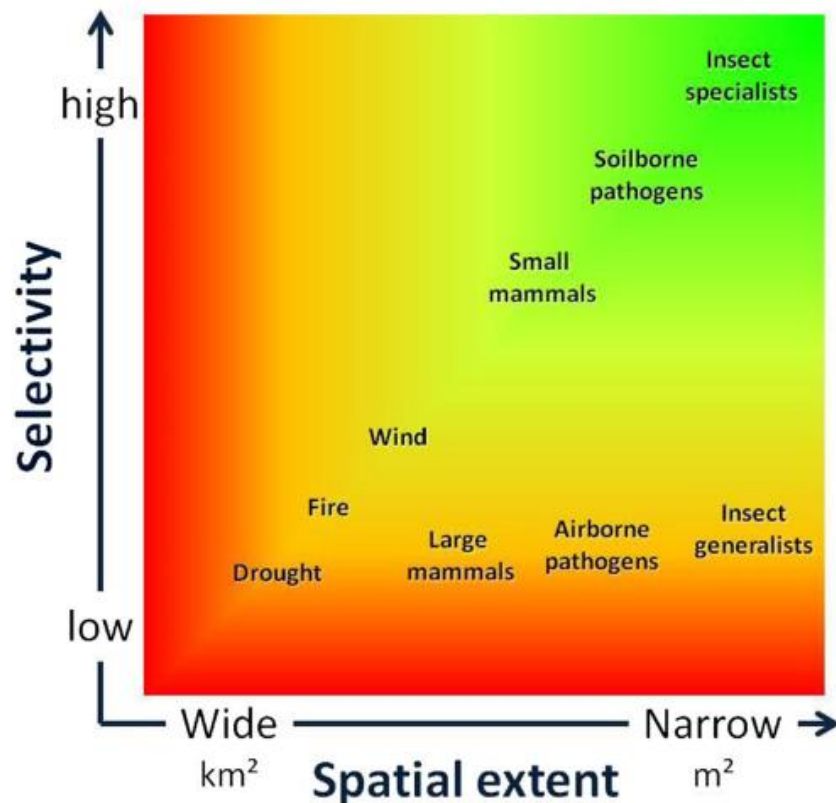


# ➤ Effet du mélange d'espèces sur la hauteur dominante : un impact de la hiérarchie verticale et des traits

Matthieu COMBAUD, Thomas CORDONNIER, Thomas PEROT, Xavier MORIN, Patrick VALLET

# ➤ Mélanger les espèces pour adapter les forêts aux changements climatiques

- Les forêts sont vulnérables face aux CC (mortalité, croissance)
- Le mélange peut réduire des vulnérabilités et créer des complémentarités
- Le mélange est mis en avant dans les politiques publiques



# ➤ Le mélange modifie l'accès aux ressources

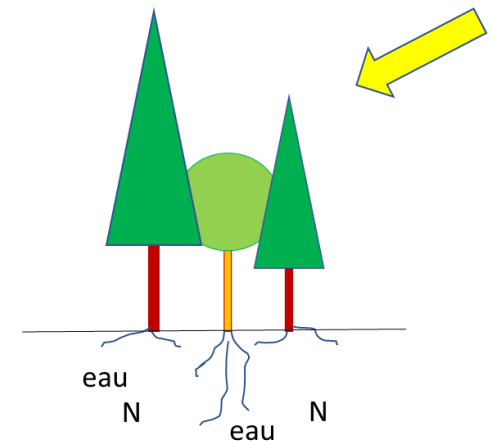
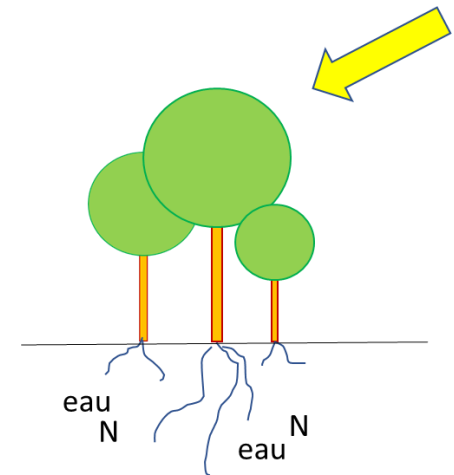
## Différences de traits

- compétition intraspécifique  $\neq$  interspécifique
- physiologies et phénologies différentes
- facilitation

## Ecart de hauteur influe sur

- l'accès à la lumière
- l'ambiance forestière

⇒ **Impact sur la croissance des espèces**



# ➤ Le mélange modifie l'accès aux ressources

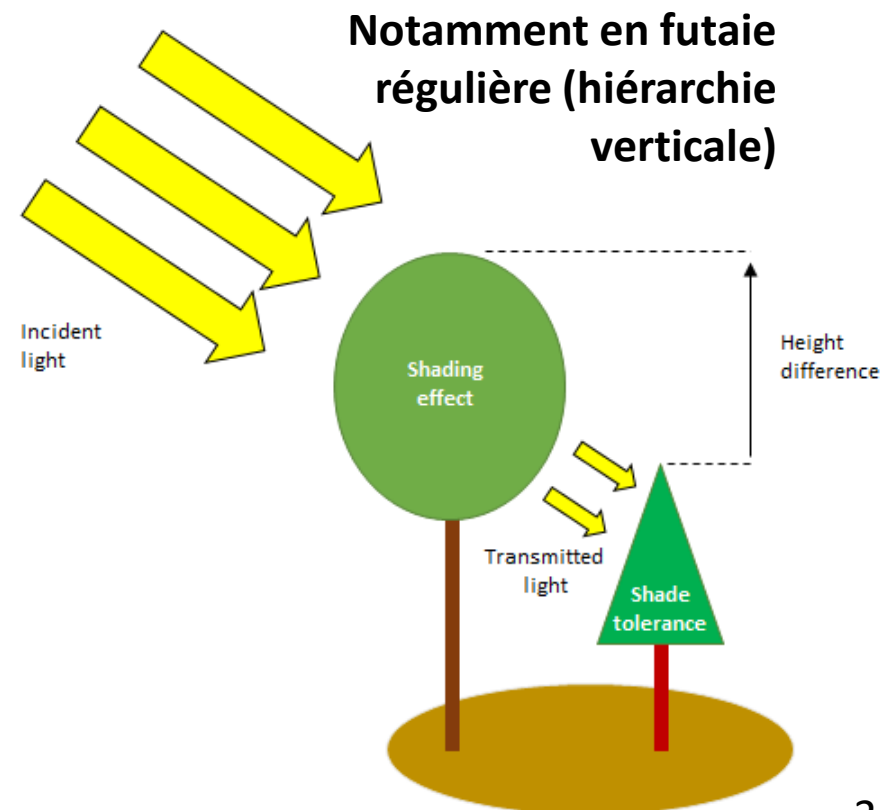
## Différences de traits

- compétition intraspécifique  $\neq$  interspécifique
- physiologies et phénologies différentes
- facilitation

## Ecart de hauteur influe sur

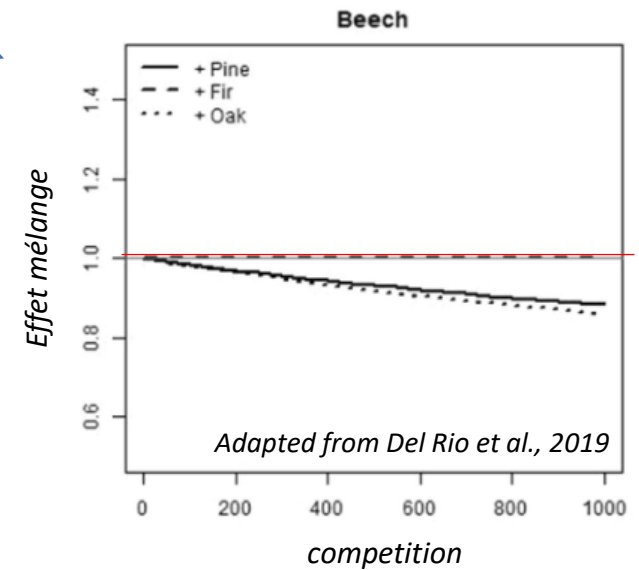
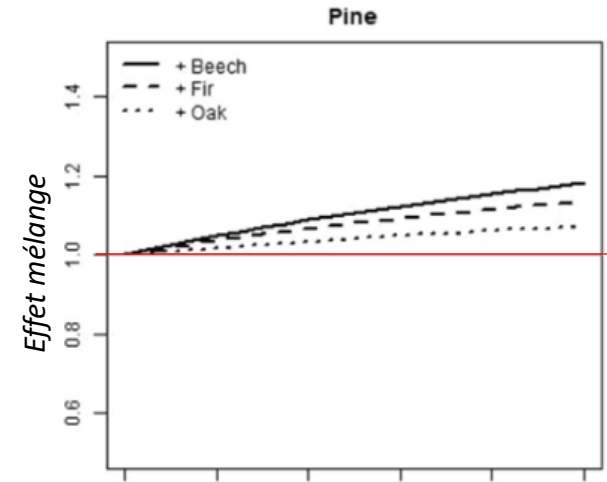
- **l'accès à la lumière**
- l'ambiance forestière

⇒ **Impact sur la croissance des espèces**

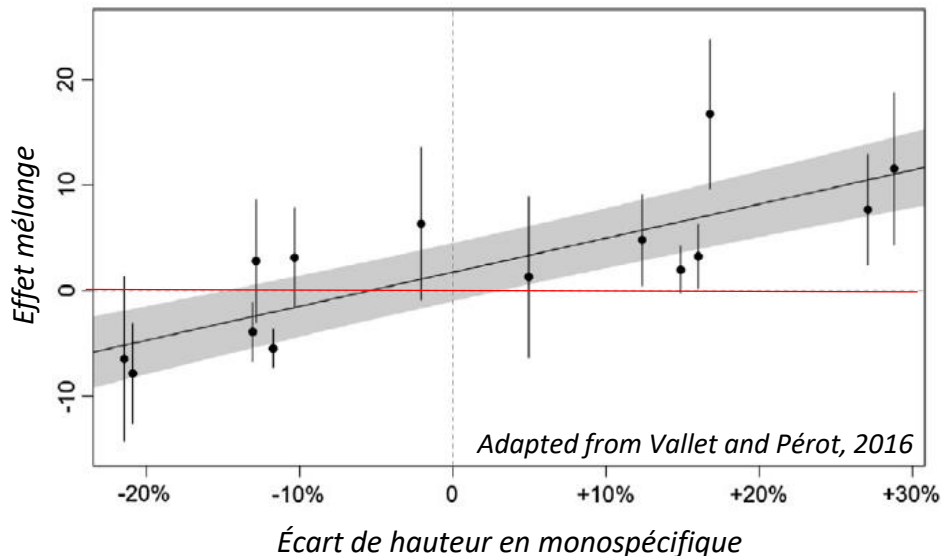


# ➤ Effet du mélange sur la croissance en hauteur

- Important à évaluer pour connaître l'accès à la lumière
- Impact de la tolérance à l'ombre
- Impact de l'écart de hauteur dominante entre espèces



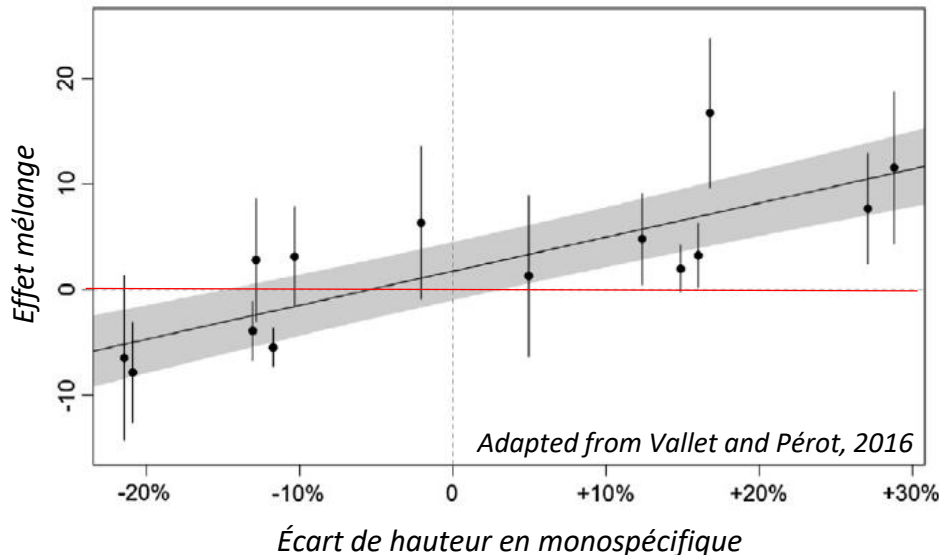
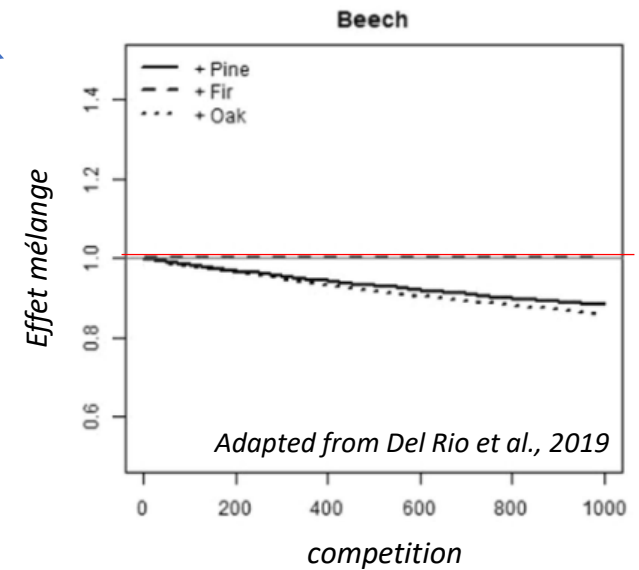
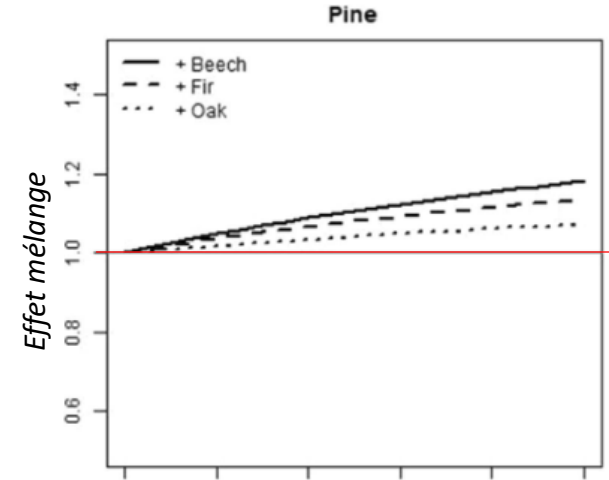
*Adapted from Del Rio et al., 2019*



*Adapted from Vallet and Pérot, 2016*

# ➤ Effet du mélange sur la croissance en hauteur

- Important à évaluer pour connaître l'accès à la lumière
- Impact de la tolérance à l'ombre
- Impact de l'écart de hauteur dominante entre espèces



⇒ Quel impact trait + écart de hauteur?

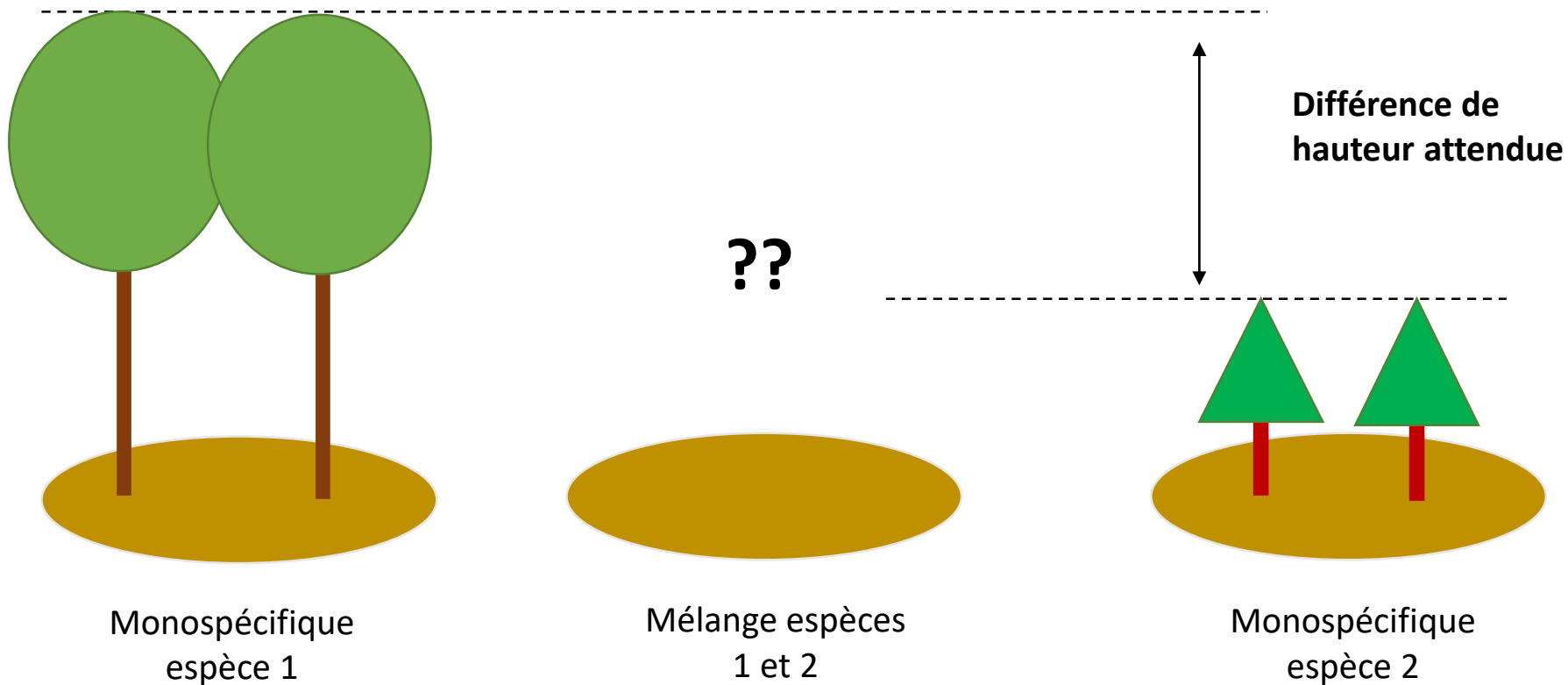
## ➤ Question de recherche et hypothèses

- ⇒ **Quel effet du mélange sur la hauteur dominante en futaie régulière ?**
- ⇒ **Quelle influence de l'écart de hauteur attendue et des traits sur l'effet du mélange?**



## ➤ Question de recherche et hypothèses

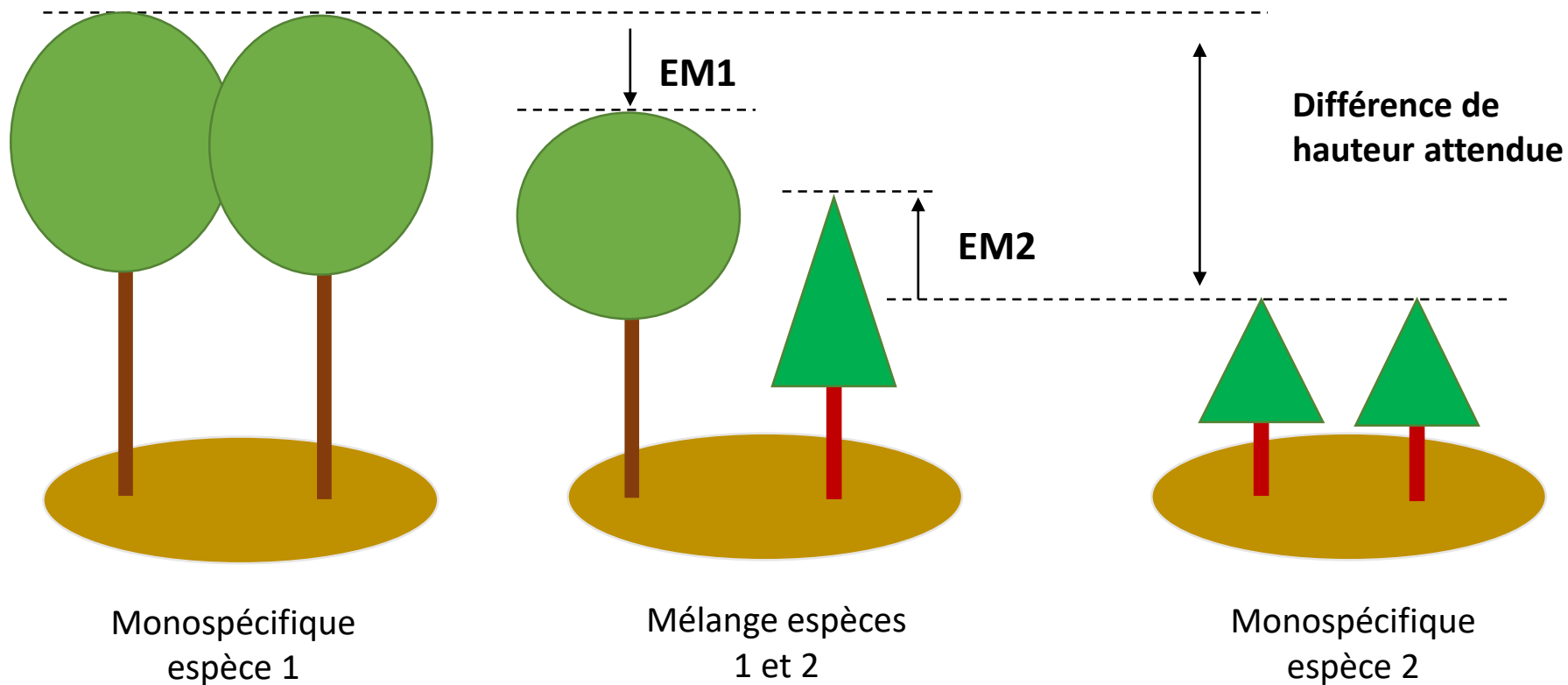
- ⇒ Quel effet du mélange sur la hauteur dominante en futaie régulière ?
- ⇒ Quelle influence de l'écart de hauteur attendue et des traits sur l'effet du mélange ?



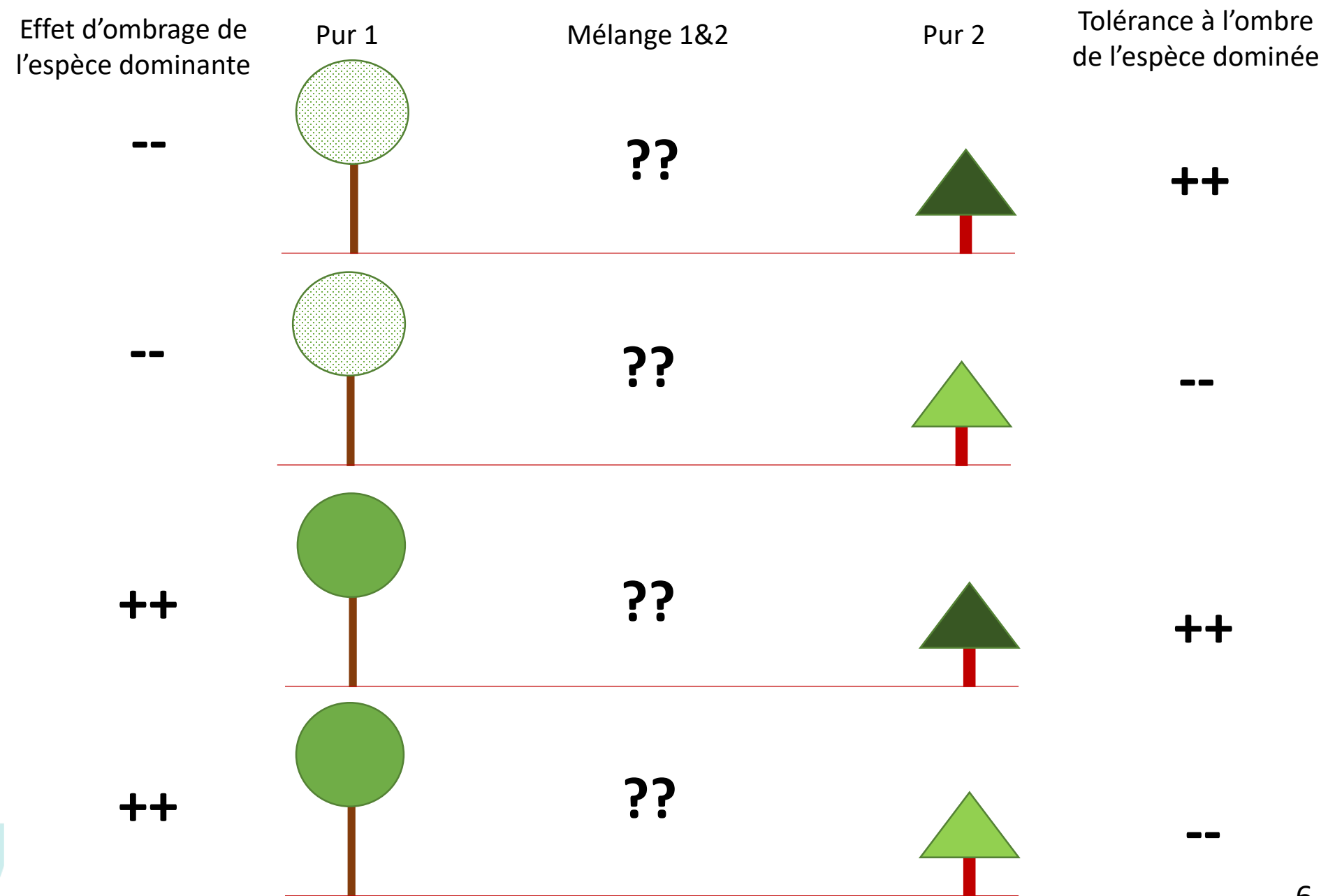


## ➤ Question de recherche et hypothèses

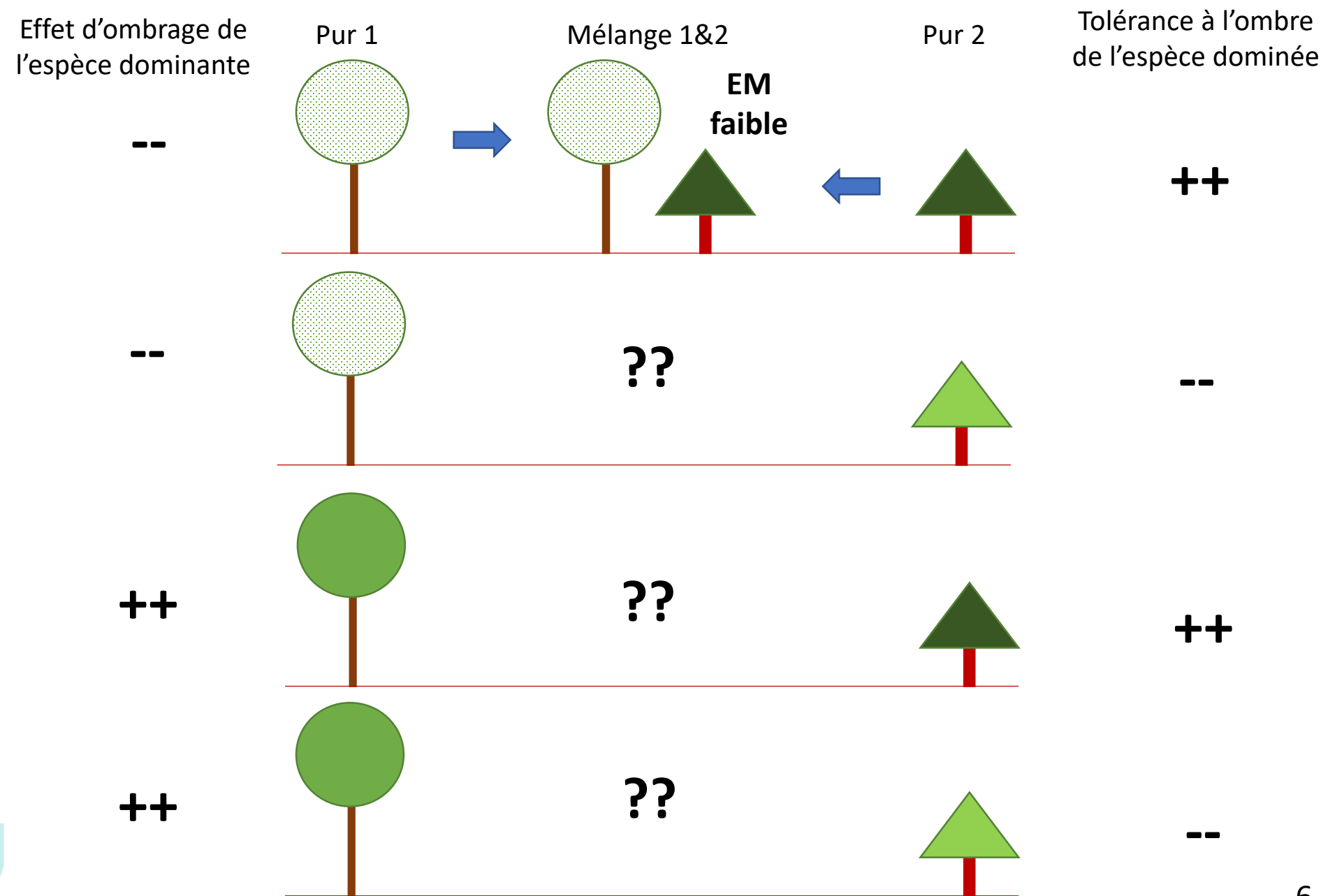
- ⇒ Quel effet du mélange sur la hauteur dominante en futaie régulière ?
- ⇒ Quelle influence de l'écart de hauteur attendue et des traits sur l'effet du mélange ?



# ➤ Hypothèses sur l'impact de la tolérance à l'ombre et de l'effet d'ombrage



# ➤ Hypothèses sur l'impact de la tolérance à l'ombre et de l'effet d'ombrage



# ➤ Hypothèses sur l'impact de la tolérance à l'ombre et de l'effet d'ombrage

Effet d'ombrage de l'espèce dominante

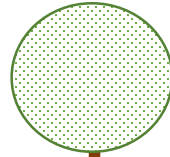
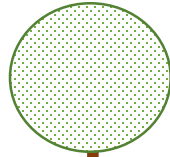
Pur 1

Mélange 1&2

Pur 2

Tolérance à l'ombre de l'espèce dominée

--

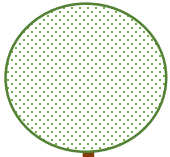
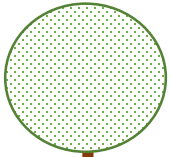


EM faible



++

--

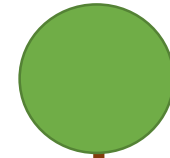
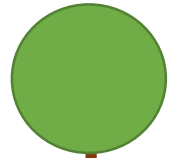


EM moyen



--

++

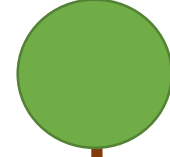
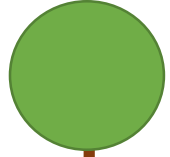


EM moyen



++

++



EM fort



--

## ➤ Cadre de l'étude

- France métropolitaine et Corse
- 20 espèces
- Futaie régulière
- Mélanges à deux espèces pied à pied
- Prise en compte de
  - Écart de hauteur dominante attendue
  - Compétition pour la lumière



# ➤ Méthode – Données

## Dendrométrie (données IFN France)

Critères pour de sélection des mélanges :

- Taux de couvert et surface terrière dans l'étage dominant
- $RDI \geq 0,5$
- Disponibilité de mesures d'âge

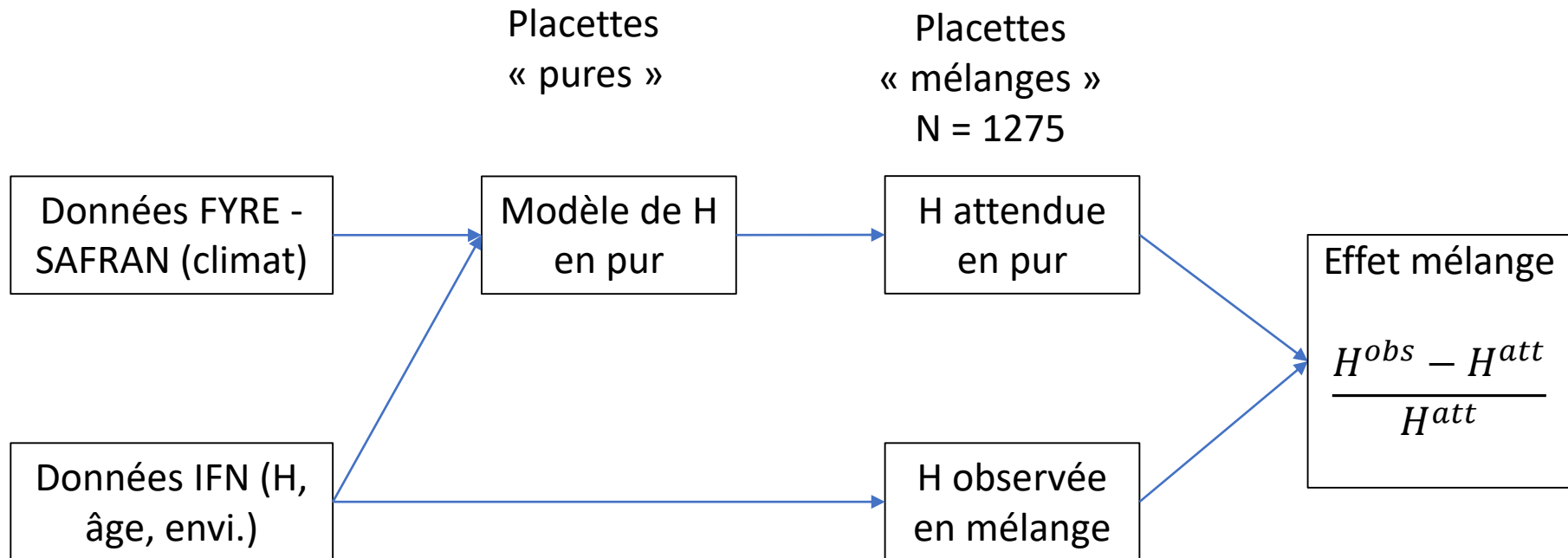
=> 1275 placettes, 87 couples d'espèces, 176 combinaison focale / compagne

## Traits

- Tolérance à l'ombre ( $\approx$  capacité de développement à l'ombre et effet d'ombrage)
- Surface foliaire spécifique (SLA) ( $\approx$  effet d'ombrage)
- Densité du bois



## ➤ Méthode – Calcul de l'effet du mélange



Modèle en peuplement pur :  $H(t) = f(\text{environnement passé, espèce})$

## ➤ Méthode – Sélection de variable et calibration

*Effet mélange ~*

*différence de hauteur attendue +  
trait de l'espèce focale +  
trait de l'espèce compagne +  
gymno / angio +  
interactions +  
contrôles*

Une sélection de modèle par trait

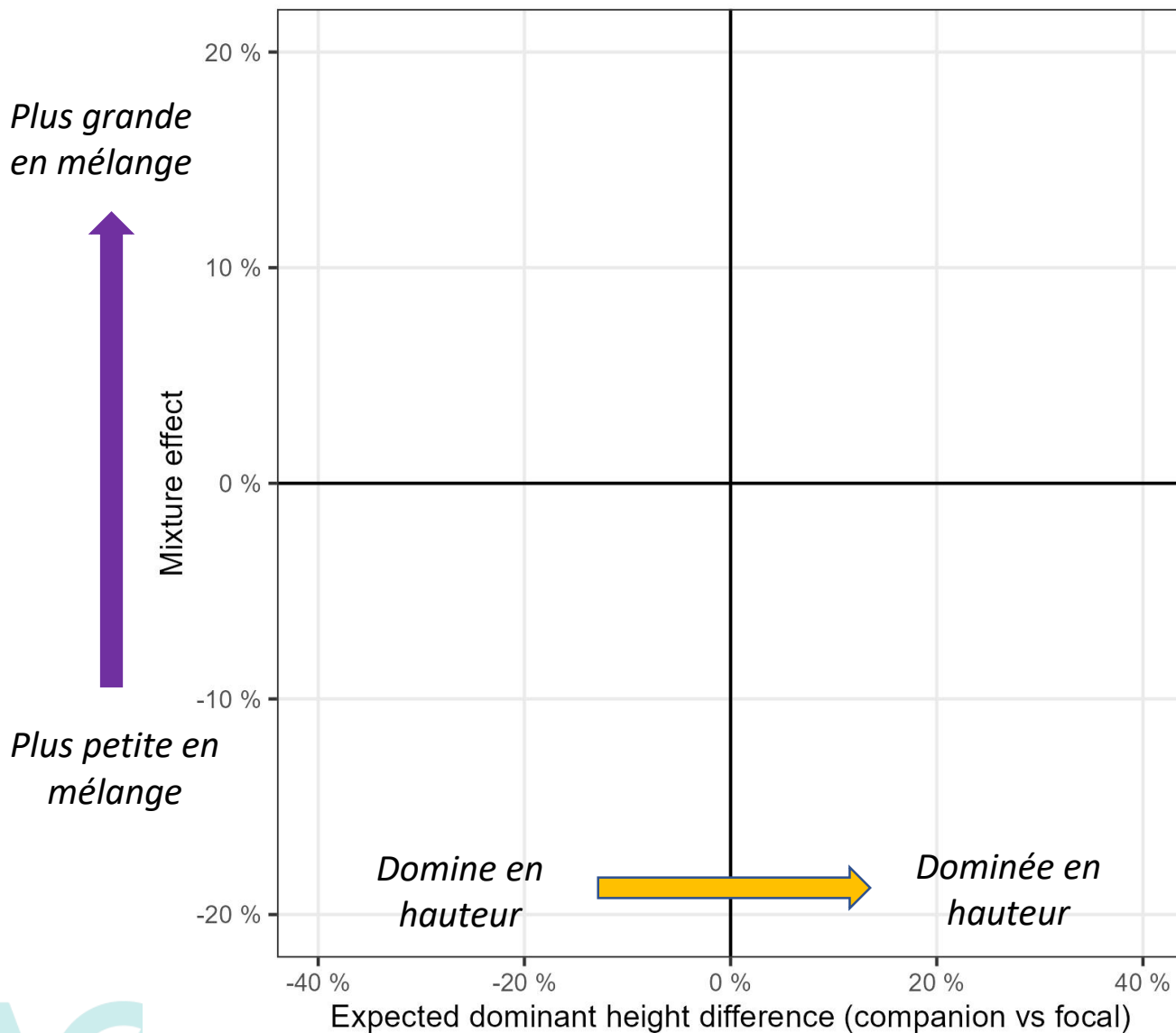
- Sélection de variables sur cinq sous-échantillons
- Modèle final intégrant les variables consensuelles







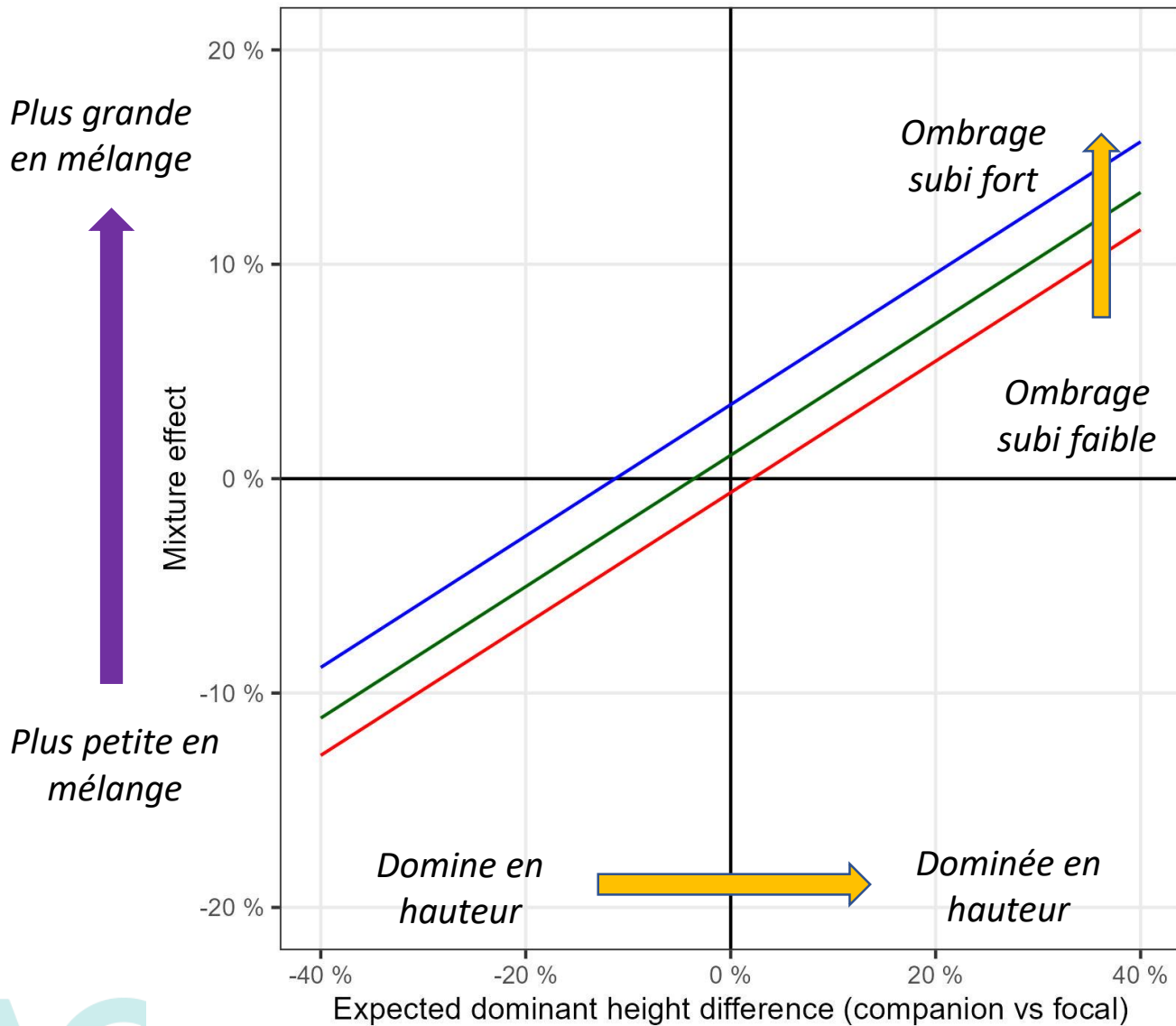
## ➤ Déterminants de l'effet mélange



Effet du mélange sur la hauteur dominante

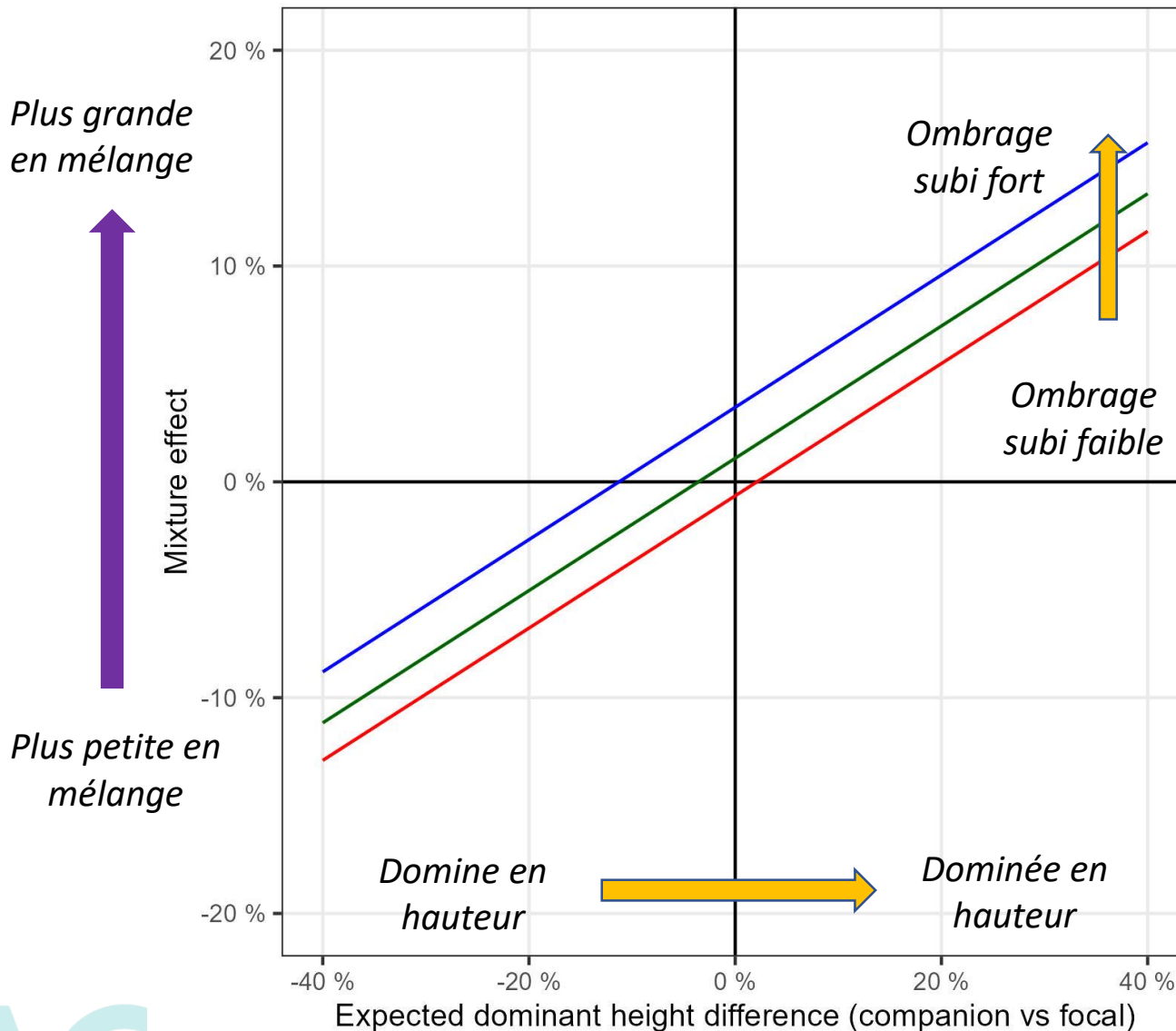
FOREM – avril 2024

# ➤ Déterminants de l'effet mélange



Shade tolerance of the companion species — 1.3 — 2.7 — 4.6

## ➤ Déterminants de l'effet mélange



### Importance de la compétition pour la lumière

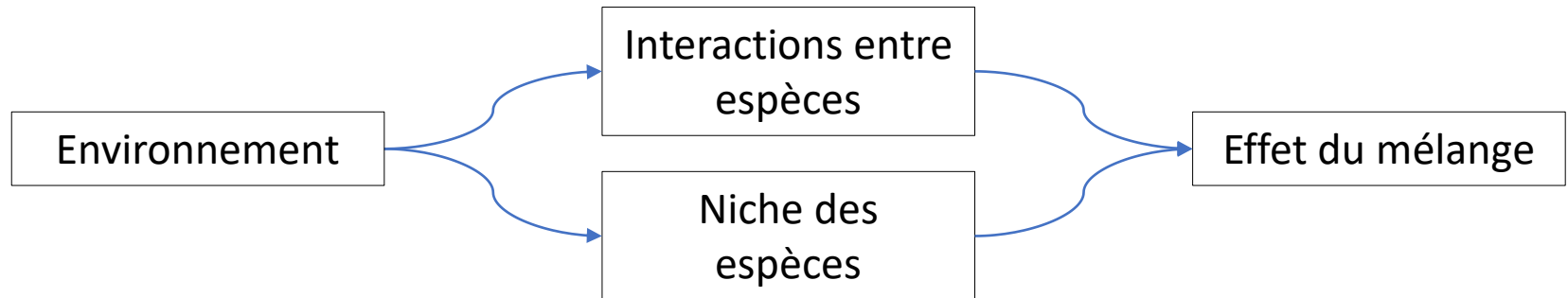
- Compensation du différentiel
- Stimulation par l'effet d'ombrage de l'espèce dominante en hauteur

### Pas d'effet net des autres traits / interactions

Shade tolerance of the companion species — 1.3 — 2.7 — 4.6

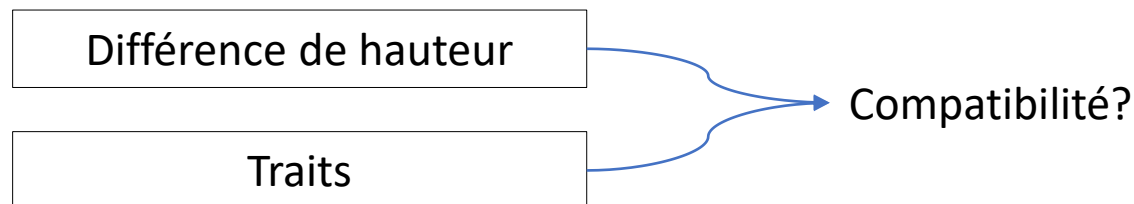
# > Perspectives

## Intégrer l'environnement



## Penser la diversification à partir des traits

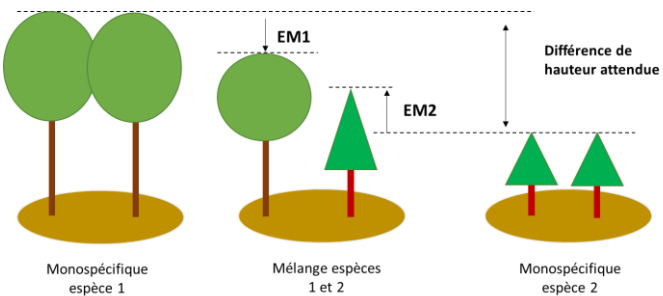
- anticiper la dynamique en hauteur
- anticiper la compatibilité des mélanges



# ➤ A retenir



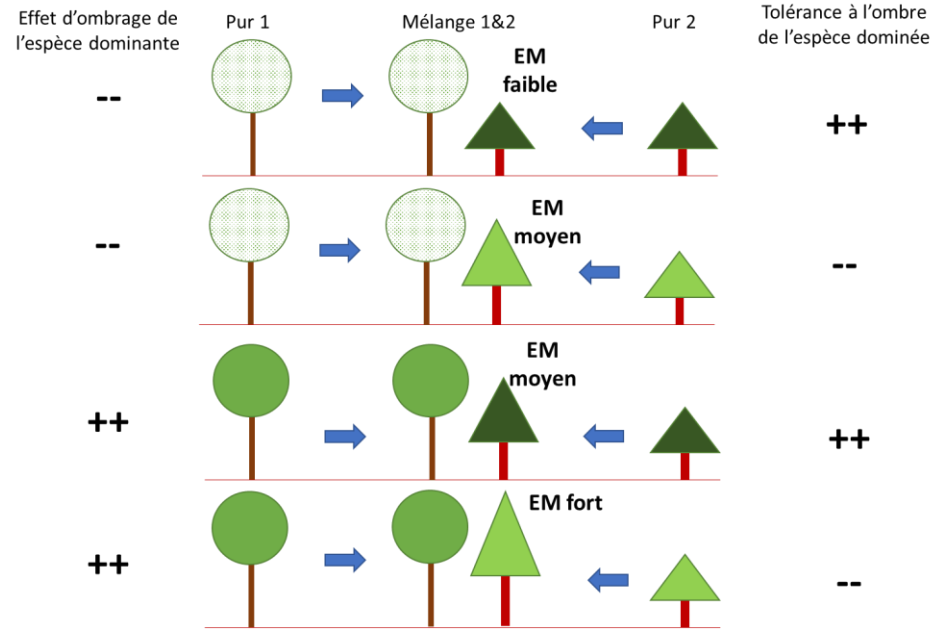
Impact positif du différentiel de hauteur



Impact positif de l'ombrage de l'espèce compagne



Pas d'impact de la tolérance à l'ombre de l'espèce focale



INRAE

Effet du mélange sur la hauteur dominante  
FOREM – avril 2024

➤ **Merci pour votre attention !**



**INRAE**

Effet du mélange sur la hauteur dominante

FOREM – avril 2024

## > Références

Carmona, Carlos P., C. Guillermo Bueno, Aurele Toussaint, Sabrina Träger, Sandra Díaz, Mari Moora, Alison D. Munson, et al. 2021. « Fine-Root Traits in the Global Spectrum of Plant Form and Function ». *Nature* 597(7878): 683-87. doi:[10.1038/s41586-021-03871-y](https://doi.org/10.1038/s41586-021-03871-y).

Combaud, Matthieu, Thomas Cordonnier, Sylvain Dupire, et Patrick Vallet. 2024. « Climate change altered the dynamics of stand dominant height in forests during the past century – Analysis of 20 European tree species ». *Forest Ecology and Management* 553: 121601. doi:[10.1016/j.foreco.2023.121601](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121601).

del Río, Miren, Andrés Bravo-Oviedo, Ricardo Ruiz-Peinado, et Sonia Condés. 2019. « Tree Allometry Variation in Response to Intra- and Inter-Specific Competitions ». *Trees* 33(1): 121-38. doi:[10.1007/s00468-018-1763-3](https://doi.org/10.1007/s00468-018-1763-3).

Jactel, Hervé, Jürgen Bauhus, Johanna Boberg, Damien Bonal, Bastien Castagneyrol, Barry Gardiner, Jose Ramon Gonzalez-Olabarria, et al. 2017. « Tree Diversity Drives Forest Stand Resistance to Natural Disturbances ». *Current Forestry Reports* 3(3): 223-43. doi:[10.1007/s40725-017-0064-1](https://doi.org/10.1007/s40725-017-0064-1).

Leban, Jean-Michel, Maxime Lacarin, Baptiste Kerfriden, Philippe Jacquin, Amélie Taupin, Charline Mola, Cédric Duprez, et al. 2022. « Wood Basic Density for 156 tree forest species-V2 ». doi:[10.57745/ZNFO7T](https://doi.org/10.57745/ZNFO7T).

Niinemets, Ülo, et Fernando Valladares. 2006. « Tolerance to Shade, Drought, and Waterlogging of Temperate Northern Hemisphere Trees and Shrubs ». *Ecological Monographs* 76(4): 521-47. doi:[10.1890/0012-9615\(2006\)076\[0521:TTSDAW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(2006)076[0521:TTSDAW]2.0.CO;2).

Petrovska, Roksolana, Peter Brang, Arthur Gessler, Harald Bugmann, et Martina Lena Hobi. 2021. « Grow Slowly, Persist, Dominate— Explaining Beech Dominance in a Primeval Forest ». *Ecology and Evolution* 11(15): 10077-89. doi:[10.1002/ece3.7800](https://doi.org/10.1002/ece3.7800).

Pretzsch, Hans, David I. Forrester, et Jürgen Bauhus, éd. 2017. *Mixed-Species Forests*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. doi:[10.1007/978-3-662-54553-9](https://doi.org/10.1007/978-3-662-54553-9).

Vallet, Patrick, et Thomas Perot. 2016. « Tree diversity effect on dominant height in temperate forest ». *Forest Ecology and Management* 381: 106-14. doi:[10.1016/j.foreco.2016.09.024](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.024).



**INRAE**

Effet du mélange sur la hauteur dominante

FOREM – avril 2024

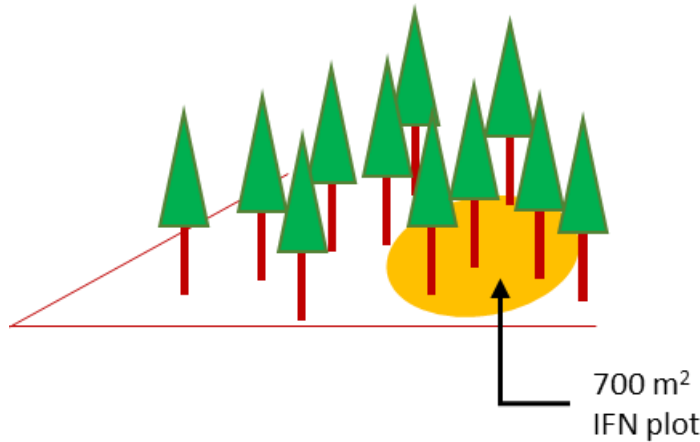


## ➤ Annexe – espèces considérées

<i>Abies alba</i> Mill., 1768
<i>Betula pendula</i> Roth, 1788
<i>Carpinus betulus</i> L., 1753
<i>Castanea sativa</i> Mill., 1768
<i>Fagus sylvatica</i> L., 1753
<i>Fraxinus excelsior</i> L., 1753
<i>Larix decidua</i> subsp. <i>decidua</i> Mill., 1768
<i>Picea abies</i> subsp. <i>abies</i> (L.) H.Karst., 1881
<i>Picea sitchensis</i> (Bong.) Carrière, 1855
<i>Pinus halepensis</i> Mill., 1768
<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>nigra</i> J.F.Arnold, 1785
<i>Pinus nigra</i> var. <i>corsicana</i> (Loudon) Hyl., 1913
<i>Pinus pinaster</i> subsp. <i>pinaster</i> Aiton, 1789
<i>Pinus sylvestris</i> L., 1753
<i>Pseudotsuga menziesii</i> (Mirb.) Franco, 1950
<i>Quercus petraea</i> subsp. <i>petraea</i> (Matt.) Liebl., 1784
<i>Quercus pubescens</i> Willd., 1805
<i>Quercus robur</i> var. <i>robur</i> L., 1753
<i>Quercus rubra</i> L., 1753
<i>Robinia pseudoacacia</i> L., 1753

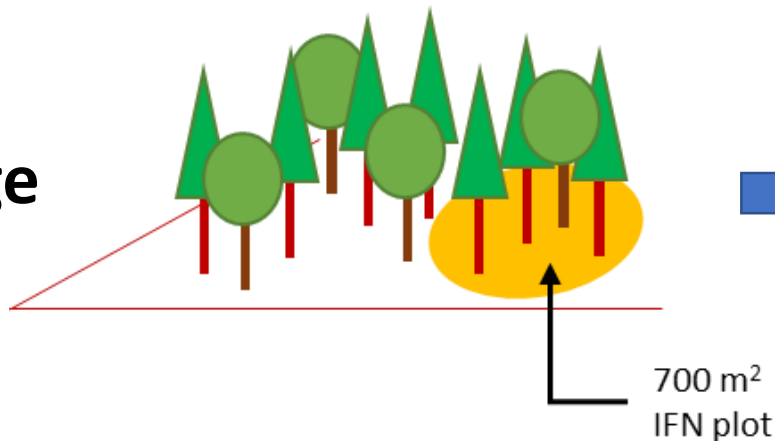
## ➤ Méthode – Hauteur dominante par espèce via l'IFN

**Pur**



Hauteur moyenne des 6 plus gros arbres sur 700 m<sup>2</sup>

**Mélange**



Hauteur moyenne des arbres de l'espèce parmi les 6 plus gros arbres sur 700 m<sup>2</sup>



Hauteur de l'arbre de l'espèce mesuré parmi les 6 plus gros arbres sur 700 m<sup>2</sup>



**INRAE**

Effet du mélange sur la hauteur dominante

FOREM – avril 2024

## ➤ Résultats – modèle de l'effet du mélange

Variable	Value	Std.Error	DF	t-value	p-value
(Intercept)	0.020	0.004	1,274.000	5.025	0.000
delta.Hp_pred	0.055	0.002	1,273.000	26.939	0.000
st.comp	0.012	0.003	1,273.000	4.514	0.000





**INRAE**

Effet du mélange sur la hauteur dominante

FOREM – avril 2024