

Tolérance physiologique au gel et à la sécheresse, et lien avec la distribution de 35 espèces d'arbre en Europe

FOREM – 10-05-2023

Anne Baranger



La Région
Auvergne-Rhône-Alpes





INTRODUCTION



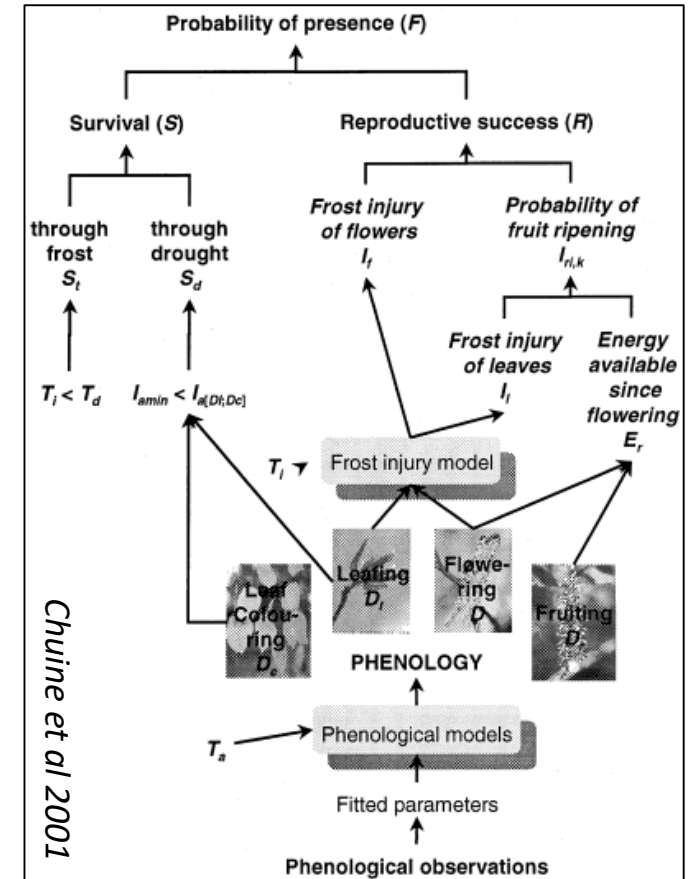
Modéliser la distribution des espèces : approche mécaniste ou corrélative?

Modèles corrélatifs de distribution d'espèce:

- Application simple, rapide.
- Hypothèse d'équilibre des espèces¹

Approche basées sur les processus :

- Description de la physiologie de la plante pour inférer sa fitness
- Transférable dans des conditions climatiques nouvelles
- Complicé à calibrer, paramètres nombreux

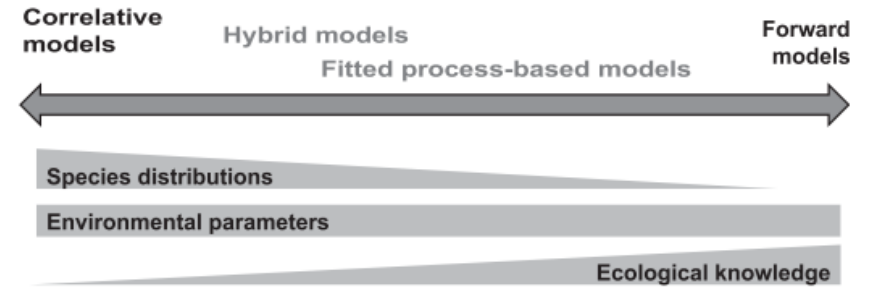




Réunir approche mécaniste et corrélative?

Dormann et al 2012 : adopter des approches intermédiaires

- Calibration inverse
- Processus démographiques dans SDM¹



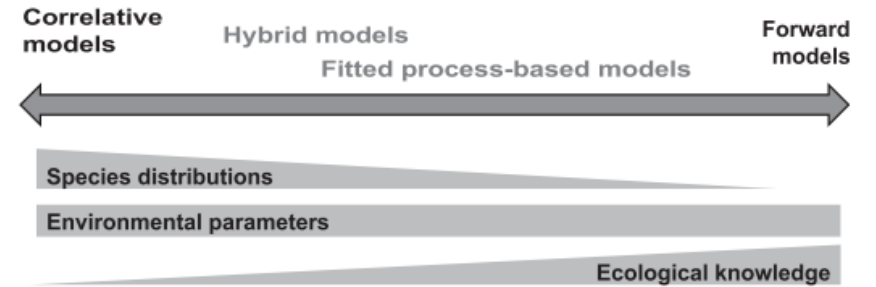
Calibration de modèle corrélatif dans un espace de stress physiologique



Réunir approche mécaniste et corrélative?

Dormann et al 2012 : adopter des approches intermédiaires

- Calibration inverse
- Processus démographiques dans SDM¹



Calibration de modèle corrélatif dans un espace de stress physiologique

Gel & sécheresse = contraintes majeures limitant la distribution des espèces



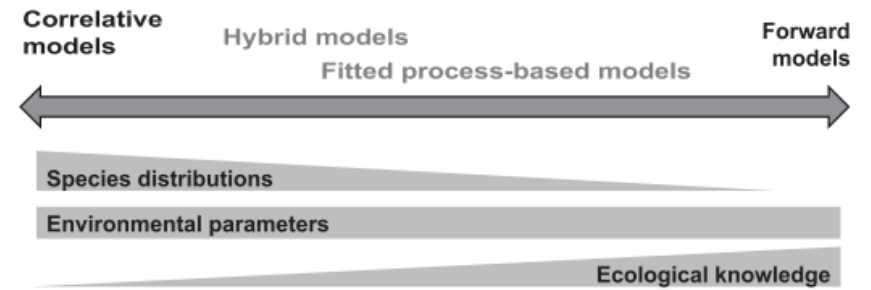
¹ Engler et al 2009



Réunir approche mécaniste et corrélative?

Dormann et al 2012 : adopter des approches intermédiaires

- Calibration inverse
- Processus démographiques dans SDM¹



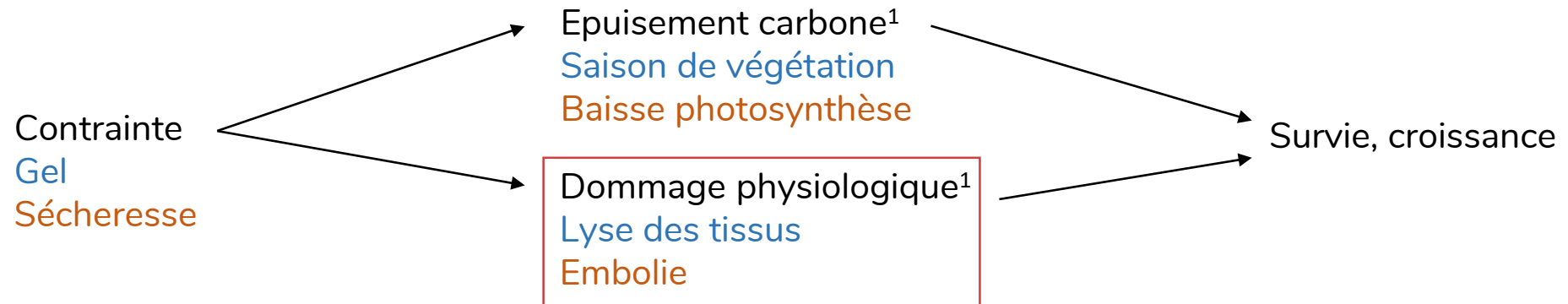
Calibration de modèle corrélatif dans un espace de stress physiologique

Gel & sécheresse = contraintes majeures limitant la distribution des espèces

Marge de sécurité : distance entre le stress physiologique et le seuil de tolérance de la plante

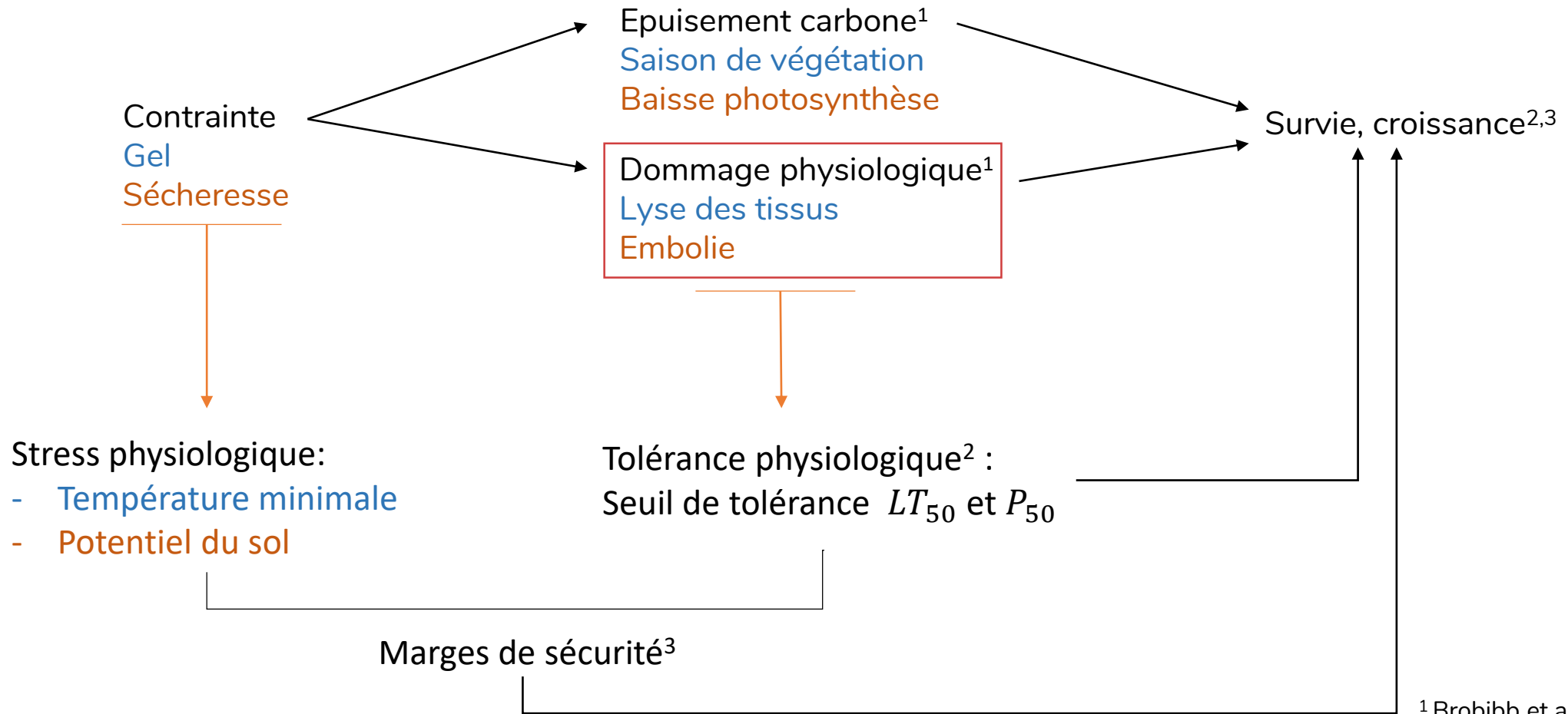


Les contraintes gel et sécheresse





Les contraintes gel et sécheresse



¹ Brobidd et al 2009, 2010

² Angeregg et al 2016; Timmis et al 1994

³ Benito-Garzon et al 2018; Lenz et al 2013



HYPOTHÈSES

Objectif: combiner des marges de sécurité au gel et à la sécheresse dans un modèle de distribution pour 35 espèces d'arbres européennes

Hypothèse 1 : Les variables physiologiques capturent le stress subi par la plante et expliquent mieux la variabilité inter-spécifique du LT_{50} et du P_{50} que les variables climatiques classiques

Hypothèse 2 : le franchissement des seuils de tolérance entraîne une chute drastique et non linéaire de la probabilité de présence.

Hypothèse 3: les espèces subissant peu de compétition sont plus susceptibles de voir leur distribution directement limitée par la physiologie

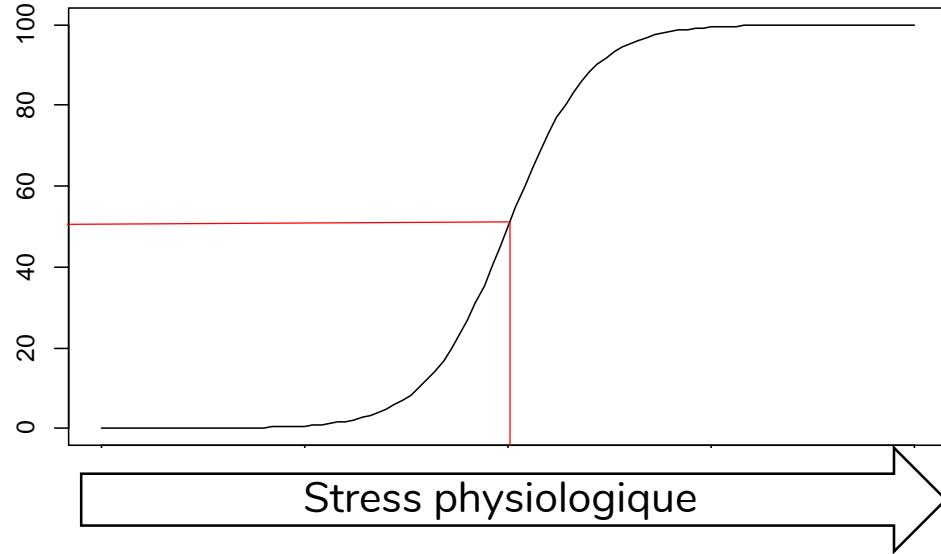


MÉTHODES

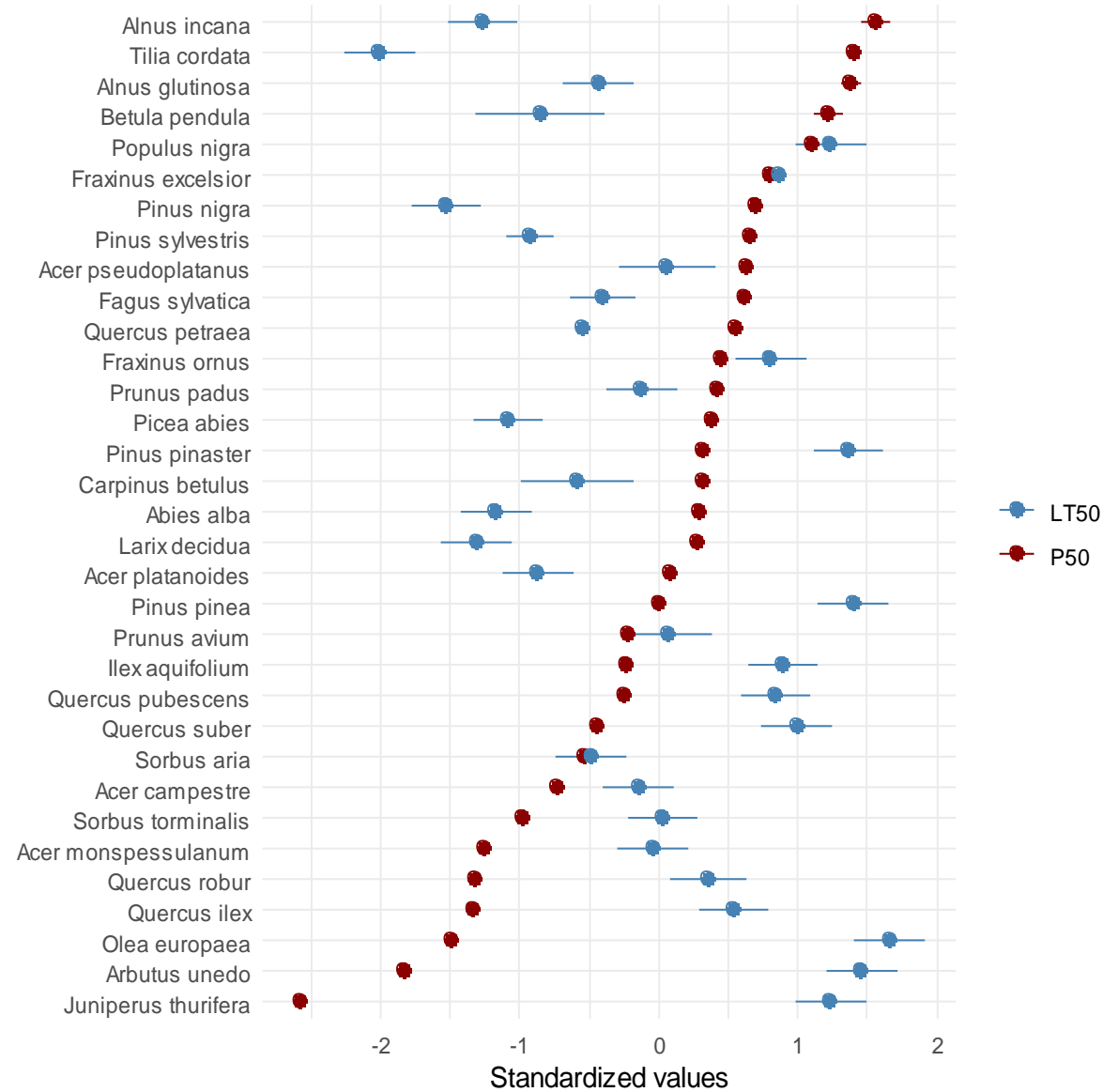


Traits de tolérance

Seuil de résistance critique :



- Gel¹ : 50% de lyse cellulaire, LT_{50}
- Sécheresse^{2,3} : 50 (gymnospermes) ou 88 % (angiospermes) d'embolie, P_{50} / P_{88}
- Adulte, branches



¹ Charrier et al *Unpub*
² Brobidd et al 2009; Choat et al 2013
³ Martin-StPaul et al 2017



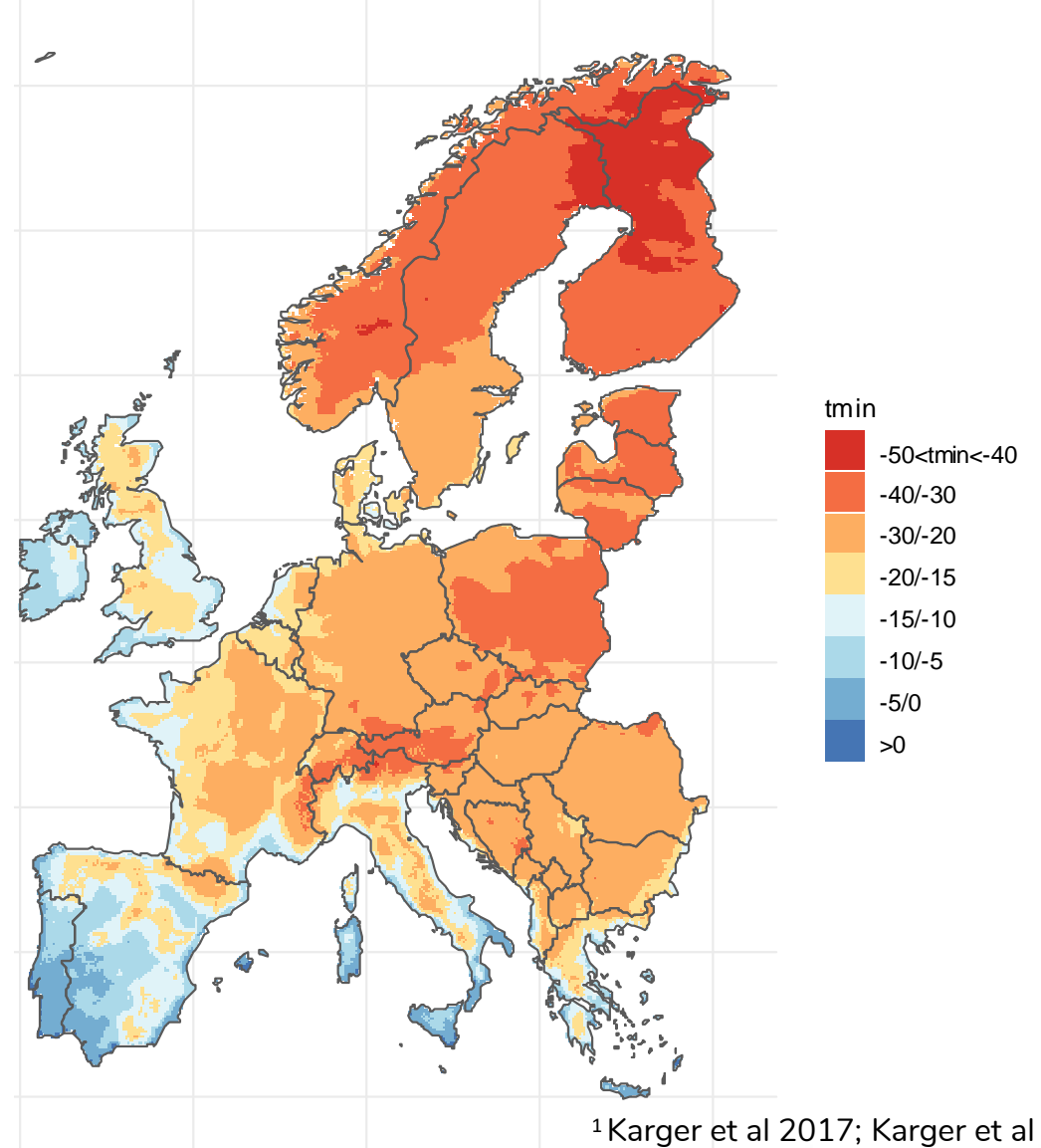
Stress physiologique

Marge de sécurité (MS)

$$MS[stress]_i = max[stress]_i - stress_{crit}$$

Température minimale

- CORDEX EUR11¹ :
 - série temporelle journalière de température minimale
 - 1981-2005
 - 1x1km
- Minimum des quantiles mensuels à 5%



¹Karger et al 2017; Karger et al 2020



Stress physiologique

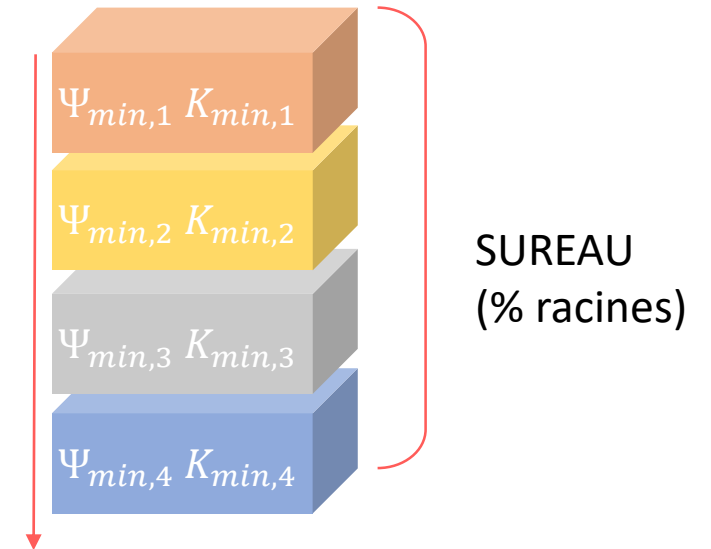
Potentiel minimum du sol:

- Série temporelle journalière d'humidité du sol
 - ERA5-land¹
 - 1950-2022
 - 9x9km
- Profondeur du sol
 - ESDAC²
 - 1x1km
- Paramètres hydrauliques
 - 3D soil hydraulic database³
 - 1x1km

Equation de Van Genuchten:

$$\Psi_{\min} = \left(\left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right)^{1/m} - 1 \right)^{1/n} * \frac{1}{\alpha}$$

Intégration des différents horizons par le module racinaire de SUREAU⁴:



¹Munoz-sabater et al 2021

²Hiederer et al 2013

³Toth et al 2013; Toth et al 2017

⁴Martin-StPaul et al 2017



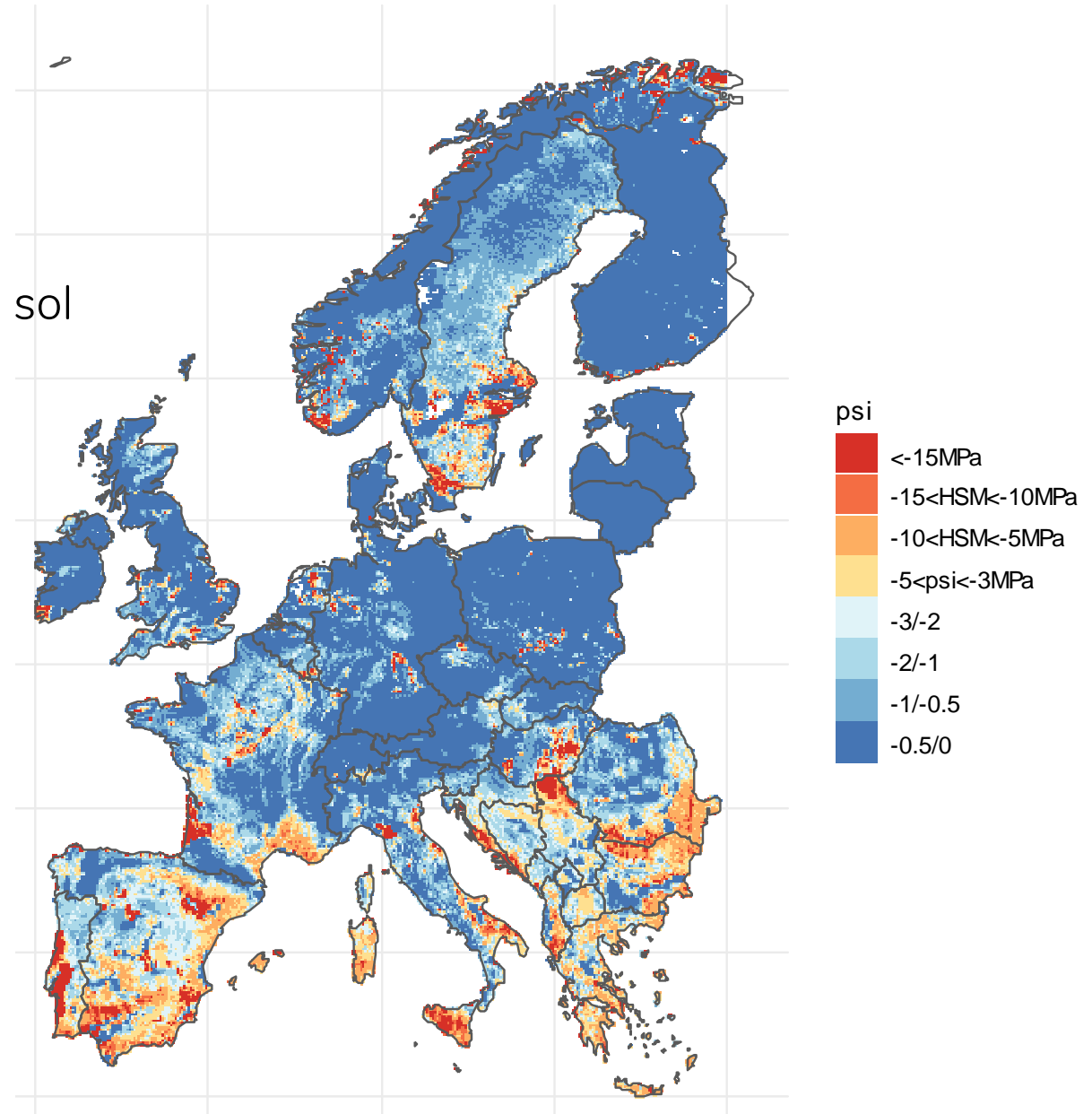
Stress physiologique

Potentiel minimum du sol:

- Série temporelle journalière d'humidité du sol
 - ERA5-land¹
 - 1950-2022
 - 9x9km
- Profondeur du sol
 - ESDAC²
 - 1x1km
- Paramètres hydrauliques
 - 3D soil hydraulic database³
 - 1x1km

Equation de Van Genuchten:

$$\Psi_{\min} = \left(\left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\theta - \theta_r} \right)^{1/m} - 1 \right)^{1/n} * \frac{1}{\alpha}$$



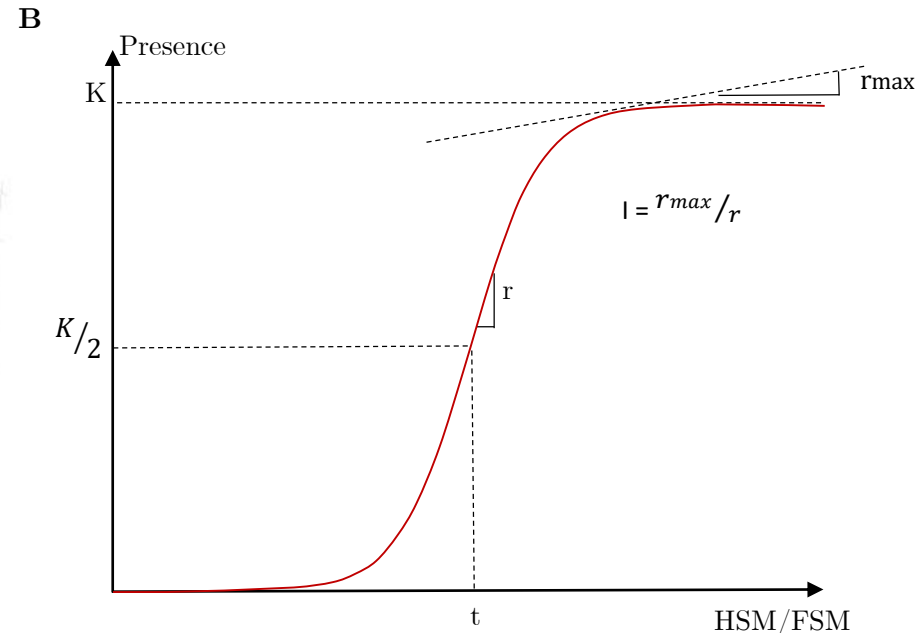
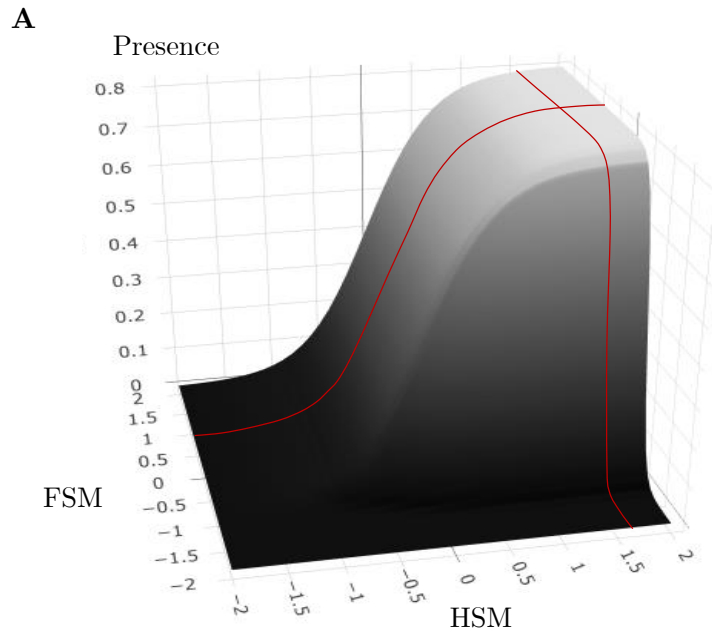


Modèle de distribution bivarié

Enjeu de la forme du modèle : capter la baisse de la probabilité de présence lors du franchissement des seuils de tolérance.

$$Y_{i,s} \sim B(p_{i,s})$$

$$p_{i,s} = \frac{K_s}{(1 + e^{-r_{fsm,s} * (FSM_{i,s} - t_{fsm,s})}) * (1 + e^{-r_{hsm,s} * (HSM_{i,s} - t_{hsm,s})})}$$





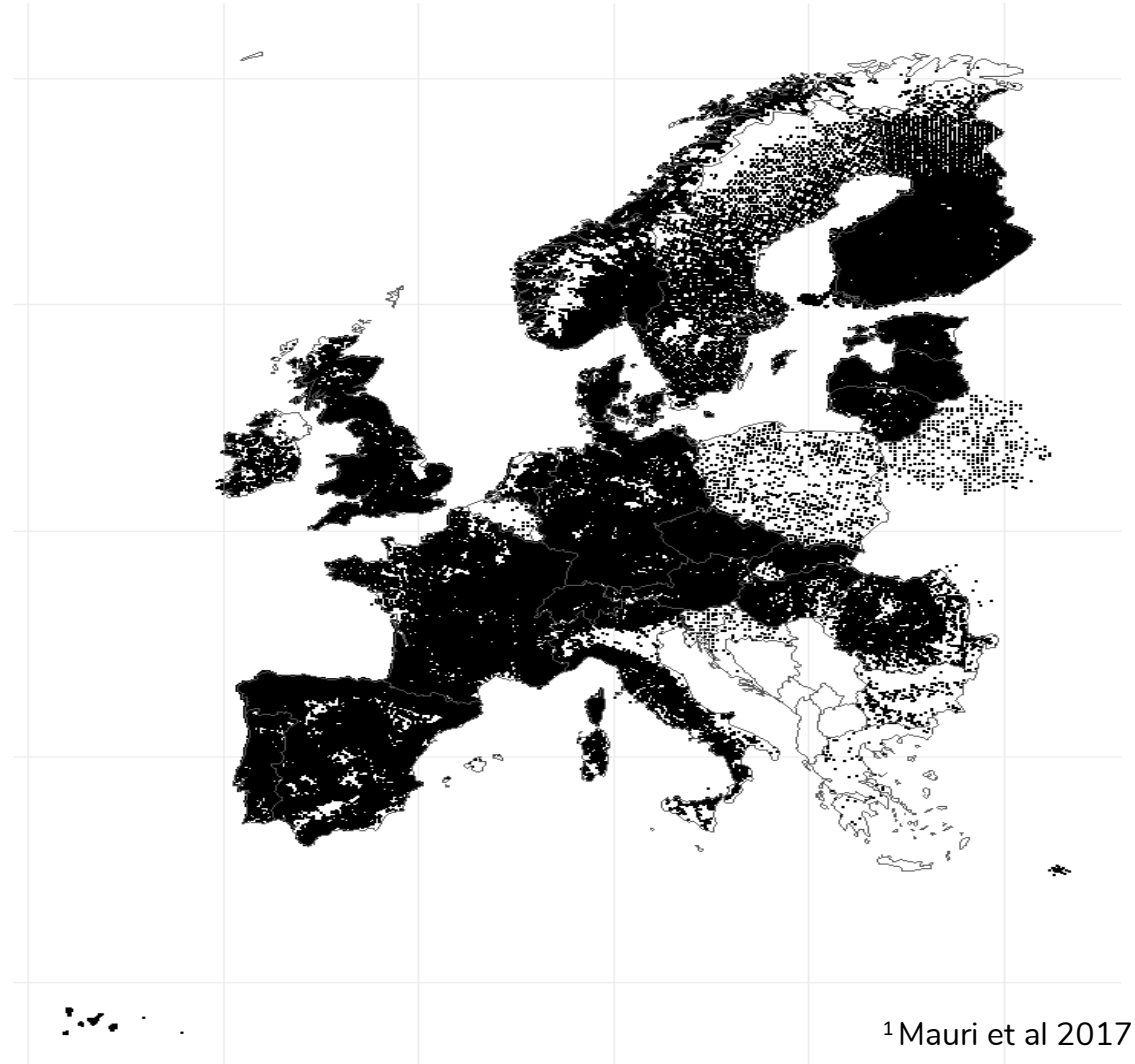
Modèle de distribution bivarié

Données présence/absence:

- Euforest¹, agrégation inventaire forestier
- 1x1km

Sélection de modèle:

- Convergence (\hat{R})
- BIC



¹Mauri et al 2017



Indicateur à l'échelle de l'espèce

Caractéristique de distribution:

- Quantile 5% et 95%
- Précipitation (*MAP*), *SGDD*, évapotranspiration potentielle (*PET*) potentiel minimum (Ψ_{min}), température minimale (*Tmin*)

Indicateur de co-occurrence :

- Données de tolérance à l'ombre et à la sécheresse¹
- Nombre moyen d'espèces co-occurentes plus tolérantes

Analyses statistiques : coefficient de régressions linéaires standardisées

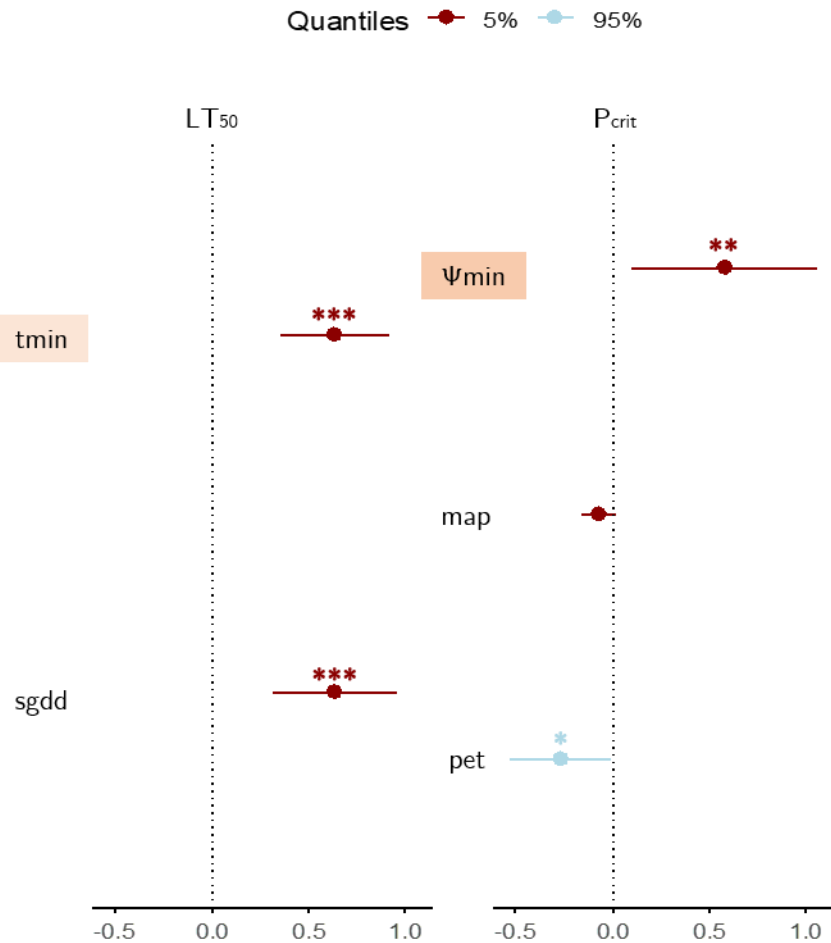
¹Niinemets & Valladares 2006



RÉSULTATS ET DISCUSSION



Stress physiologiques et variabilité des traits de tolérance



- Régression linéaire standardisée
- Quantile 5 ou 95% ~ extrémité stressante du gradient

LT_{50} : corrélation climat \Leftrightarrow stress physiologique¹

P_{50} : stress physiologique > climat²

→ peu d'études traits de tolérance \propto limite de niche³

⇒ Lien entre trait de survie et stress physiologique maximal des espèces

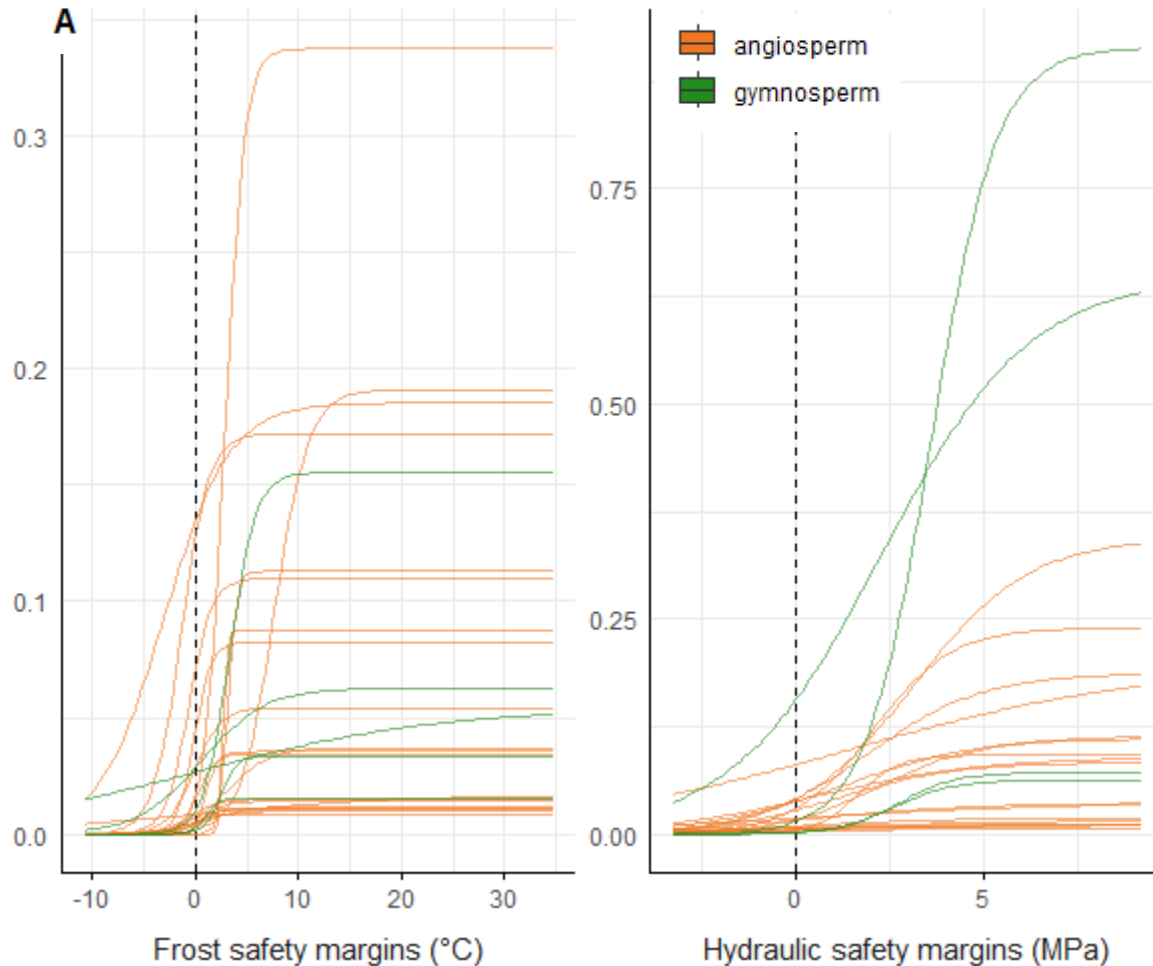
¹Charrier et al 2013; Kreyling et al 2015

² Skelton et al 2021; Larter et al 2017

³ Stahl et al 2014



Marges de sécurité et chute de probabilité de présence



Résultat de la sélection de modèle:

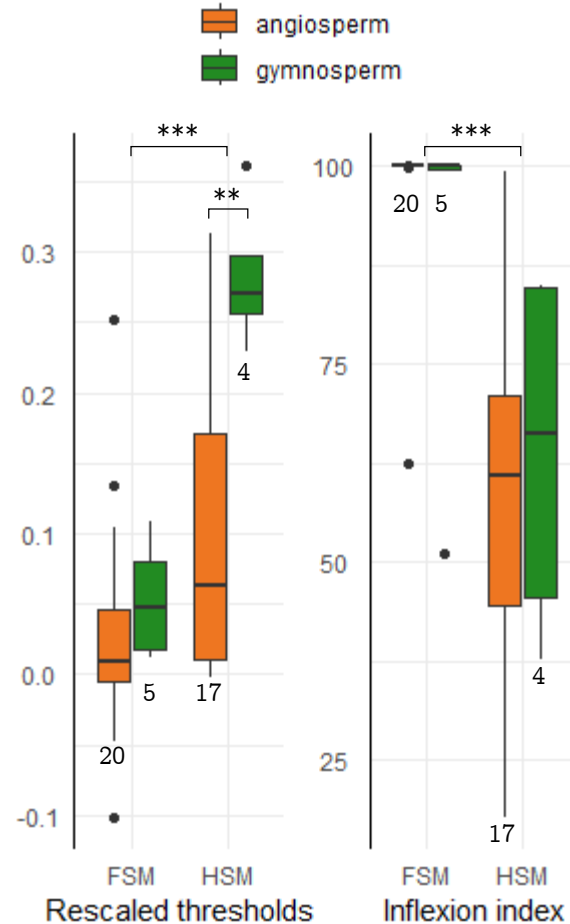
- Modèle nul : 2 espèces
 - 2 marges : 12 espèces (/19 testables)
 - 1 marges : 21 espèces
-
- forte chute de présence pour franchissement des seuils de tolérance, gel > sécheresse

⇒ Modèle à l'interface corrélatif/mécaniste & simple



Marges de sécurité et chute de probabilité de présence

B



Gel : seuil $\cong 0$, non-linéaire

→ pertinence du LT_{50} comme seuil de survie¹

Sécheresse: seuil > 0 , angiosperme \neq gymnosperme, \sim non-linéarité

→ P_{50} / P_{88} : refilling²? Seuil critique P_{12} ?

⇒ Multi-dimensionnalité de la régulation de la sécheresse³

¹Lindstrom et al 1996; Timmis et al 1994

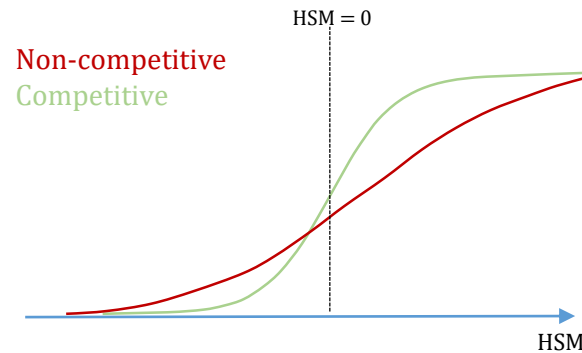
² Klein et al 2018

³ Choat et al 2018; Martin-StPaul et al 2017



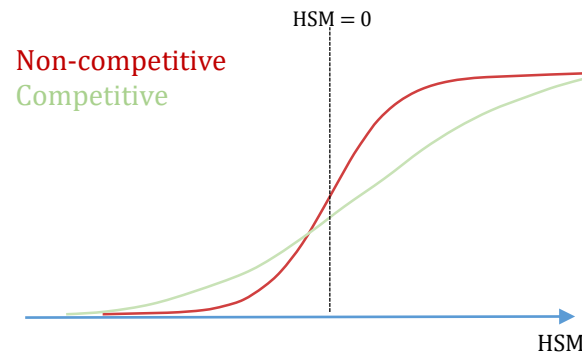
Effet de la compétition sur la réponse des espèces à leur marge de sécurité

Rappel hypothèse:

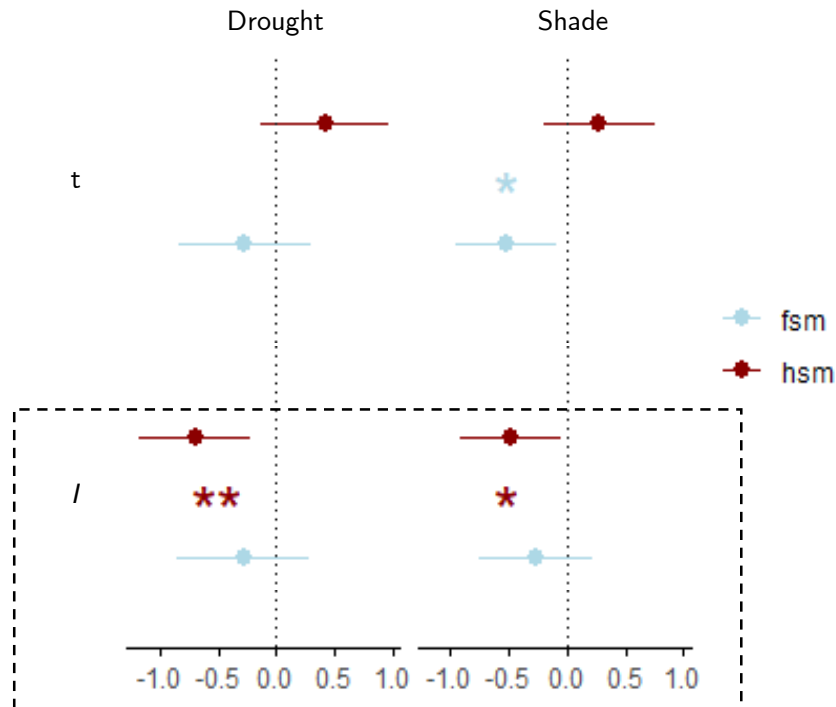


Espèces non-soumises à la compétition directement limitées par physiologie

Observé:



⇒ compétition accentue sensibilité à la sécheresse





CONCLUSIONS

- Pertinence de l'espace physiologique pour expliquer la variabilité des traits de tolérance
→ Hypothèse 1
- Baisse de la probabilité de présence lors du franchissement des seuils de tolérance physiologique au gel
- Baisse plus progressive avec les marges de sécurité à la sécheresse, mécanisme de résistance multidimensionnel
 - Biais de la littérature?
→ Hypothèse 2
- Nouveau cadre de modélisation hybride entre approche mécaniste et corrélative



PERPECTIVES

- Limites :
 - Variabilité intra-spécifique
 - Autre processus que la survie limitant la distribution
 - Résolution des données
- Analyses complémentaires :
 - Projection temporelle
 - Application Amérique du nord

Merci de votre attention

