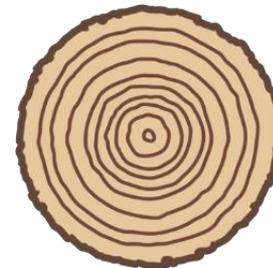
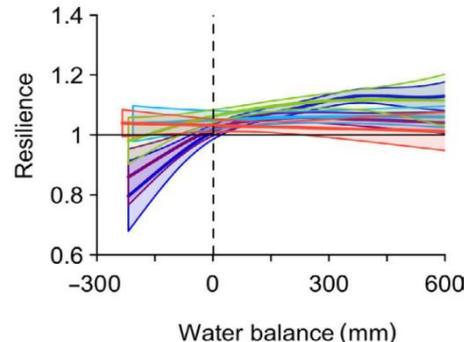


Impacts à court et long termes des sécheresses extrêmes sur la croissance des arbres

Cailleret M, Veuillen L, Prévosto B

UMR RECOVER, INRAE, Aix-Marseille Université, Aix-en-Provence



Mécanismes

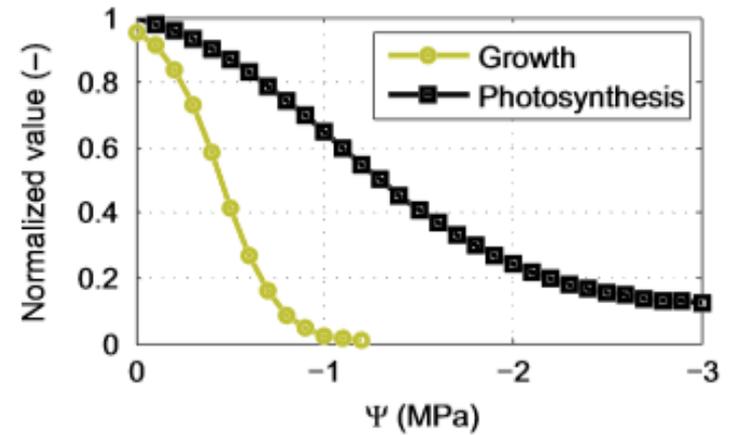
Effets court-terme directs et indirects via:

- 'manque de turgescence' : arrêt de la division et de l'élongation cellulaire
- 'manque de carbone' : réduction de la photosynthèse par baisse de la conductance stomatique & mésophyllienne, et des activités biochimiques

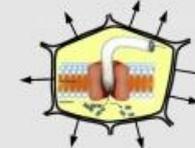
Effets moyen- et long-termes via changements de la structure des arbres

- Phénologie foliaire
- Architecture aérienne / souterraine
 - ✓ Hydraulique (ex: embolie)
 - ✓ Carbone (ex: organogénèse)

**Objectifs: (1) Comment quantifier les impacts ?
(2) Déterminer les principaux facteurs qui les influencent**



Inhibition of cell growth and tissue formation



-0.5 to -1.0 MPa critical

Stomatal closure and inhibition of photosynthesis

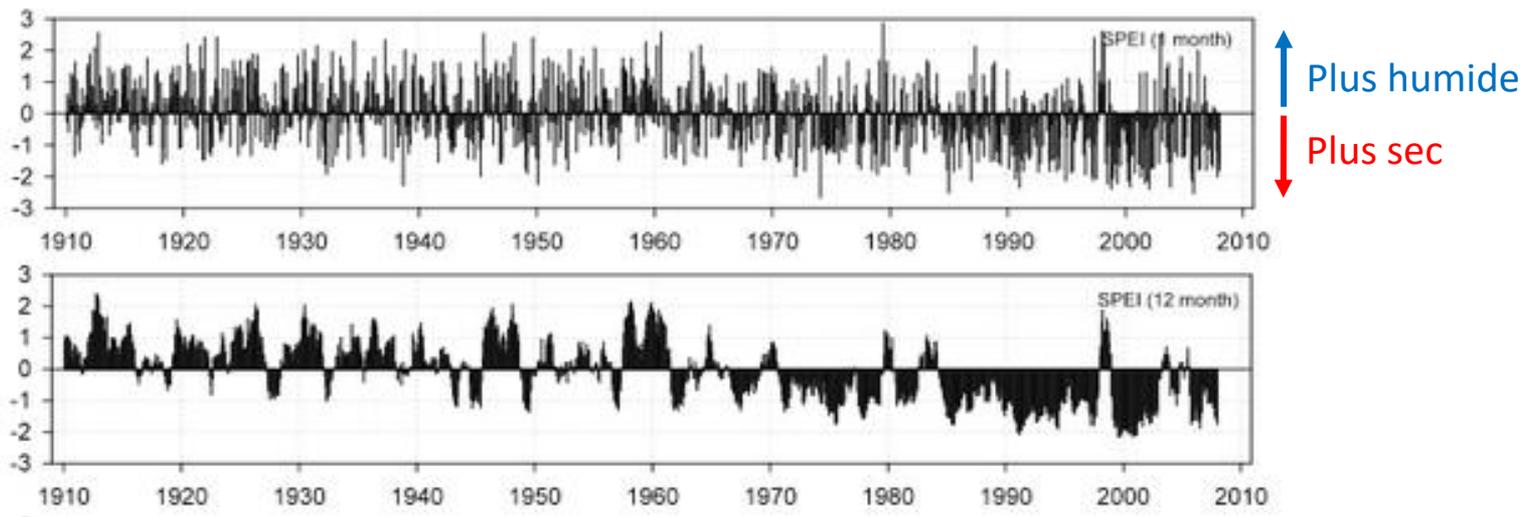


-1.2 to -2.0 MPa critical

Approche classique utilisée en dendro-écologie

1ère étape : Caractériser la sécheresse (météorologique)

- Déficit de précipitations et/ou forte demande évaporative
- Nombreux indices : P, PDSI, SPI...
- Indices de plus en plus utilisés : $WBAL = (P - PET)$; $SPEI = (WBAL) \sim N(0,1)$

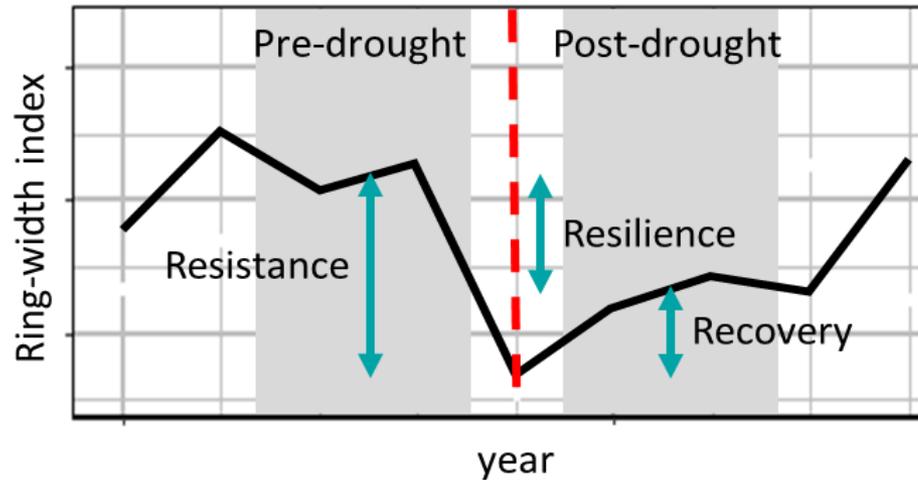


Agrégé sur différentes périodes en terme de durée et de saison

Approche classique utilisée en dendro-écologie

2ème étape: Quantifier l'impact de la sécheresse sur la croissance (largeurs de cernes)

- Focalise sur un événement particulier (ex: SPEI < -1.5)
- Analyse de l'effet à court terme (résistance) et long terme (rétablissement, résilience)



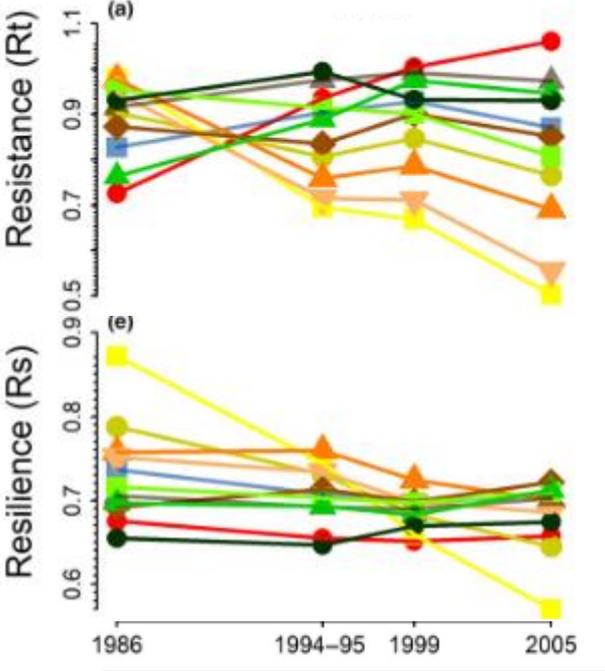
- Nombre d'années à prendre en compte pour les périodes avant et après sécheresse (1 à 4)
- Problèmes quand perturbation pré- ou post- sécheresse
- Rétablissement inversement corrélé à la résistance

Lloret et al. (2011 Glob. Change Biol.)

Schwarz et al. (2020 Curr. For. Reports)

Quelques résultats

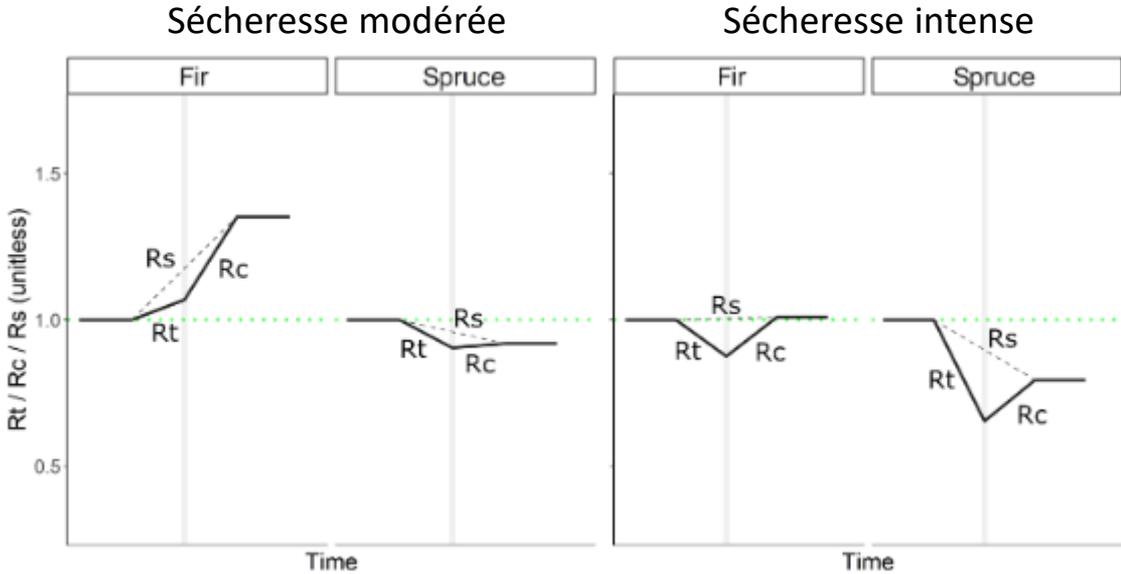
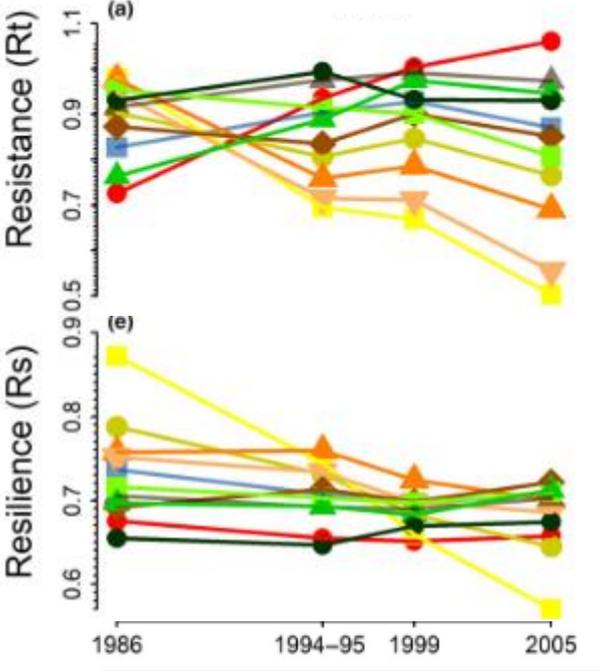
Variabilité de réponse à la sécheresse entre espèces



- Pinus pinaster*
- Pinus nigra*
- Pinus halepensis*
- Juniperus thurifera*
- Quercus faginea*
- Pinus uncinata*
- Abies alba*
- Pinus sylvestris*
- Fagus sylvatica*
- Quercus robur*
- Quercus pyrenaica*

Quelques résultats

Variabilité de réponse à la sécheresse entre espèces, et entre années selon l'intensité de la sécheresse

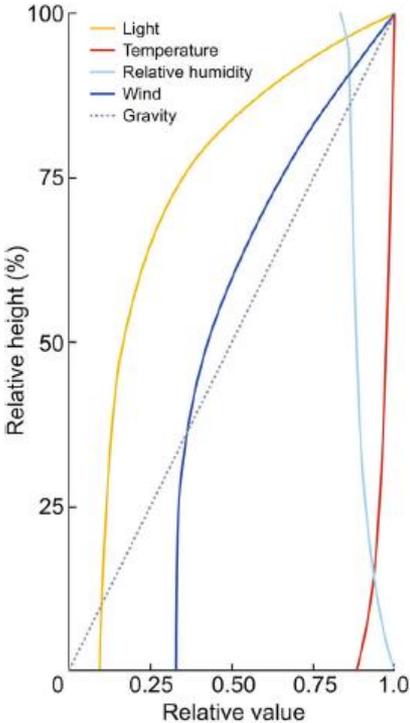
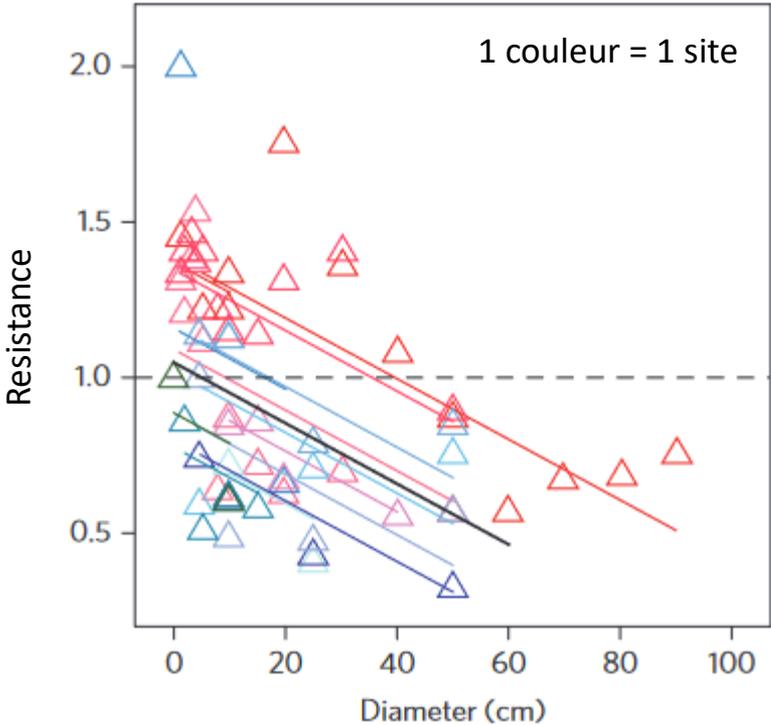


- ▲ *Pinus pinaster*
- ▲ *Pinus nigra*
- *Pinus halepensis*
- *Juniperus thurifera*
- *Quercus faginea*
- ▲ *Pinus uncinata*
- *Abies alba*
- *Pinus sylvestris*
- *Fagus sylvatica*
- *Quercus robur*
- ▲ *Quercus pyrenaica*

Bottero et al. (2020 Glob. Change Biol.)
 Gazol et al. (2018 Glob. Change Biol.)

Quelques résultats

Variations entre individus : effet taille (hauteur) de l'arbre

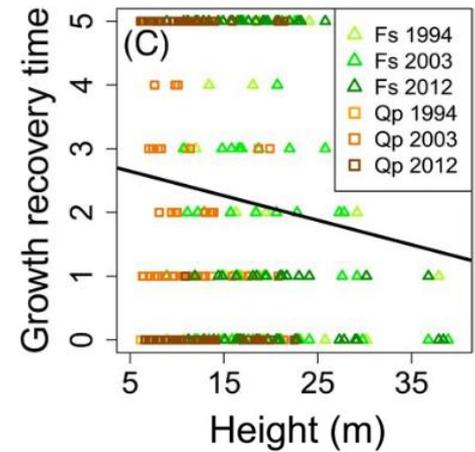
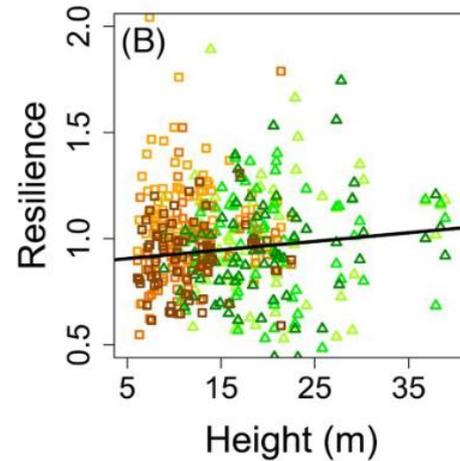
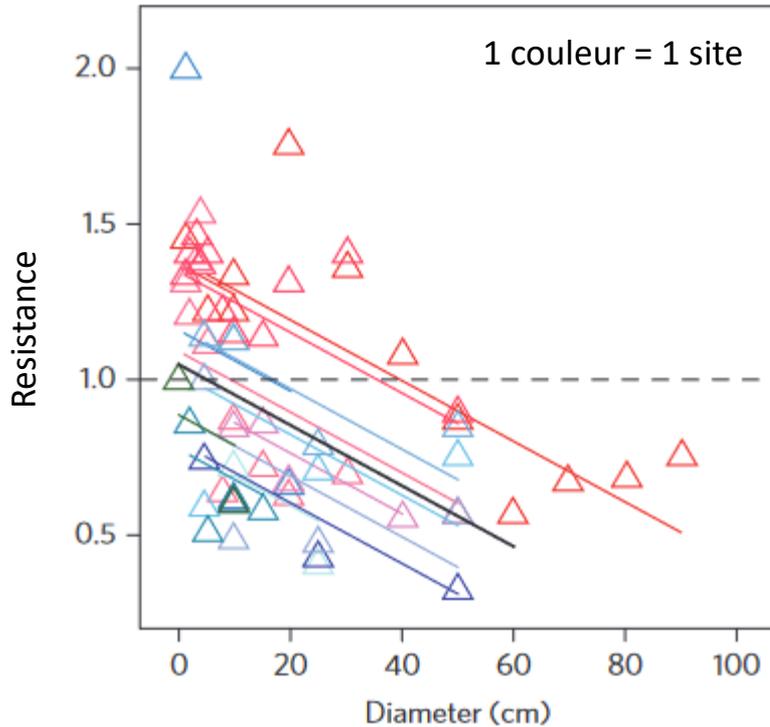


Théoriquement, les arbres les plus grands ont plus de contraintes microclimatiques et hydrauliques, et sont donc plus sensibles à la sécheresse

Fernandez-de-Una et al. (2023 New Phytol.)
Bennett et al. (2015 Nature Plants)

Quelques résultats

Variations entre individus : effet taille (hauteur) de l'arbre



Théoriquement, les arbres les plus grands ont plus de contraintes microclimatiques et hydrauliques, et sont donc plus sensibles à la sécheresse; **mais ce n'est pas si simple:**

ajustements de l'arbre

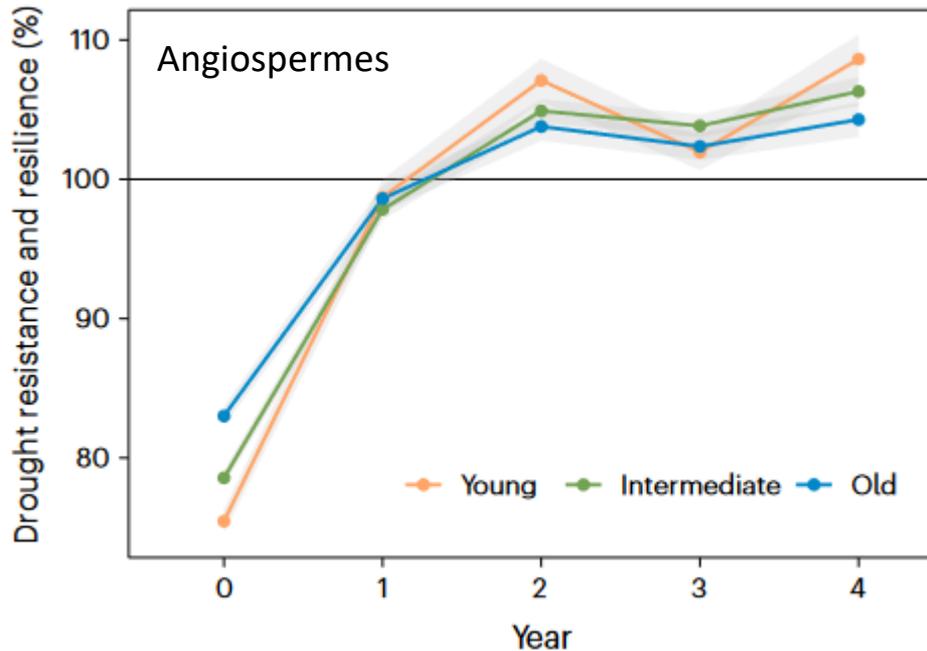
Gonzalez de Andres al. (2021 *Funct. Ecol.*)

Fernandez-de-Una et al. (2023 *New Phytol.*)

Bennett et al. (2015 *Nature Plants*)

Quelques résultats

Variations entre individus : effet âge pour des arbres dominants (~même hauteur)



Différences moins marquées pour les gymnospermes

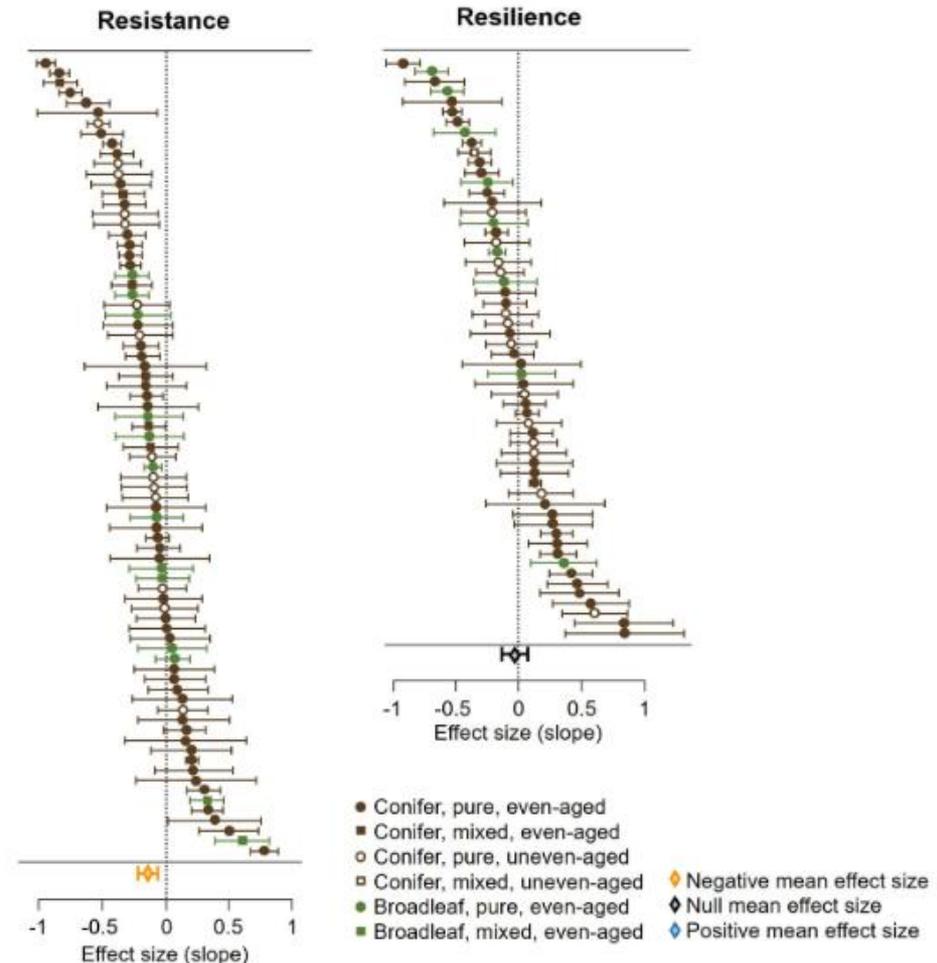
Les arbres âgés semblent plus résistants (plus de racines et de stockage d'eau)

Quelques résultats

Variations entre peuplements : Effet de la compétition sur la réponse à la sécheresse pas si évident...

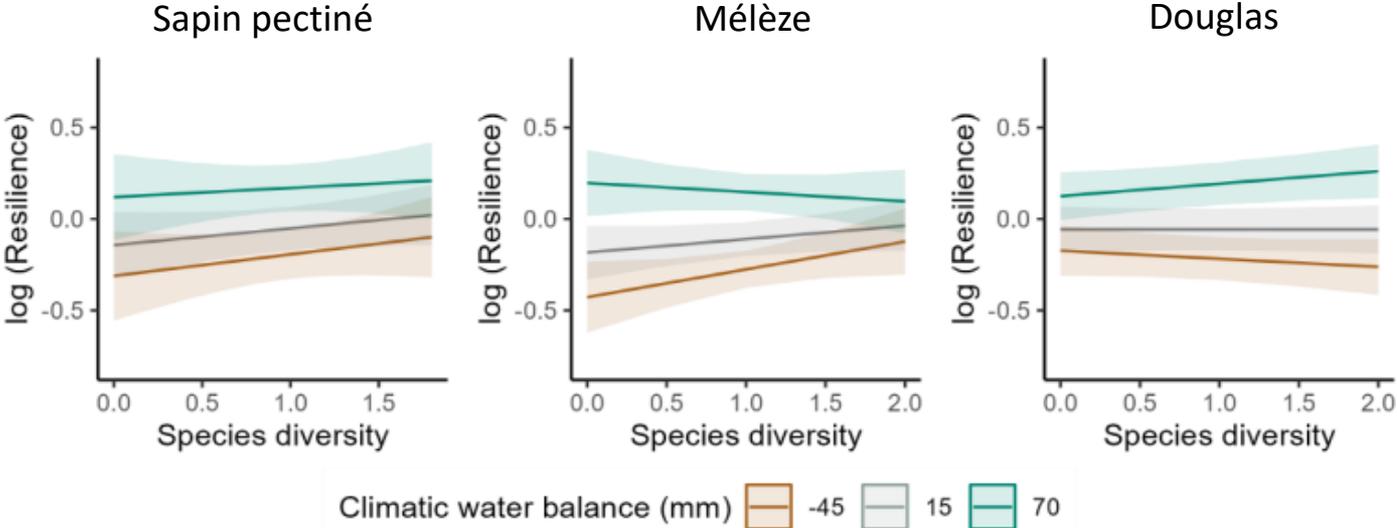
Meta-analyse de Castagneri et al.

- 166 papiers
- 'Effect size' : pente de la relation réponse - surface terrière peuplement
- Multitude de conditions et d'approches méthodologiques

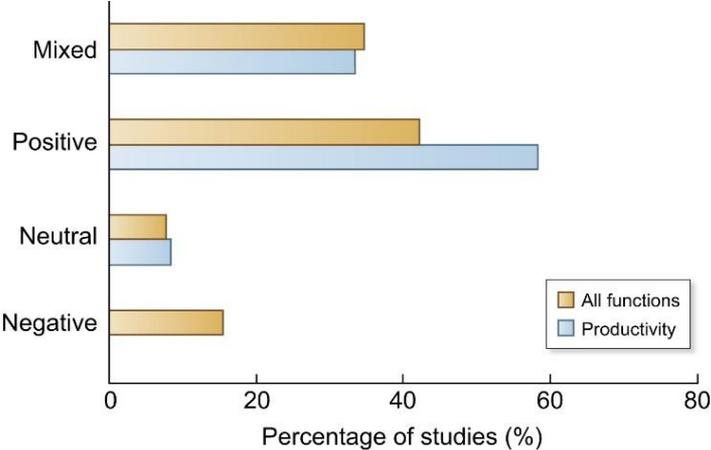


Quelques résultats

Variations entre peuplements : même résultats divergents pour l'effet de la diversité



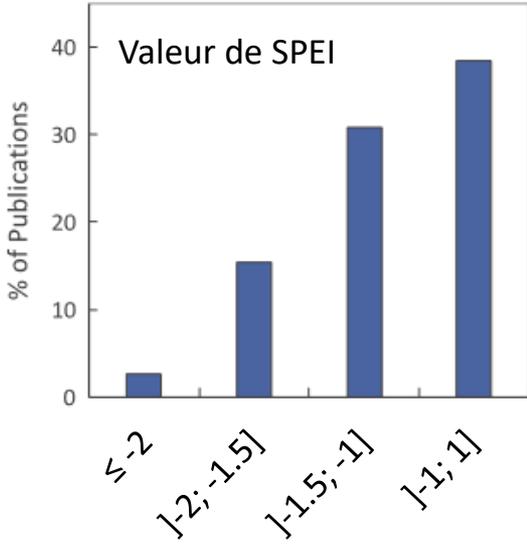
Les résultats varient selon l'espèce étudiée, le nombre et les caractéristiques des espèces en interaction, la fertilité du site...



Grossiord (2019 New Phytol.)
Charlet de Sauvage et al. (2023 Agr. For. Meteo.)

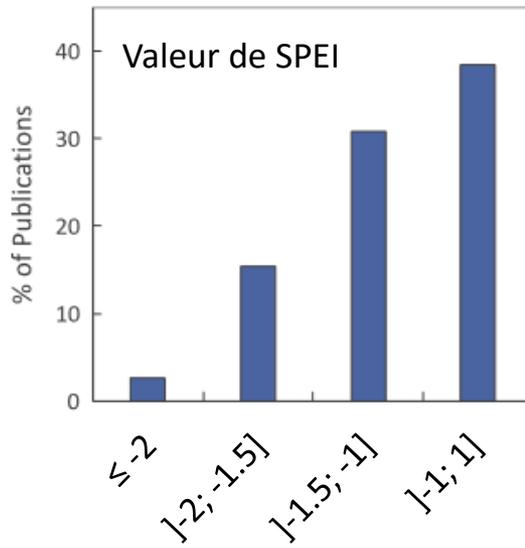
Principales limites et avancées

Choix 'subjectif' des sécheresses considérées

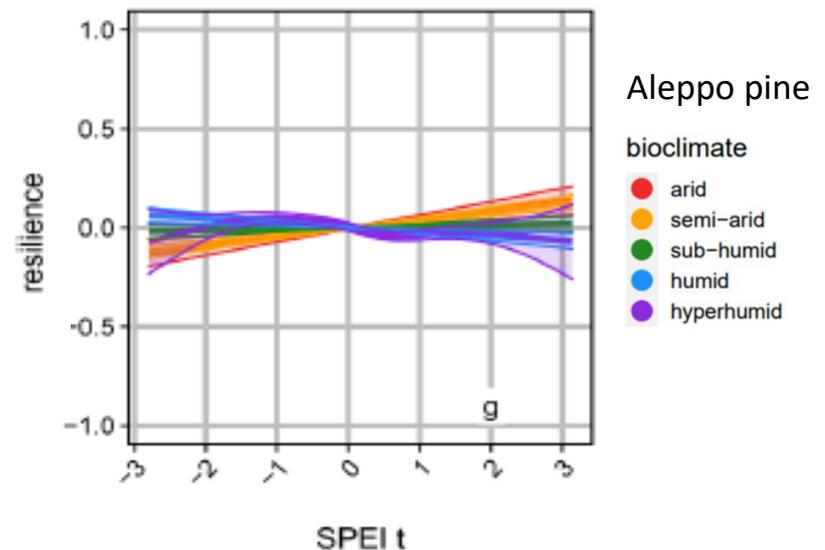
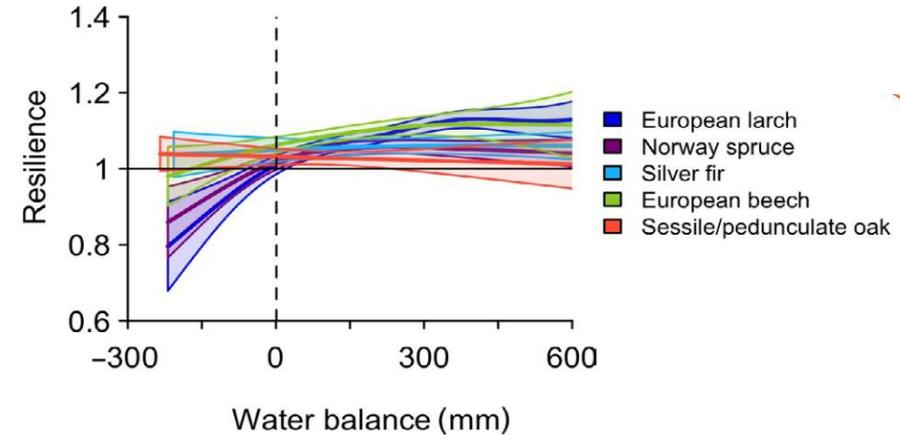


Principales limites et avancées

Choix 'subjectif' des sécheresses considérées → prise en compte de toutes les années



- Mise en évidence de la non-linéarité des processus
- Important de considérer les conditions climatiques avant et après sécheresse



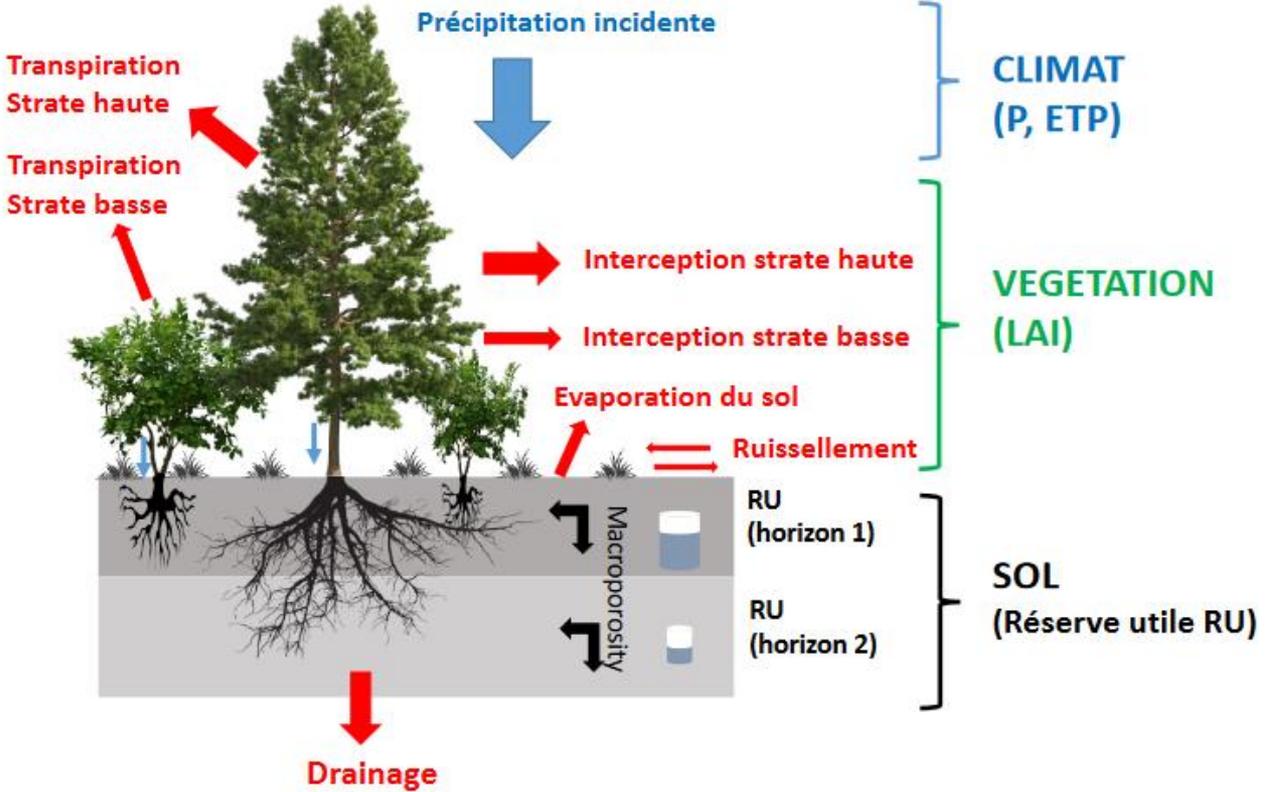
Vitasse et al. (2019 Glob. Change Biol.)

Veillen et al. (2023 Agr. For. Meteo.)

Slette et al. (2019 Glob. Change Biol.)

Principales limites et avancées

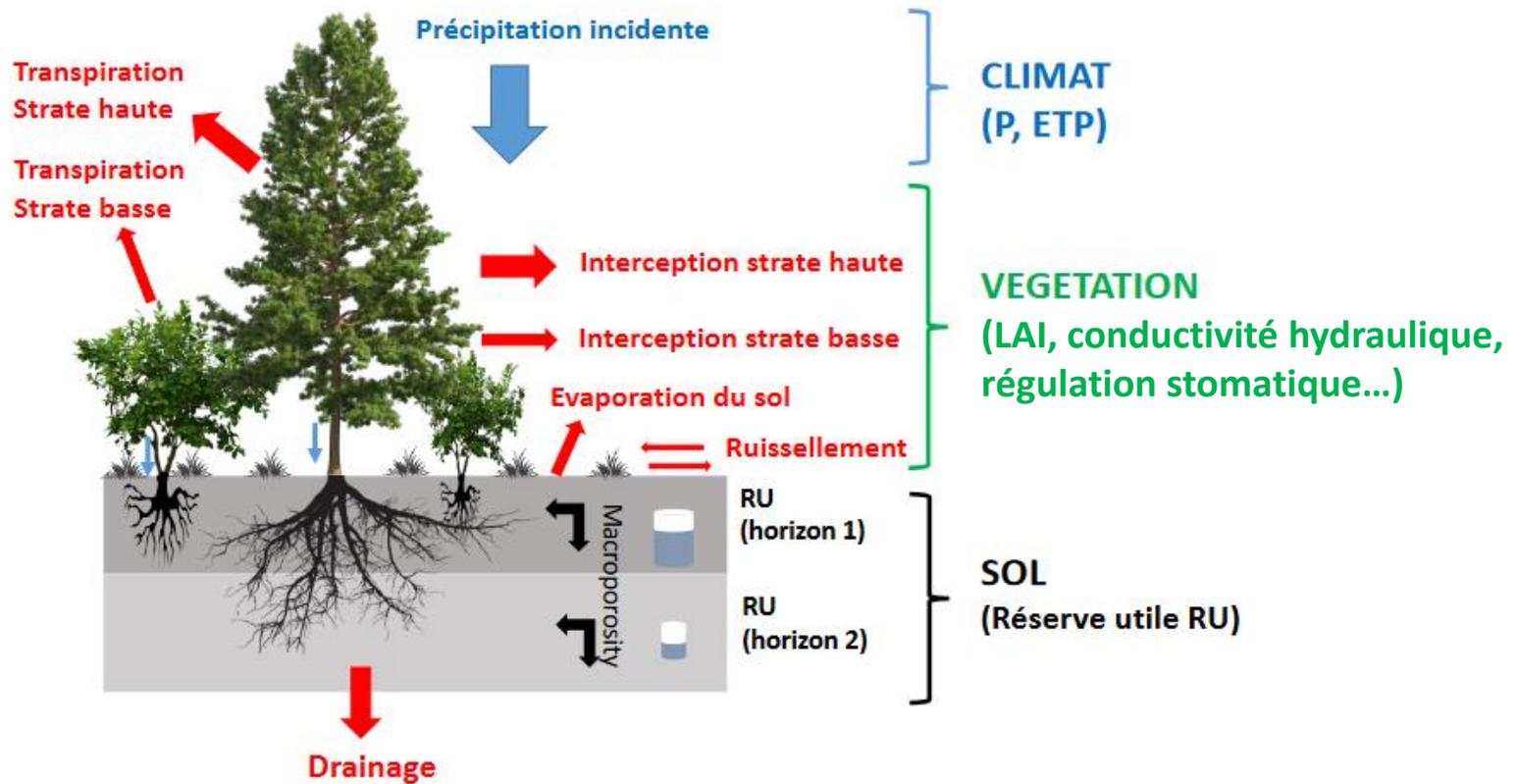
Sécheresse météorologique → sécheresse édaphique en quantifiant l'eau disponible dans le sol pour les plantes, via les caractéristiques du climat, du sol et la végétation



Granier et al. (1999 Ecol. Model.) -> modèle BILJOU

Principales limites et avancées

Sécheresse météorologique → sécheresse édaphique en quantifiant l'eau disponible dans le sol pour les plantes, via les caractéristiques du climat, du sol et la végétation

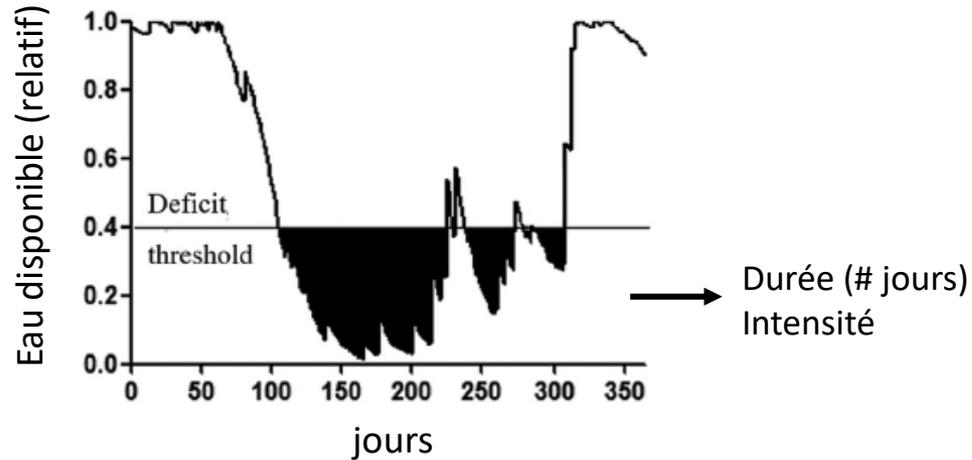


Granier et al. (1999 Ecol. Model.) -> modèle BILJOU

Cochard et al. (2021 Ann. For. Sci.) -> modèle SUREAU

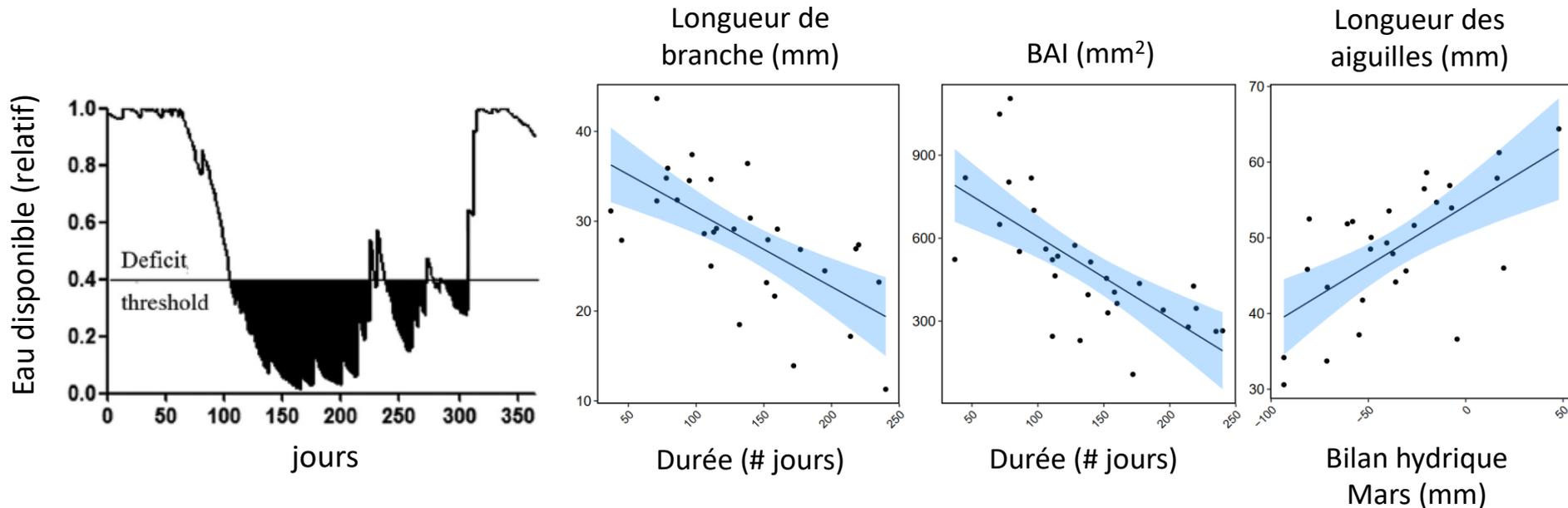
Principales limites et avancées

Sécheresse météorologique → sécheresse édaphique en quantifiant l'eau disponible dans le sol pour les plantes, via les caractéristiques du climat, du sol et la végétation



Principales limites et avancées

Sécheresse météorologique → sécheresse édaphique en quantifiant l'eau disponible dans le sol pour les plantes, via les caractéristiques du climat, du sol et la végétation



Pour le pin d'Alep, sur le site expérimental de Font-Blanche, le meilleur prédicteur de la croissance des branches (longueur) et du tronc (radiale) est la durée de la sécheresse

Helluy et al. (2020 Agr. For. Meteo.)

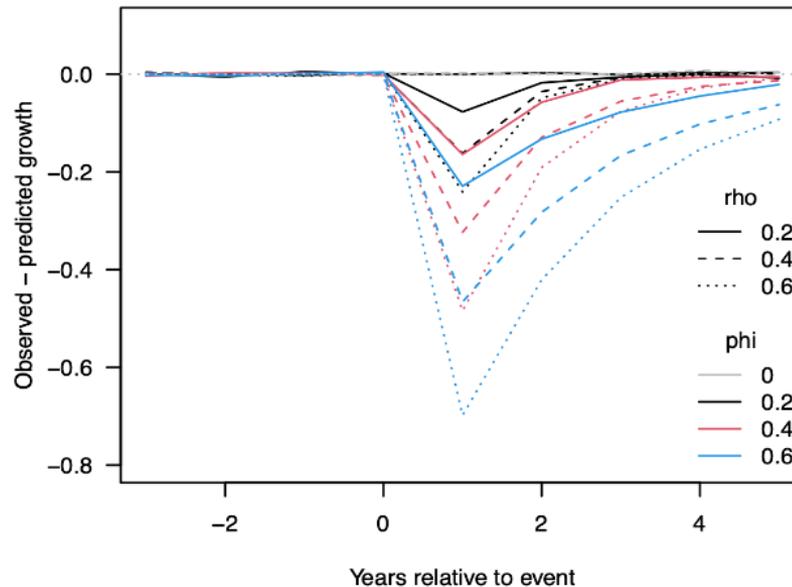
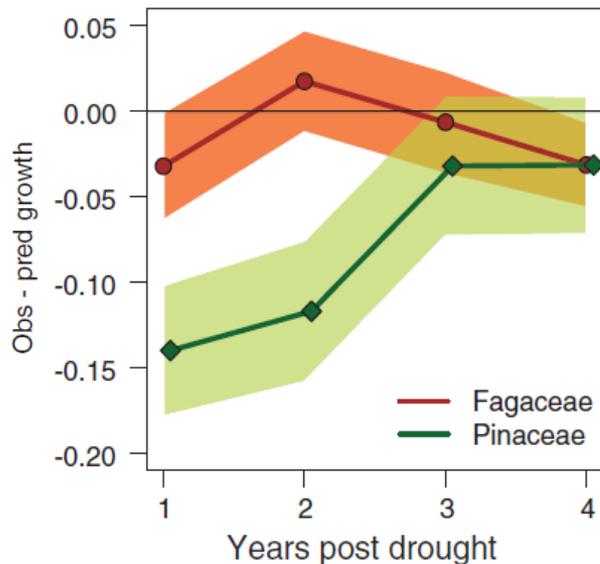
Veuillen et al. (in prep.)

Principales limites et avancées

- Standardisation des données croissance et climat
- Nombreuses terminologies et approches méthodes
Ex: analyse des effets décalés ('legacy effects') par comparaison observé vs. prédit par modèle croissance-climat

Ols et al. (2023 Dendrochronologia)
Klesse (2021 Dendrochronologia)

Peltier & Ogle (2023 J. Ecol.)



Klesse et al. (2023 J. Ecol.)
Anderegg et al. (2015 Science)

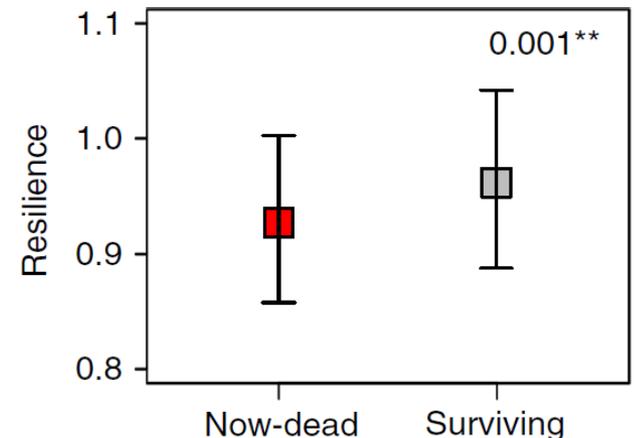
Les différences entre espèces peuvent s'expliquer par la 'puissance' de la corrélation climat-croissance (ρ) et de l'autocorrélation des cernes (ϕ)
-> effet mémoire plutôt qu'effet décalé

Messages principaux

- Etude de la résistance / résilience à la sécheresse de plus en plus courante en dendroécologie
- Très compliqué d'avoir des résultats simples et de faire des généralités : non-linéarité des effets ; effets confondants ; dépend des espèces, peuplements et sites étudiés, et des caractéristiques des sécheresses étudiées
- Nécessaire d'harmoniser les approches statistiques
- Meilleure intégration des processus + autres composantes de la croissance

Pourquoi c'est important ?

Relation très probable avec le risque futur de mortalité



Impacts à court et long termes des sécheresses extrêmes sur la croissance des arbres

Cailleret M, Veuillen L, Prévosto B

UMR RECOVER, INRAE, Aix-Marseille Université, Aix-en-Provence

