châtaignier, épicéa commun



IFN, 2024













Vulnérabilité croissante des forêts monospécifiques

Menace la résilience des peuplements, notamment **monospécifiques** Remettent en question certains modèles sylvicoles traditionnels













Menace la résilience des peuplements, notamment monospécifiques Remettent en question certains modèles sylvicoles traditionnels

Environ 7 millions d'ha de forêt → peuplements "purs" (IFN)

- = une essence d'arbre occupe plus de 75 % du couvert dans l'étage dominant.
- → Choix sylvicoles historiquement orientés
- → Aujourd'hui recherche de plus de **robustesse**, **nombreux articles** pour les bénéfices du mélange



Introduction

Diversifier les plantations et enrichissements pour « répartir le risque »

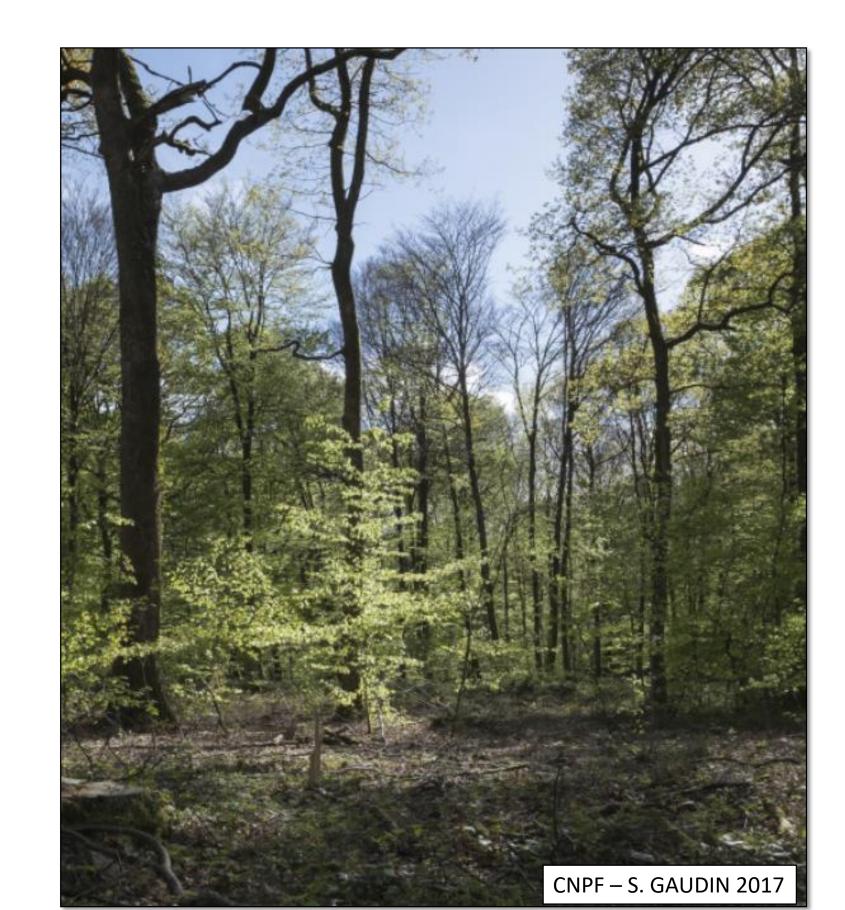












Diversifier les plantations forestières face au changement climatique

Adrien BAZIN - CNPF AURA

Cassandre GUINET - VetAgroSup et CNPF AURA

04 Novembre 2025



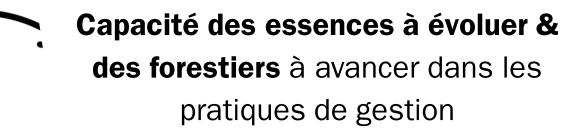






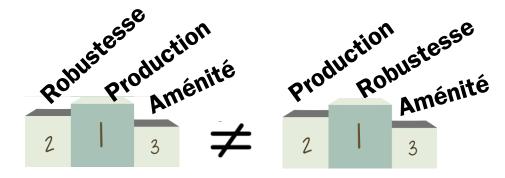


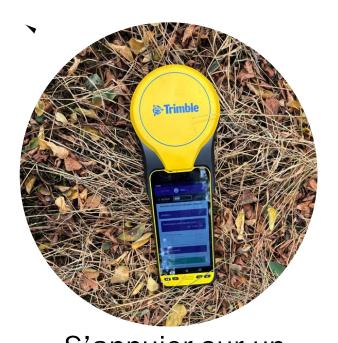
Comment diversifier les plantations forestières en plein et en enrichissement face au changement climatique ?





L'adaptation des forêts au changement climatique met en évidence de la **complexité du choix des essences** dans les plantations Concevoir des peuplements associant **production, robustesse et aménités**





S'appuier sur un diagnostic plus fin



Ce travail représente un premier effort de synthèse des connaissances récentes issues des travaux de R&D. Il pousse à la réflexion sur la manière de planter.

ENJEUX & OBJECTIFS

Production, protection, biodiversité, aménités... Durée de production estimée



DIAGNOSTICS

Conditions stationnelles

Caractéristiques de sol et de climat Homogénéité/hétérogénéité dans la parcelle Problèmes de gibier à recenser

Surface de plantation

Penser à la régénération naturelle si petite surface

Historique de gestion

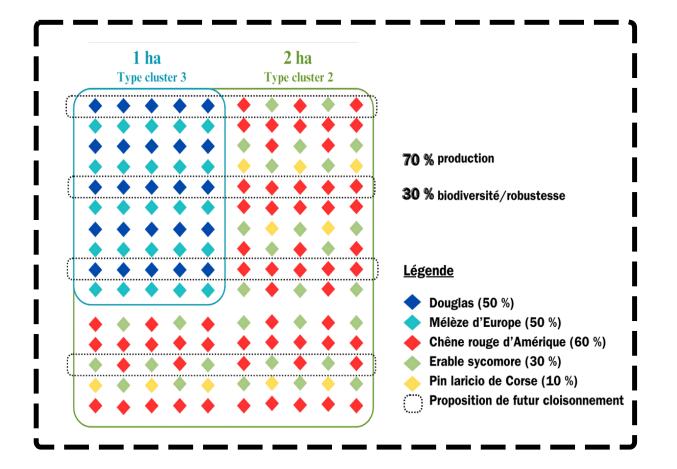
Antécédents sanitaires (scolytes, fomes...)

Prise en compte du changement climatique

Trajectoires climatiques futures Emergences de risques sanitaires

STRATEGIES DE PLANTATION

Choix des essences **Proportion des essences** Design de plantation





- de leur comportement de croissance (juvénile et global)
- de leurs exigences autoécologiques



Rappel

Vouloir une plantation mélangée, avec un desing très intégré, plusieurs essences... C'est un idée !

Mais pas sans un sol fonctionnel!!

Introduction

La remise en état du sol n'est pas une raison pour négliger l'exploitation, d'autant que dans certains cas, c'est plus visuel qu'efficace!



Quels sont les enjeux?

- protection des pentes
- habitat/espèce
- aménités

- ...



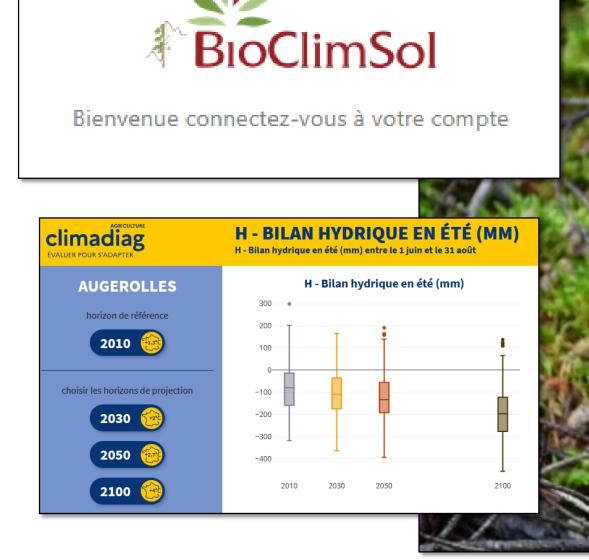
- Conditions de sol
- Conditions de climat actuelles et futures
- Surface de plantation
- Etat des lieux de la régénération naturelle
- Antécédents sanitaires
- Risques d'émergence sanitaire ?
- Autres facteurs



Le site Climessences est passé à sa version 2, à partir de juillet 2025.

Pour en savoir plus sur le contenu de cette mise a iour :

- Consultez la page dédiée de la documentation
- Visionnez le <u>replay du webinaire du 9 juillet 2029</u>
 sur la chaine Youtube d'AFORCE



- Conditions de sol
- Conditions de climat actuelles et futures
- Surface de plantation
- Etat des lieux de la régénération naturelle
- Antécédents sanitaires
- Risques d'émergence sanitaire ?
- Autres facteurs



- Conditions de sol
- Conditions de climat actuelles et futures
- Surface de plantation
- Etat des lieux de la régénération naturelle
- Antécédents sanitaires
- Risques d'émergence sanitaire ?
- Autres facteurs



- Conditions de sol
- Conditions de climat actuelles et futures
- Surface de plantation
- Etat des lieux de la régénération naturelle
- Antécédents sanitaires
- Risques d'émergence sanitaire ?
- Autres facteurs

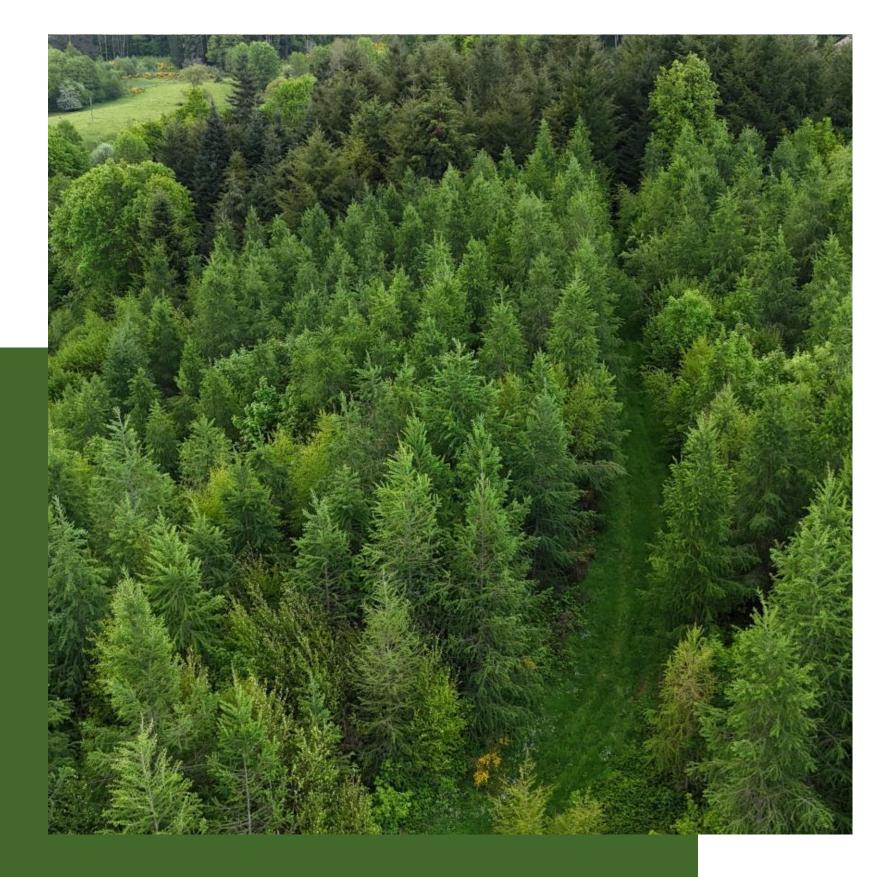


- Conditions de sol
- Conditions de climat actuelles et futures
- Surface de plantation
- Etat des lieux de la régénération naturelle
- Antécédents sanitaires
- Risques sanitaires émergents ?
- Autres facteurs



- Conditions de sol
- Conditions de climat actuelles et futures
- Surface de plantation
- Etat des lieux de la régénération naturelle
- Antécédents sanitaires
- Risques sanitaires émergents ?
- Autres facteurs





Cassandre Guinet
Option EcoTerr

Questions?









Quelle stratégie de plantation ?

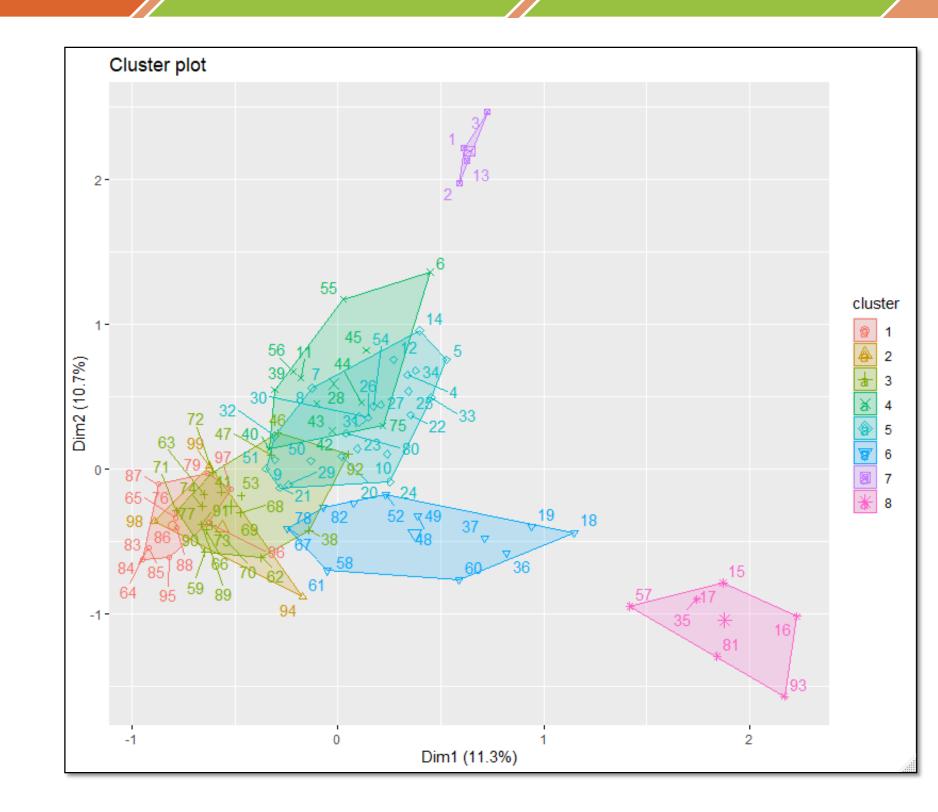
- Choix des essences
 Autécologie
 Croissance
- Proportion / Design, Agencement

Base de données de **Julve**, ~ **7 000 espèces 10 variables** autécologie (*lumière*, *température*, *humidité*, *texture du sol...*)

Sélection ~ **100 essences** (BDD CNPF AURA et essences d'intérêt) / ACM + HCPC

= 8 groupes différents avec des essences aux exigences autécologiques proches

Variables structurantes: Humidité édaphique & atmosphérique - température - matière organique



LIMITES

- Compatibilité Julve en AuRA
- Données "à dire d'expert" (ex : chêne rouge d'Amérique)

Groupe 1 : structuré par climat/sol frais à humide, températures du collinéen et montagnard

Préalable

Picea sitchensis (Bong.) Carrière

Pinus radiata D.Don

Sorbus aucuparia L.

Betula pendula Roth

Abies bornmuelleriana Mattf.

Abies grandis (Douglas ex D.Don) Lindl.

Abies lasiocarpa (Hook.) Nutt.

Abies nordmanniana (Steven) Spach

Abies veitchii Lindl.

Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco

Picea abies (L.) H.Karst.

Pinus contorta Douglas ex J.W.Loudon

Pinus sylvestris L.











Groupe 2 : structuré par températures du montagnard supérieur, continentalité

Abies alba Mill.

Pinus cembra L. Larix decidua Mill.











Groupe 3 : structuré par mésophiles, héliophiles, températures variées

Aesculus hippocastanum L.

Quercus robur L.

Sorbus torminalis (L.) Crantz Thuja plicata D.Don ex Lamb. Liquidambar styraciflua L.

Fagus sylvatica L.

Acer pseudoplatanus L.

Larix kaempferi (Lindl.) Carrière Quercus palustris Münchh.

Acer rubrum L.

Questionnement

Préalable

Acer saccharinum L.

Carpinus betulus L.

Malus sylvestris Mill.

Populus tremula L.

Prunus avium (L.) L.

Quercus coccinea Münchh.

Tilia cordata Mill.

Abies balsamea (L.) Miller

Abies concolor (Gordon & Glend.)

Abies Iowiana (Gordon) A.Murray Cedrus Iibani A.Rich.











Groupe 4 : structuré par thermophiles de plaine à supraméditerranéennes, mésoxérophiles, héliophiles, sols moyennement riches et acides

Questionnement

Préalable

Cupressus macrocarpa Hartw.

Quercus suber L.

Castanea sativa Mill.

Pyrus cordata Desv.

Quercus petraea Liebl.

Quercus rubra L.

Quercus velutina Lam.

Sorbus intermedia (Ehrh.) Pers.

Sorbus latifolia (Lam.) Pers.

Pinus pinaster Aiton

Quercus pyrenaica Willd.

Sorbus aria (L.) Crantz











Groupe 5 : structuré par mésoxérophiles à mésophiles, temperatures mésoméditerranéennes, héliophines

Questionnement

Préalable

Acer monspessulanum L.

Acer opalus subsp. Obtusatum

Eucalyptus globulus Labill.

Eucalyptus gunnii Hook.f.

Quercus congesta C.Presl

Quercus frainetto Ten.

Cupressus sempervirens L.

Pinus nigra subsp. salzmannii

Acer opalus Mill.

Tilia tomentosa Moench

Celtis australis L.

Fraxinus ornus L.

Juglans regia L.

Sorbus domestica L.

Abies cephalonica J.W.Loudon

Abies pinsapo Boiss.

Quercus canariensis Willd.

Quercus cerris L.

Quercus crenata Lam.

Quercus ilex L.

Quercus pubescens Willd.

Pinus nigra subsp. laricio Maire

Acer campestre L.

Ailanthus altissima (Mill.) Swingle

Pinus nigra Arnold

Cedrus atlantica (Manetti ex Endl.)











Groupe 6: structuré sol plutôt riche, limoneux, mésohydro/hydrophiles, neutrophiles

Alnus cordata (Loisel.) Duby

Platanus orientalis L.

Fraxinus pennsylvanica Marshall

Platanus occidentalis L.

Ulmus carpinifolia Gled.

Ulmus minor Mill.

Juglans nigra L.

Acer platanoides L.

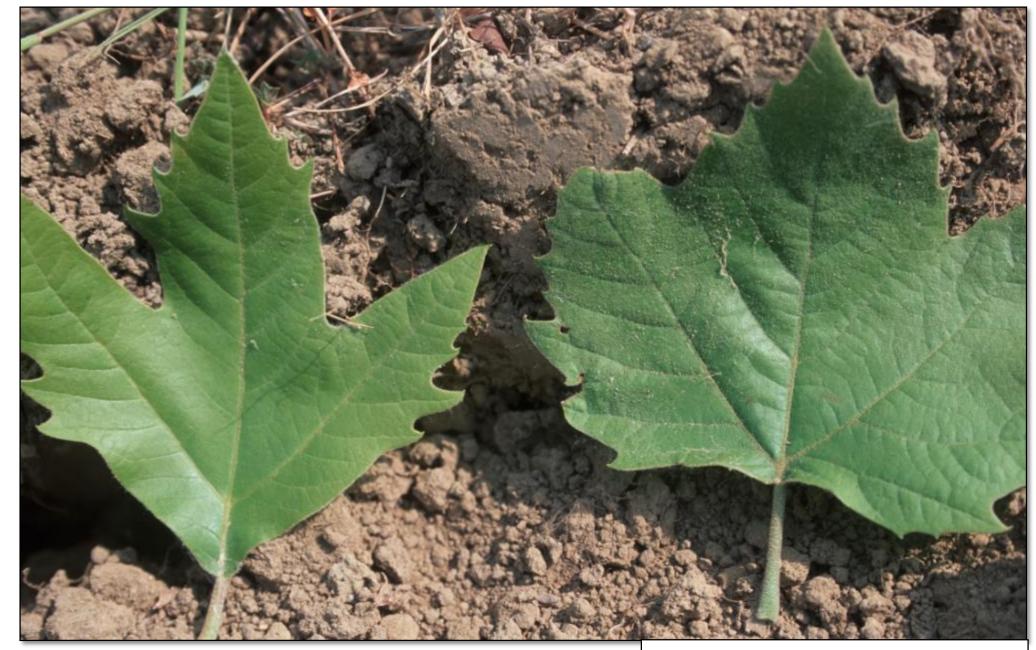
Fraxinus excelsior L.

Ulmus glabra Huds.

Acer cappadocicum Gled.

Tilia platyphyllos Scop. subsp. platyphyllos

Taxus baccata L.













Groupe 7 : structuré par sol plutôt sableux, xérophile, mésoméditerranéenne

Pinus pinea L.
Cupressus lusitanica Mill.
Pinus brutia Ten.
Pinus halepensis Mill.



CNPF, Pin d'Alep









Groupe 8 : structuré par hygrophiles, station riches et basiques

Fraxinus angustifolia Vahl

Populus alba L.

Populus nigra L.

Acer negundo L.

Populus balsamifera L.

Ulmus laevis Pall.

Alnus incana (L.) Moench

L'autécologie ne suffit pas à elle seule à répondre à la problématique











<u>Méthodologie</u>

Compilation de **bases de données** existantes +

Questionnement

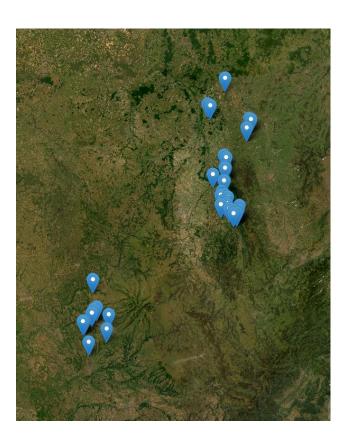
Préalable

Mesures de terrain

37 parcelles ~ 1 000 arbres - 21 essences

Création de la variable "indice de croissance" (IC) : hauteur/âge (m/an)

~ 12 200 arbres - 79 essences



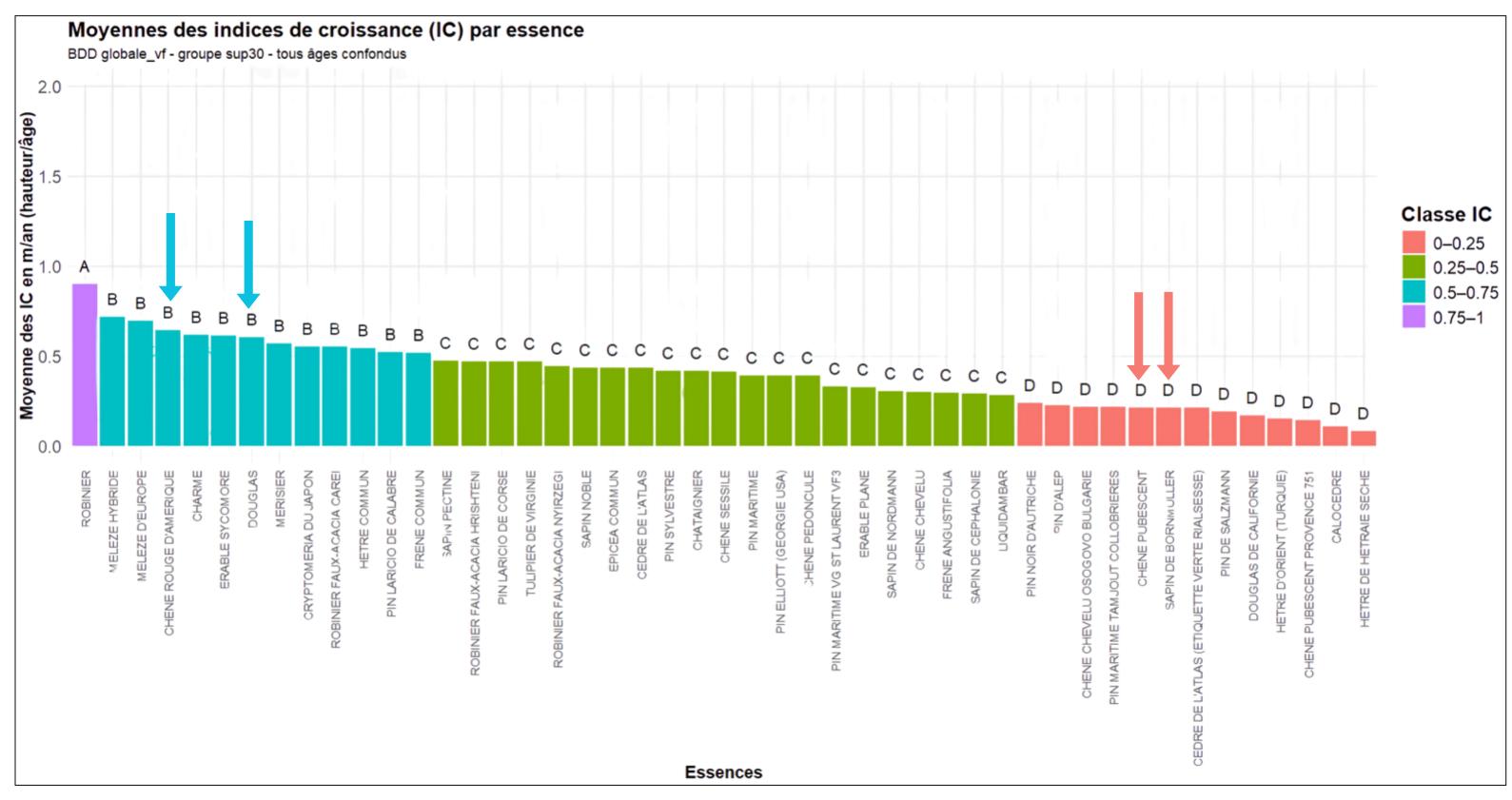
- ⇒ Création de **3 classes d'âge** (1-10 / 10-20 / >20 ans)
- ⇒Tri des essences avec + de 30 individus par classe d'âge
- ⇒ Tests stats (Levene Shapiro-Wilk Anova de Welch post-hoc de Games-Howell)
- ⇒Calcul de la moyenne des IC par essences et par classe d'âge
- ⇒ Création de 4 classes de comportement de croissance (pour lecture plus directe) :
 - Faible : 0 < IC > 0.25 m/an
 - Moyenne : **0.25 < IC > 0.50 m/an**
 - Dynamique: **0.50 < IC > 0.75 m/an**
 - Très dynamique: **0.75 < IC > 1 m/an**











Questionnement

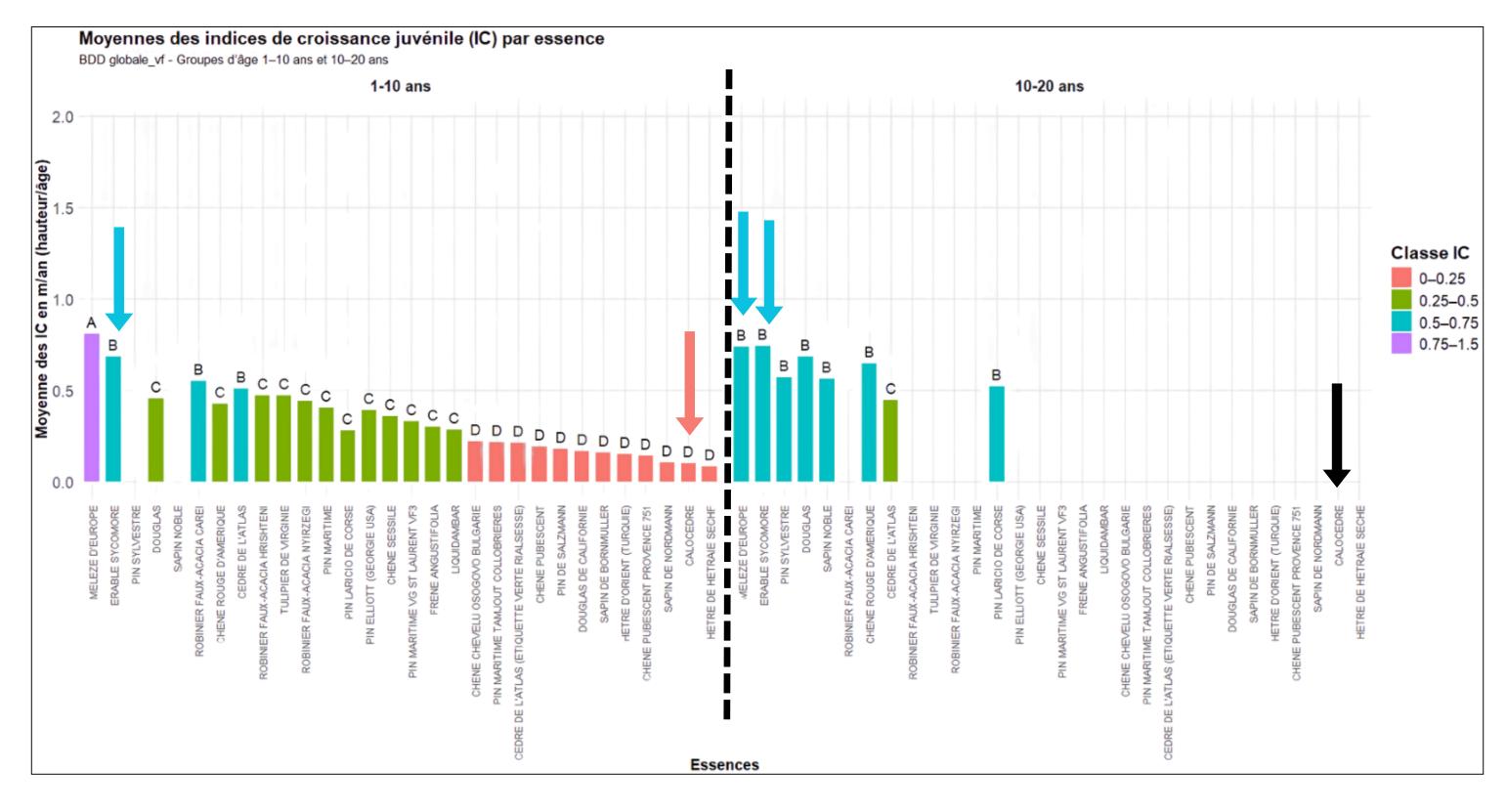
Préalable



















Pour certainres essences, la croissance juvénile est variable entre les deux classes d'âge

Le comportement de croissance juvénile peut aider, au moment de la plantation, sur la manière d'associer les essences

- Continuité du comportement de croissance entre juvénile et global
- Possibilité d'associer des essences avec des IC différents → question de proportion & design de plantation
- Possibilité d'associer des essences avec des IC similaires → il faut connaître leurs besoins autécologiques

La croissance ne suffit pas à elle seule à répondre à la problématique

LIMITES

- Beaucoup moins de mesures 10-20 ans
- → travail encore expérimental









CROISEMENT AUTECOLOGIE & CROISSANCE

| | В | С | D | NC |
|---|---|--|---|--|
| 1 | Pseudotsuga menziesii | Abies nordmanniana, Picea abies, Pinus sylvestris | Abies bornmuelleriana | Picea sitchensis, Pinus radiata, Sorbus aucuparia, Betula pendula, Abies grandis, Abies lasiocarpa, Abies veitchii, Pinus contorta |
| 2 | Larix decidua | Abies alba | | Pinus cembra |
| 3 | Fagus sylvatica, Carpinus betulus, Prunus avium | Quercus robur | | Aesculus hippocastanum, Sorbus torminalis, Thuja plicata, Liquidambar styraciflua, Acer pseudoplatanus, Larix kaempferi, Quercus palustris, Acer rubrum, Acer saccharinum, Malus sylvestris, Populus tremula, Quercus coccinea, Tilia cordata, Abies balsamea, Abies concolor, Abies Iowiana, Cedrus Iibani |
| 4 | Quercus rubra | Castanea sativa, Quercus petraea, Pinus pinaster | | Cupressus macrocarpa, Quercus suber, Pyrus cordata, Quercus velutina, Sorbus intermedia, Sorbus latifolia, Quercus pyrenaica, Sorbus aria |
| 5 | | Abies cephalonica, Quercus cerris, Pinus nigra, Cedrus atlantica | Pinus nigra, Quercus pubescens, Pinus nigra | Acer monspessulanum, Acer opalus, Eucalyptus globulus, Eucalyptus gunnii, Quercus congesta, Quercus frainetto, Cupressus sempervirens, Acer opalus, Tilia tomentosa, Celtis australis, Fraxinus ornus, Juglans regia, Sorbus domestica, Abies pinsapo, Quercus canariensis, Quercus crenata, Quercus ilex, Acer campestre, Ailanthus altissima |
| 6 | | Acer platanoides | | Alnus cordata, Platanus orientalis, Fraxinus pennsylvanica, Platanus occidentalis, Ulmus carpinifolia, Ulmus minor, Juglans nigra, Fraxinus excelsior, Ulmus glabra, Acer cappadocicum, Tilia platyphyllos, Taxus baccata |
| 7 | | | Pinus halepensis | Pinus pinea, Cupressus Iusitanica, Pinus brutia |
| 8 | | Fraxinus angustifolia | | Populus alba, Populus nigra, Acer negundo, Populus balsamifera, Ulmus laevis, Alnus incana |

LIMITES

- Présence essences d'intérêt non identifiées dans Julve et non mesurées (ex : sapin d'Espagne)
- IC varie en fonction de la provenance des essences

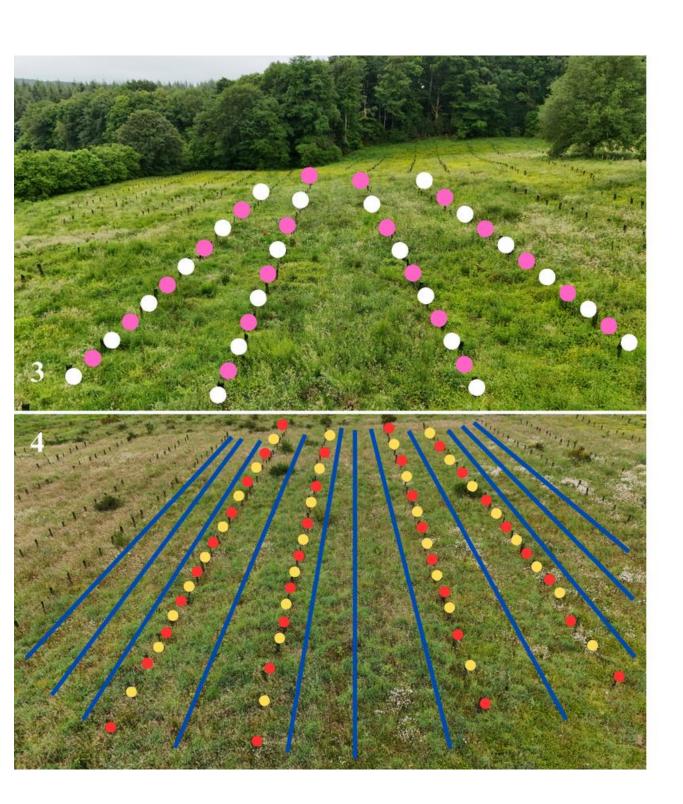








Proportions : de nombreuses combinaisons possibles



Introduction

<u>Légende</u>

- Charme
- Chêne sessile
- **—** Douglas
- Châtaignier
- Chêne rouge d'Amérique



<u>Légende</u>

- Douglas
- Cèdre de l'Atlas
- Chêne pubescent
- Chêne rouge d'Amérique
- Pin maritime
- Pin laricio de Corse









Introduction

Proportions : de nombreuses combinaisons possibles, ici chêne rouge + douglas alternance sur la ligne et entre lignes











Introduction

Proportions : de nombreuses combinaisons possibles, mélange avec plantation de cèdre et recrutement dans la régé nat











Proportions : de nombreuses combinaisons possibles, diversification suite à un échec partiel de reprise + maintient de la régé nat

Chênes Pins Fruitiers, Bouleau









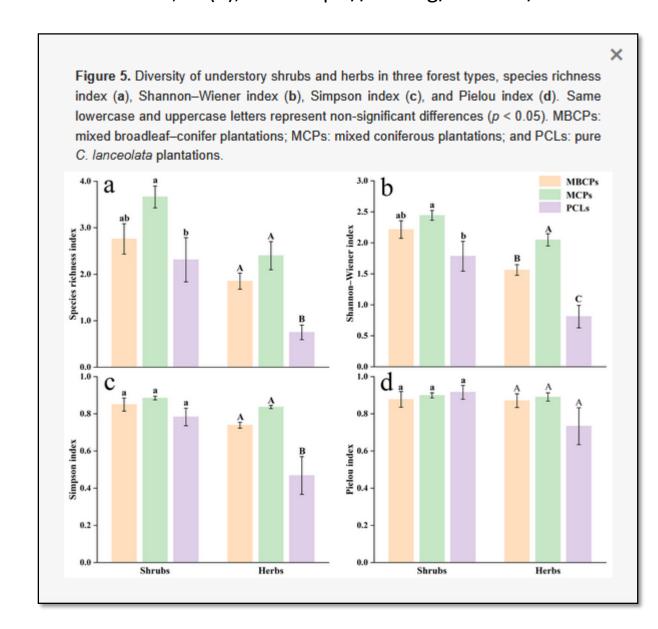




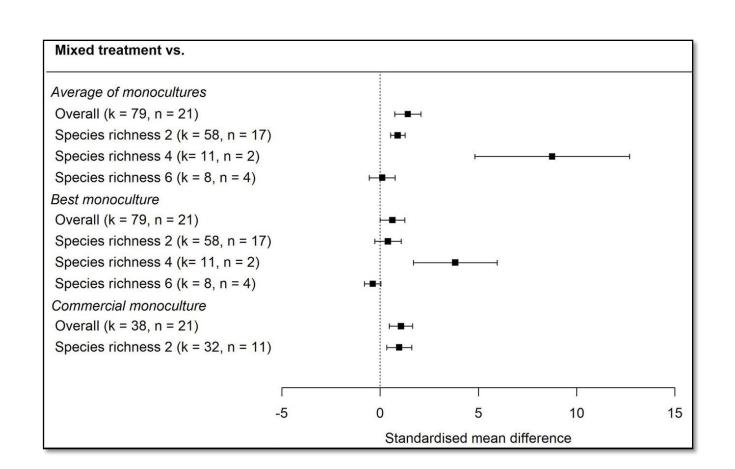
Quelques publications

Introduction

Qian, P., Han, Y., Li, X., & Jin, S. (2025). **Ecological Benefits and Structure of Mixed vs. Pure Forest Plantations in Subtropical China**. *Forests*, *16*(5), 738. https://doi.org/10.3390/f16050738

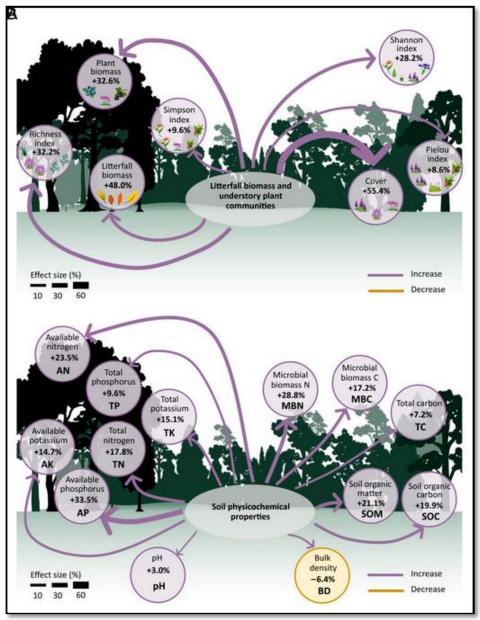


Warner E, Cook-Patton SC, Lewis OT, Brown N, Koricheva J, Eisenhauer N, Ferlian O, Gravel D, Hall JS, Jactel H, Mayoral C, Meredieu C, Messier C, Paquette A, Parker WC, Potvin C, Reich PB and Hector A (2023) Young mixed planted forests store more carbon than monocultures - a meta-analysis. Front. For. Glob. Change. 6:1226514. doi: 10.3389/ffgc.2023.1226514



Positive effects of species mixing on biodiversity of understory plant communities and soil health in forest plantations

<u>Jiahuan Guo ¹</u>, <u>Daniel Kneeshaw ²</u>, <u>Changhui</u> <u>Peng ² ³</u>, <u>Yaoxing Wu ⁴</u>, <u>Lei Feng ⁵</u>, <u>Xinjing Qu ⁶</u> , <u>Weifeng Wang ⁶</u>, <u>Chang Pan ⁷</u>, <u>Huili Feng ¹</u>











« Pour résumer »

Ce travail représente un premier effort de synthèse qui reste à poursuivre

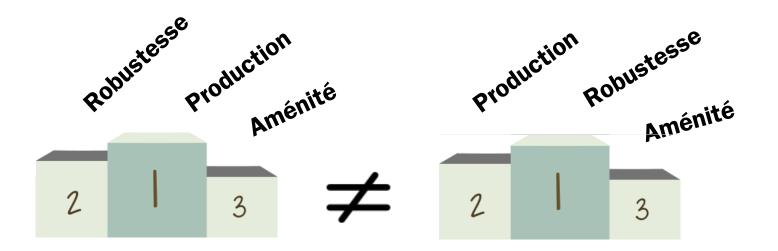
AUTECOLOGIE & CROISSANCE

Choix des essences nécessite une **approche multicritère :** autécologie, croissance mais aussi <u>risques sanitaires</u>

= diagnostic

Proximités autécologiques intéressantes, perspectives d'emploi

Tendre si possible vers un plus fort compromis entre Production, Robustesse, Aménités



PROPORTION & DESIGN

Pas de solution unique

Complément avec la régénération naturelle

Diversification permet de réduire le risque face aux aléas

A +4°C, les conditions auront changées depuis la plantation !

Le comportement et de l'intérêt de chaque essence doit être considéré afin d'adapter son utilisation

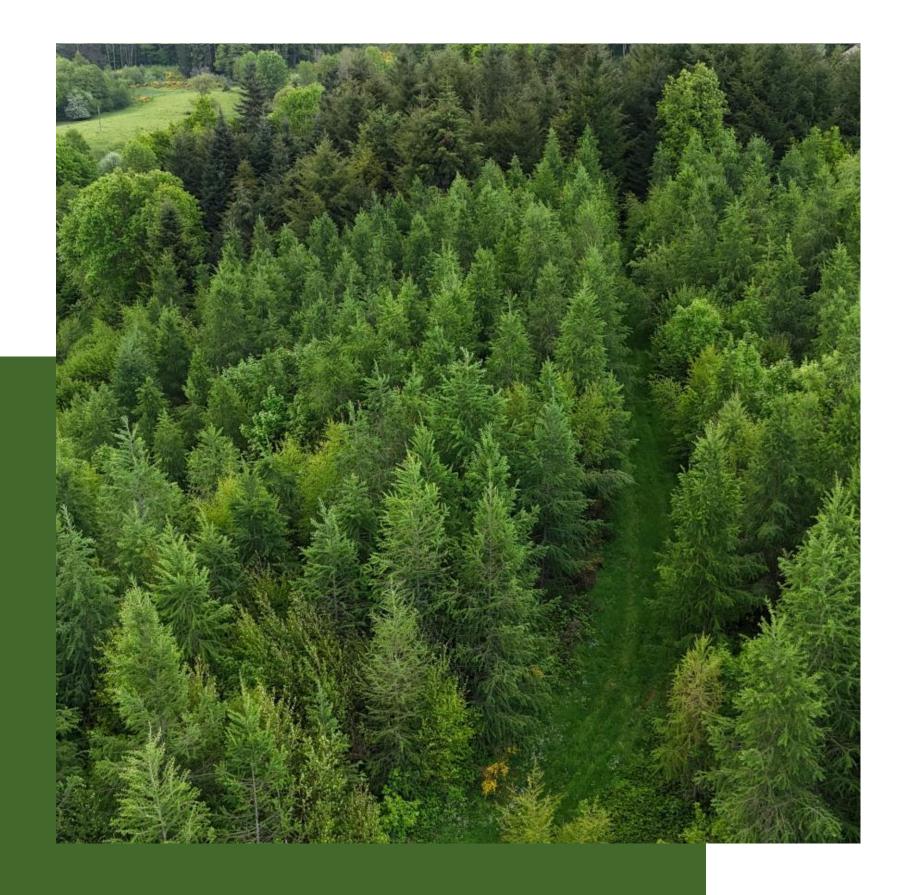
(Certaines essences répondent certainement plus à des enjeux de robustesse que de croissance)











Questions?

MERCI DE VOTRE ATTENTION!

#projet ENRICHIRR







