

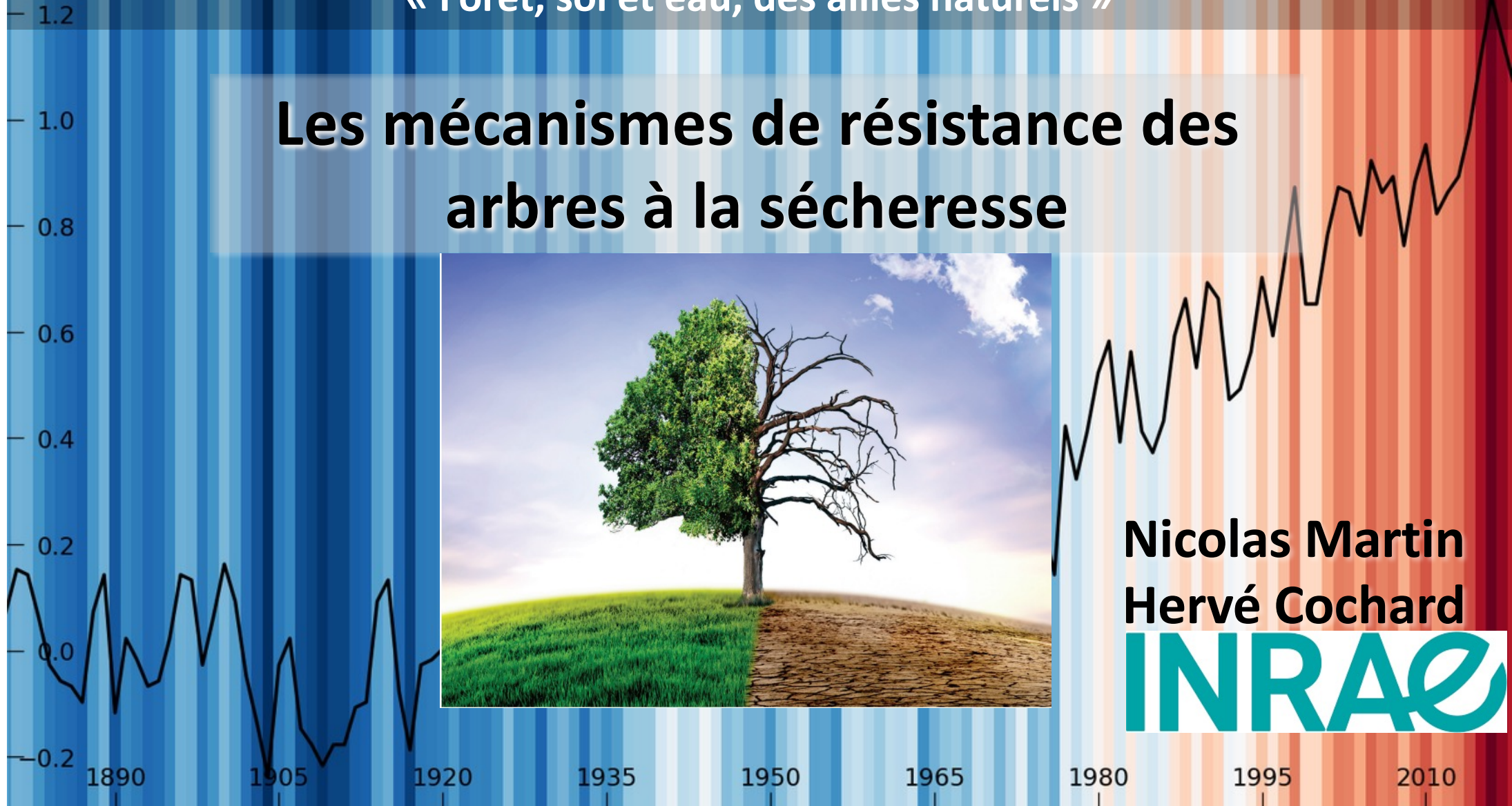
« Forêt, sol et eau, des alliés naturels »

Les mécanismes de résistance des arbres à la sécheresse

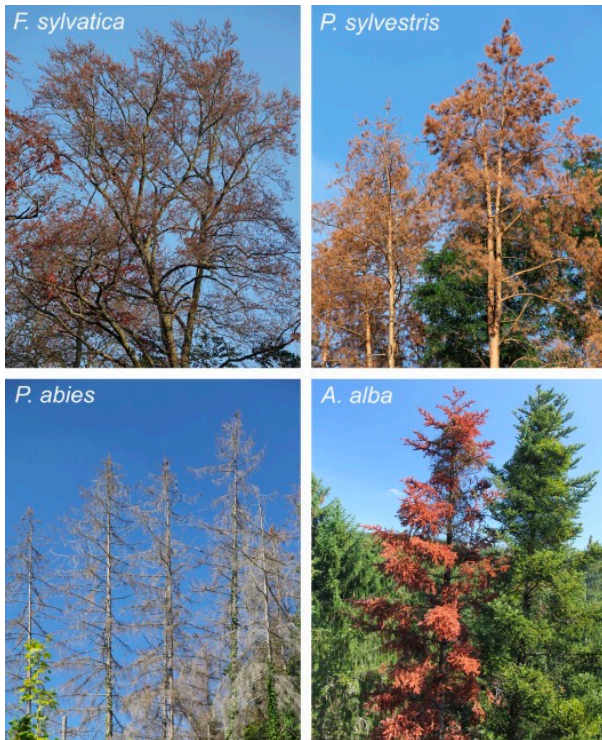


Nicolas Martin
Hervé Cochard

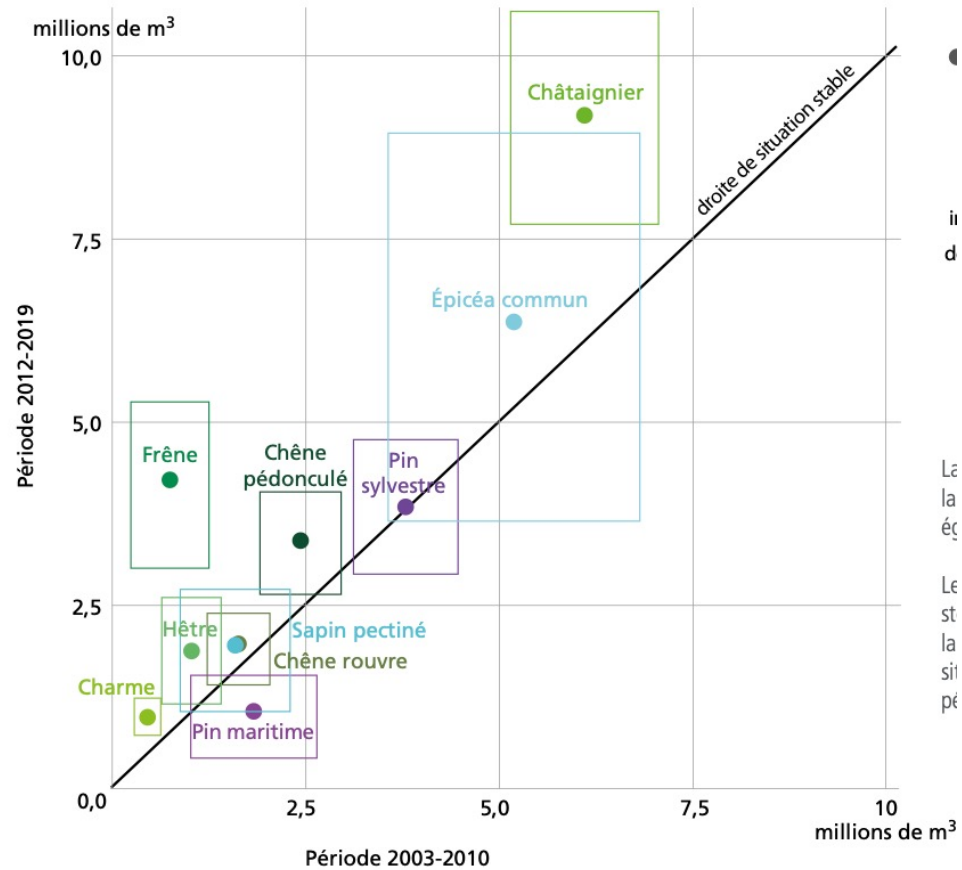
INRAE



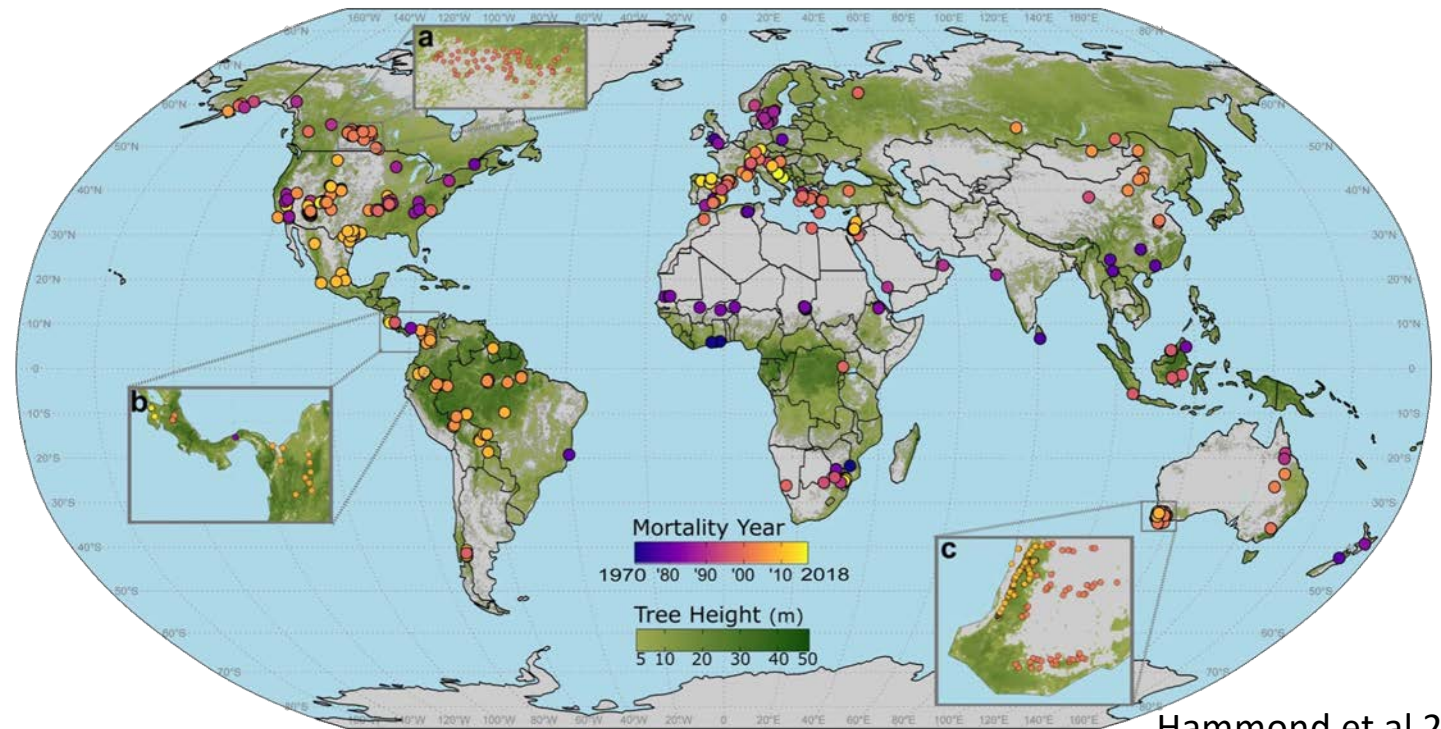
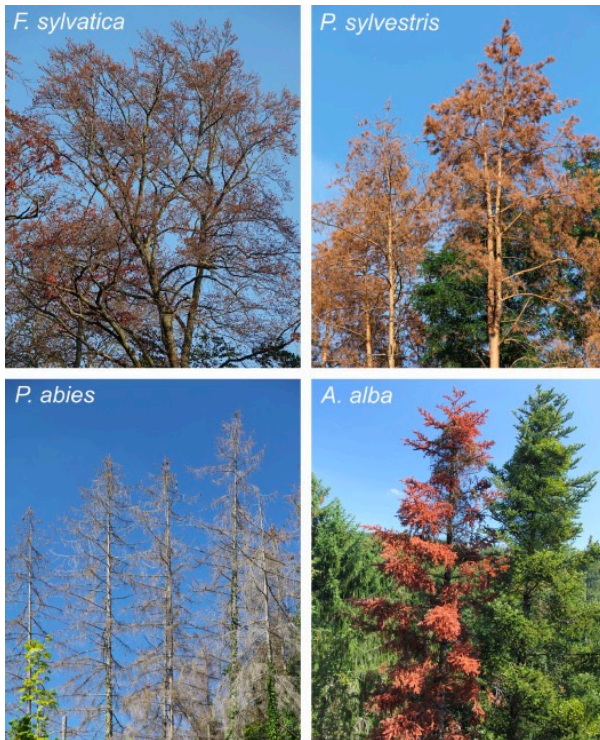
Augmentation des épisodes de mortalité liés aux sécheresses et aux vagues de chaleur



Evolution des volume d'arbres morts en France



Augmentation des épisodes de mortalité liées aux sécheresses et aux vagues de chaleur

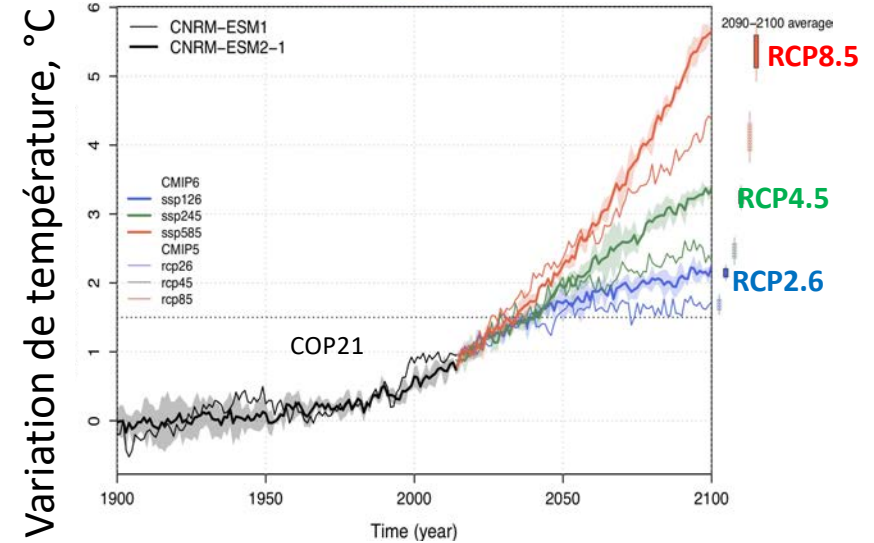
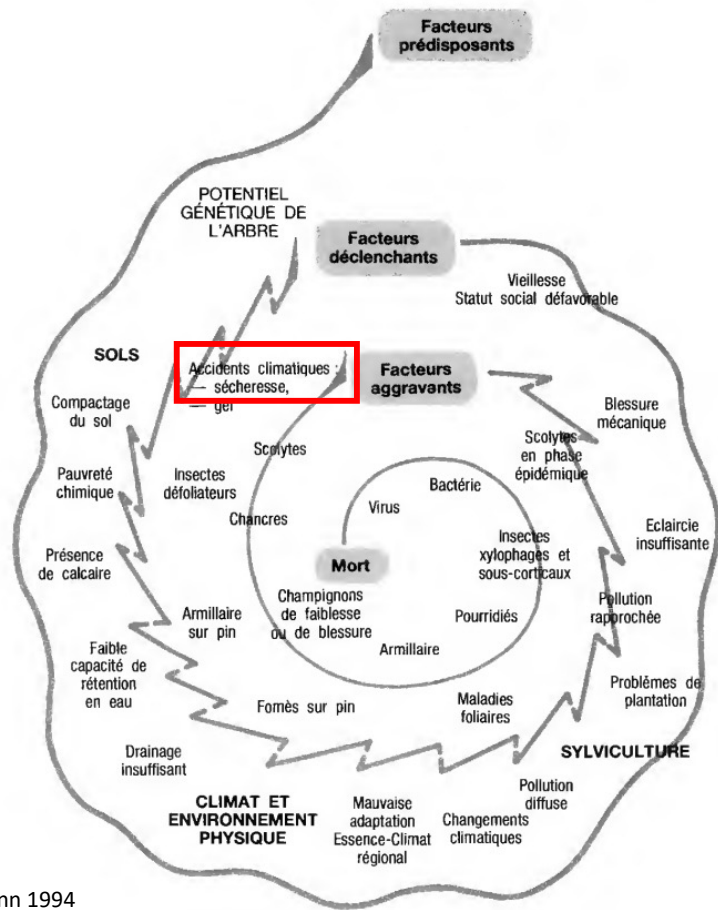


Hammond et al 2022

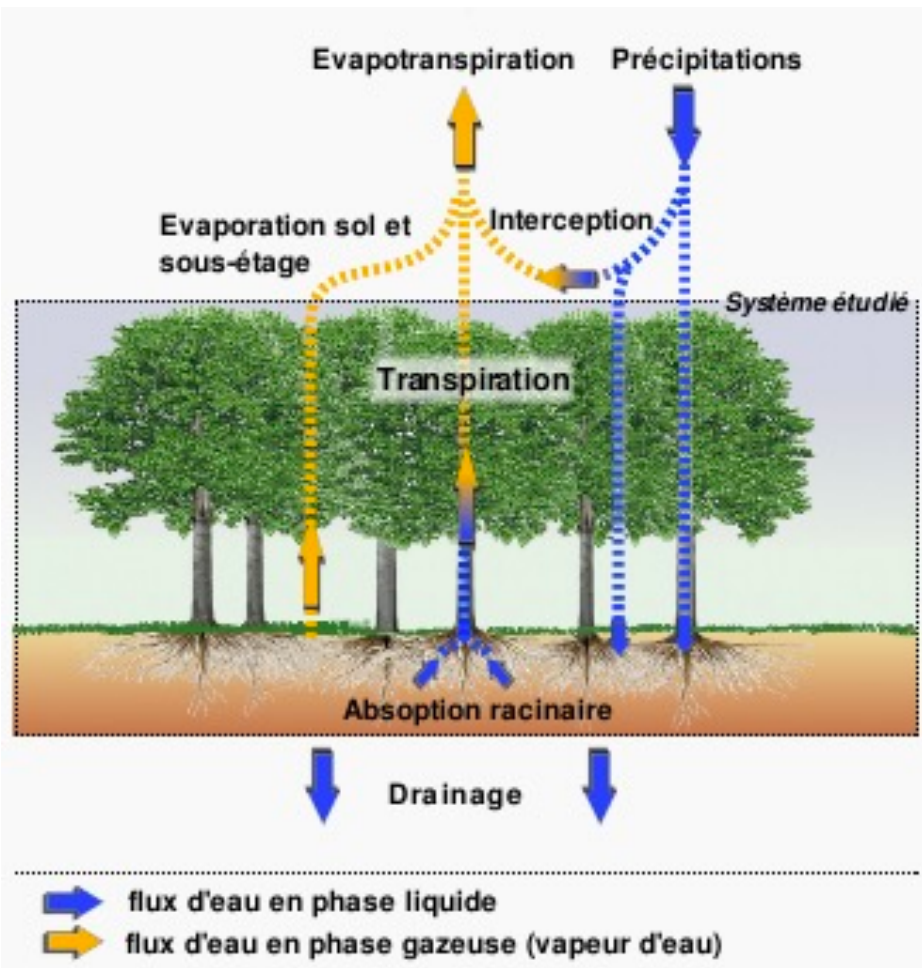
Tous les écosystèmes forestiers sont concernés par ces mortalités

Mortalité des arbres est un phénomène multifactoriel

Figure 1 LA « SPIRALE DU DÉCLIN » DE MANION (1981) ADAPTÉE AUX CONDITIONS FRANÇAISES (DSF Nord-Est)



Les arbres transpirent : bilan hydrique des peuplements

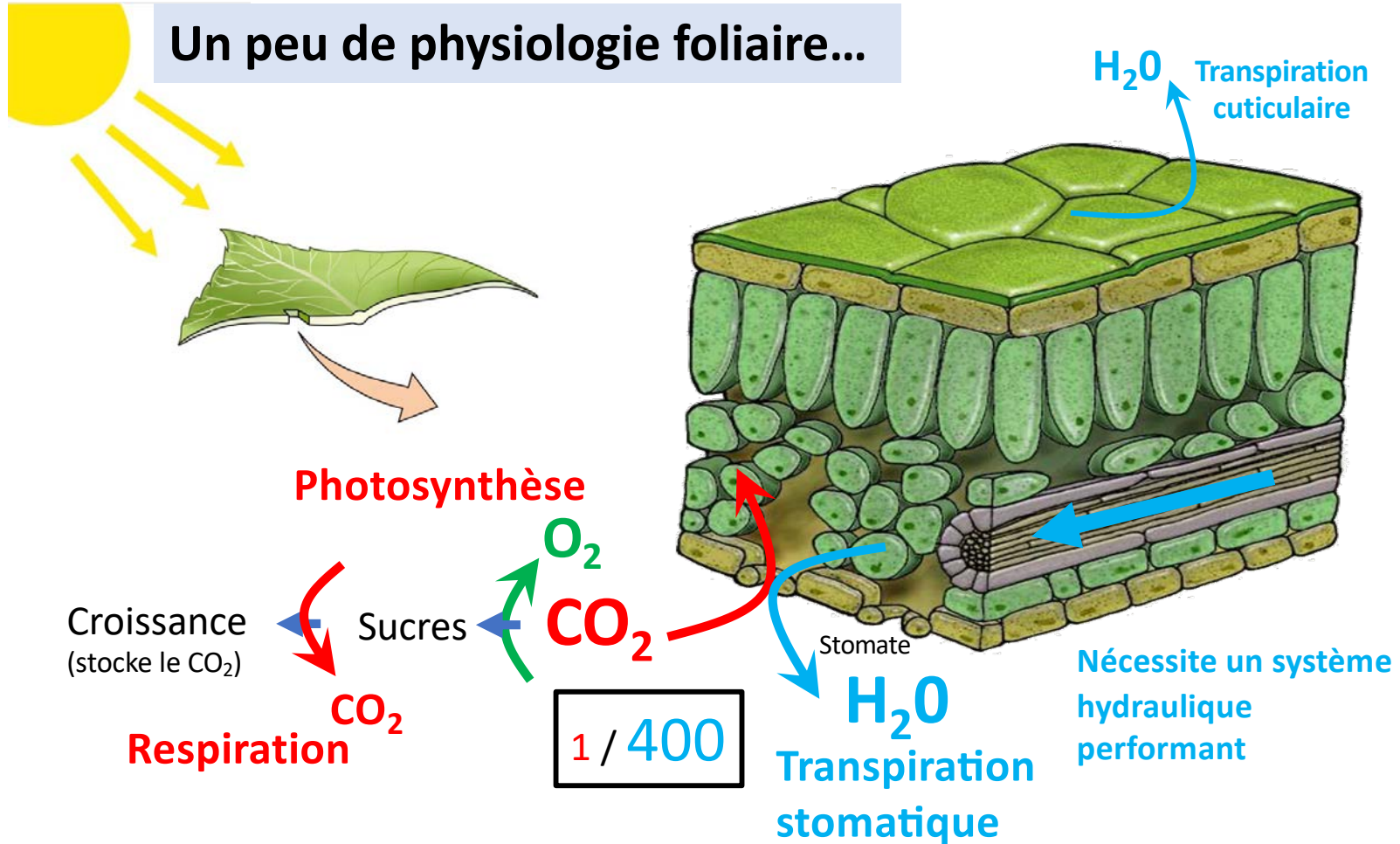


Transpiration des arbres

Espèce	Diamètre (cm)	Hauteur (m)	Transpiration (l/jour)
Chêne sessile	9	15	10
Épicéa	15	14	19
Épicéa	16	12	27
Épicéa	23	15	33
Épicéa	36	25	175
Hêtre	54	35	137
Mélèze	—	20	74
Pin d'Alep	—	9	49
Pin maritime	34	20	161
Pin maritime	35	26	125

Courbet et al 2022 QUAÉ
Forêts & changement climatique

Les arbres transpirent : une nécessité pour pousser



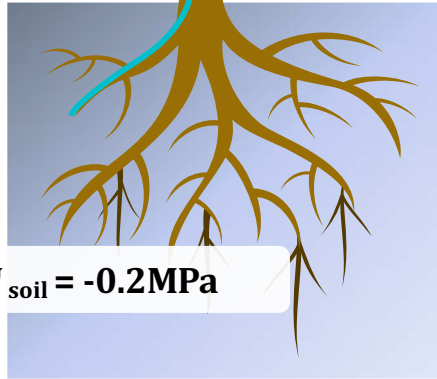
Les arbres transpirent : grâce à un gradient de pression

$\Psi_{\text{atm}} = -10 \text{ to } -100 \text{ MPa}$

H₂O



$\Psi_{\text{feuille}} = -1 \text{ MPa}$



$\Psi_{\text{soil}} = -0.2 \text{ MPa}$

Potentiel hydrique du sol (Ψ , MPa)

= pression nécessaire pour extraire l'eau liquide

= **statut hydrique**

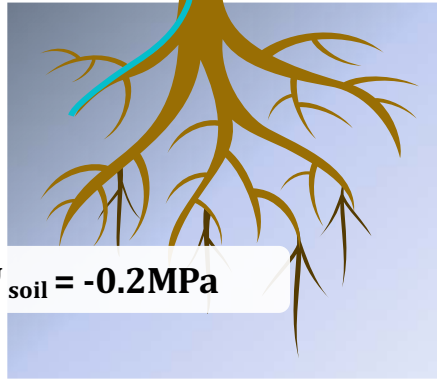
Les arbres transpirent : grâce à un gradient de pression

$\Psi_{\text{atm}} = -10 \text{ to } -100 \text{ MPa}$

H₂O



$\Psi_{\text{feuille}} = -1 \text{ MPa}$

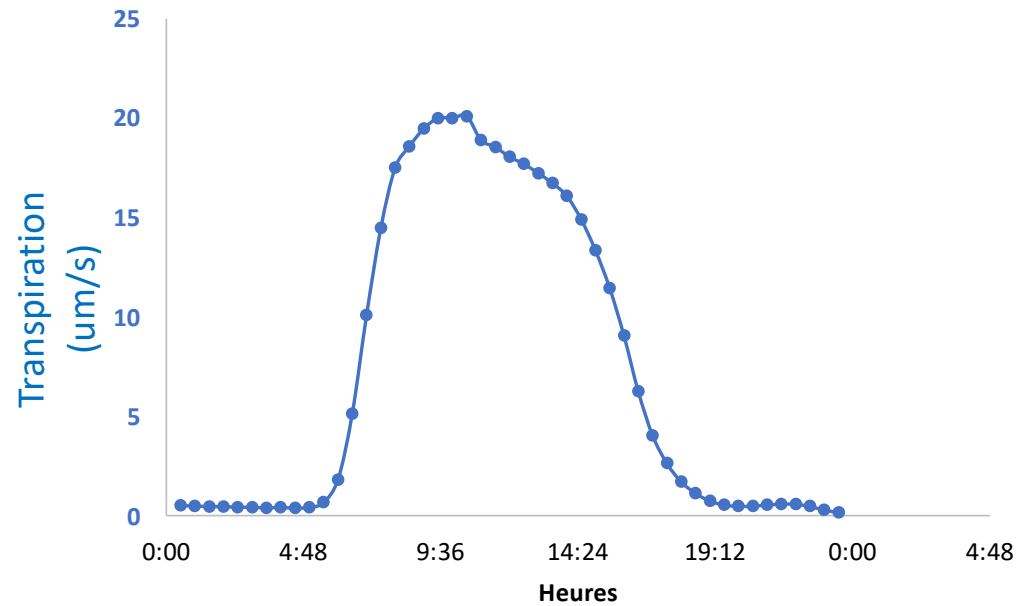


$\Psi_{\text{soil}} = -0.2 \text{ MPa}$

Potentiel hydrique du sol (Ψ , MPa)

= pression nécessaire pour extraire l'eau liquide

= **statut hydrique**



Données site ICOS de Font-Blanche



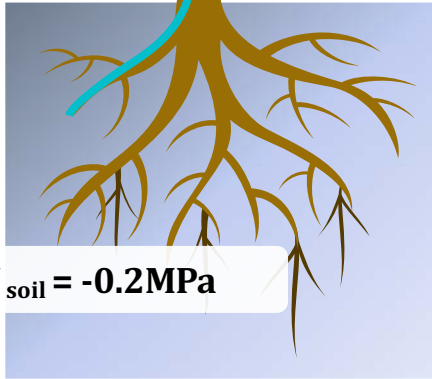
Les arbres transpirent : grâce à un gradient de pression

$\Psi_{atm} = -10 \text{ to } -100 \text{ MPa}$

H₂O



$\Psi_{feuille} = -1 \text{ MPa}$

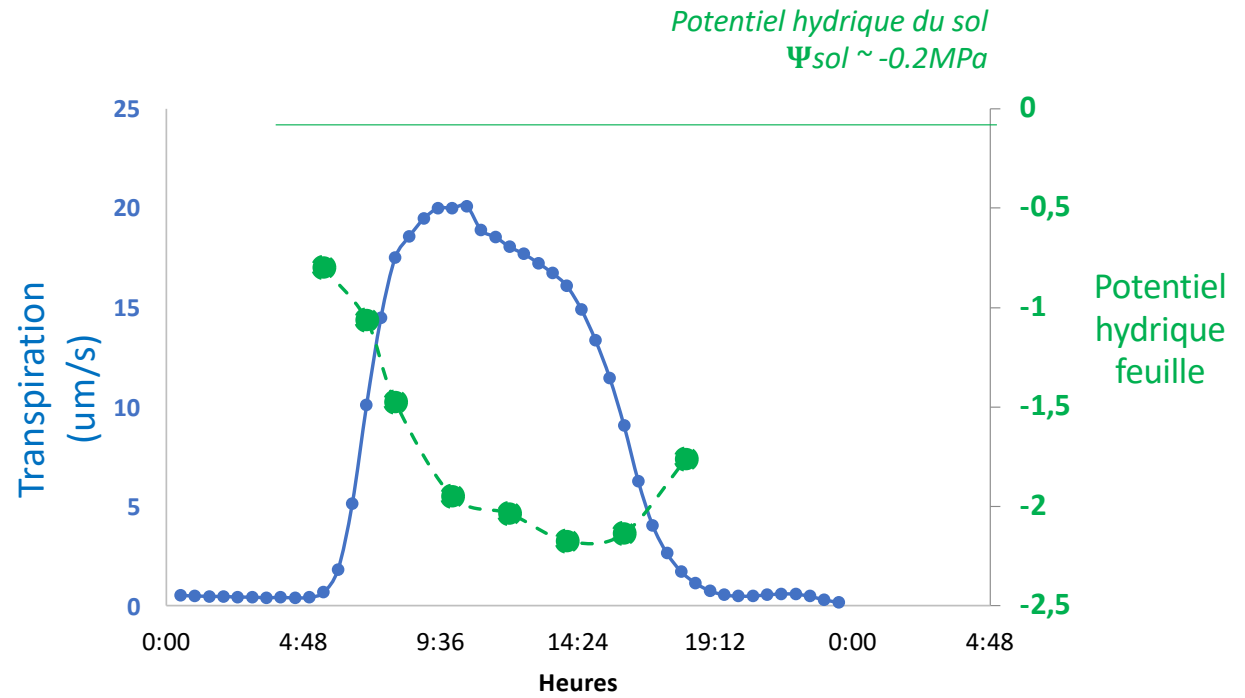


$\Psi_{soil} = -0.2 \text{ MPa}$

Potentiel hydrique du sol (Ψ , MPa)

= pression nécessaire pour extraire l'eau liquide

= **statut hydrique**



Données site ICOS de Font-Blanche



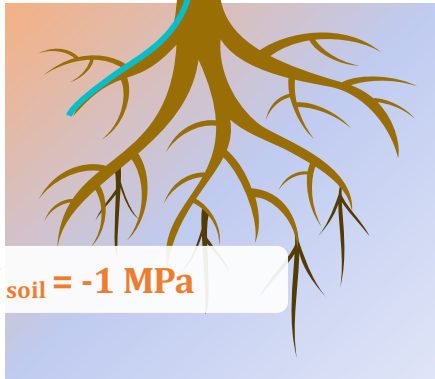
Réponses au stress hydrique : (1) baisse de la transpiration

$\Psi_{\text{atm}} = -10 \text{ to } -100 \text{ MPa}$

H₂O

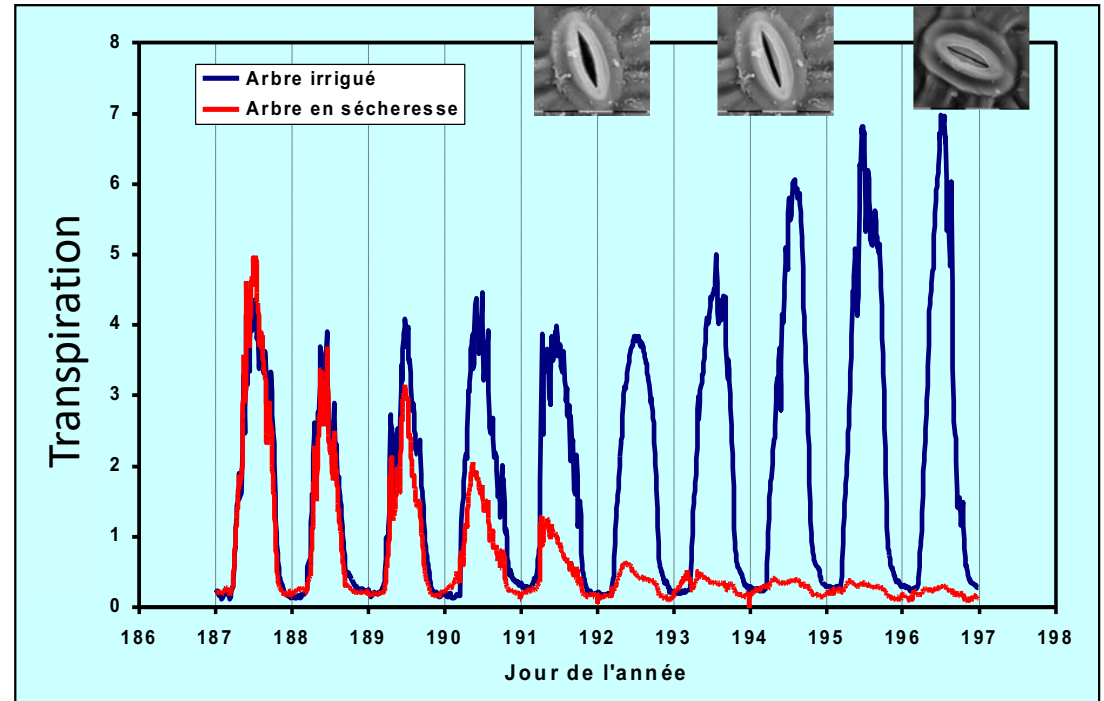


$\Psi_{\text{feuille}} = -2 \text{ MPa}$



$\Psi_{\text{soil}} = -1 \text{ MPa}$

la fermeture des stomates



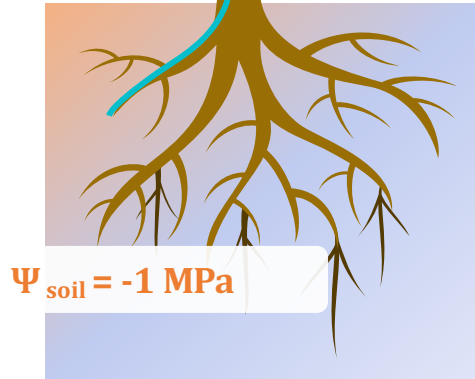
Réponses au stress hydrique : (1) baisse de la transpiration

$\Psi_{\text{atm}} = -10 \text{ to } -100 \text{ MPa}$

H_2O



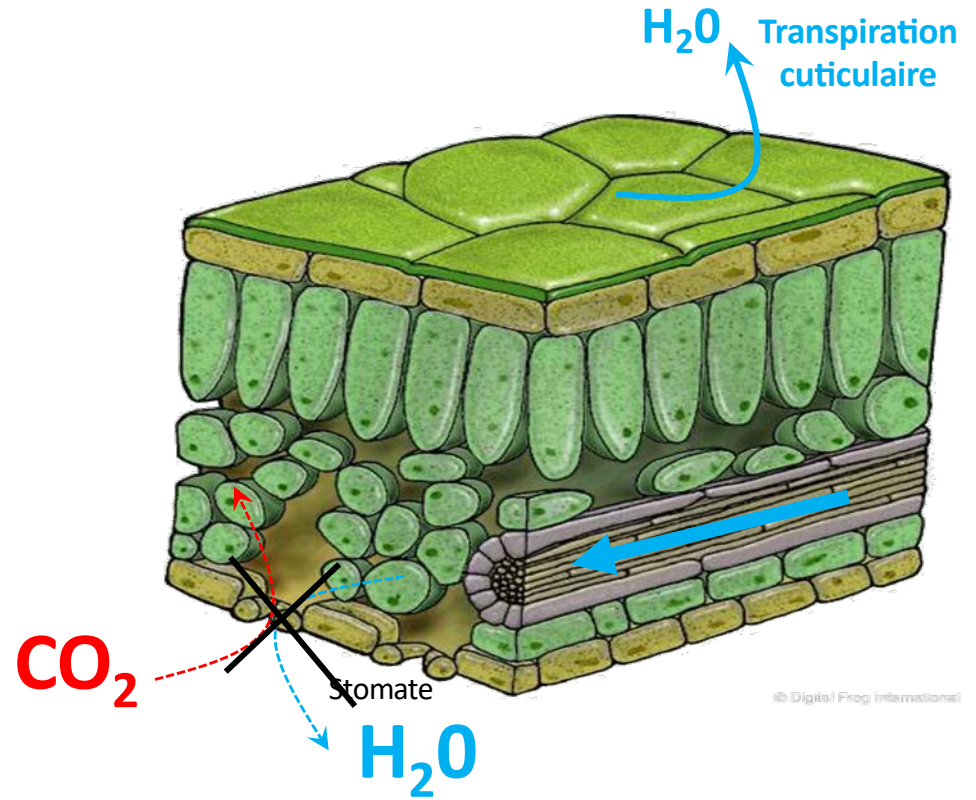
$\Psi_{\text{feuille}} = -2 \text{ MPa}$



$\Psi_{\text{soil}} = -1 \text{ MPa}$



Avec des conséquences sur la photosynthèse et les réserves

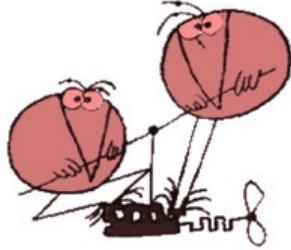


Baisse de la photosynthèse

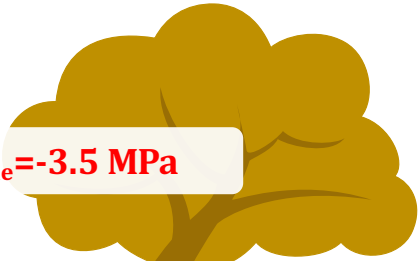
Réponses au stress hydrique : (2) La cavitation

$\Psi_{\text{atm}} = -10 \text{ to } -100 \text{ MPa}$

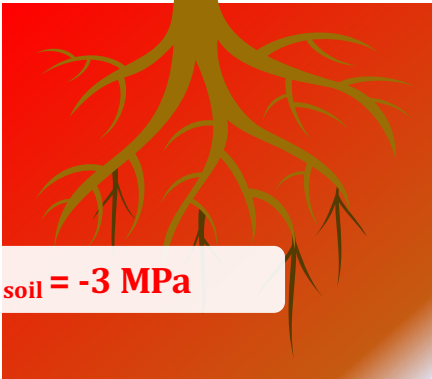
H₂O



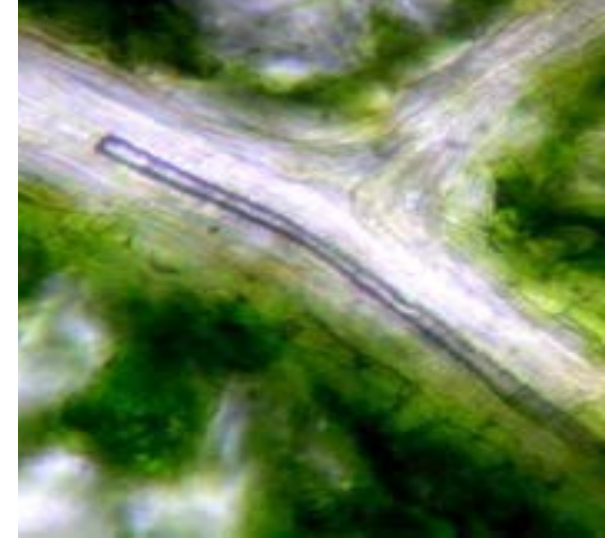
$\Psi_{\text{feuille}} = -3.5 \text{ MPa}$



$\Psi_{\text{soil}} = -3 \text{ MPa}$

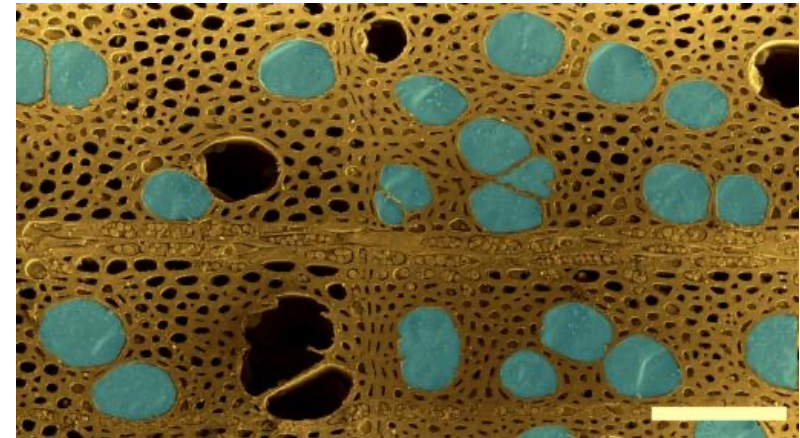


Cavitation



Embolie gazeuse

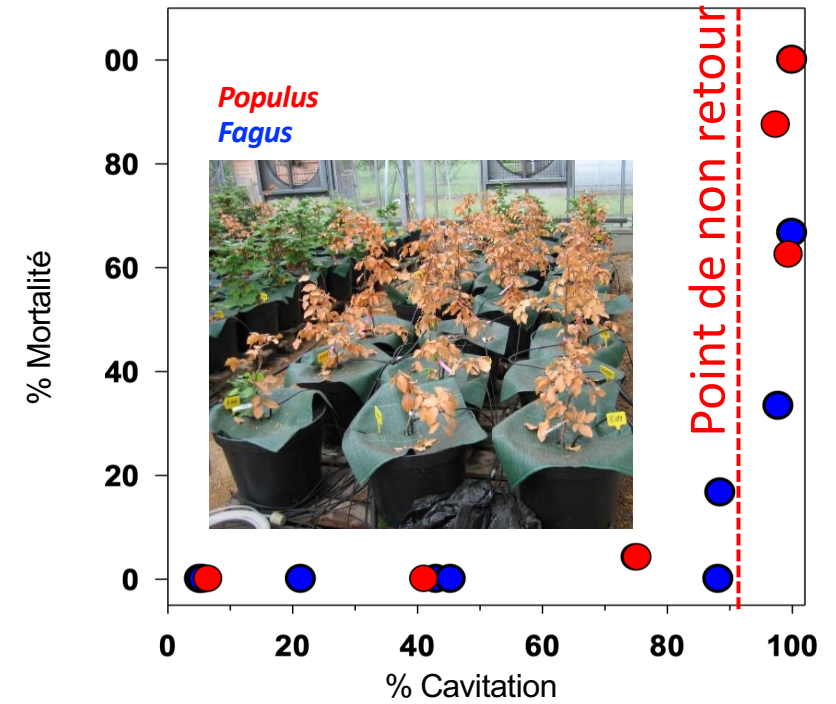
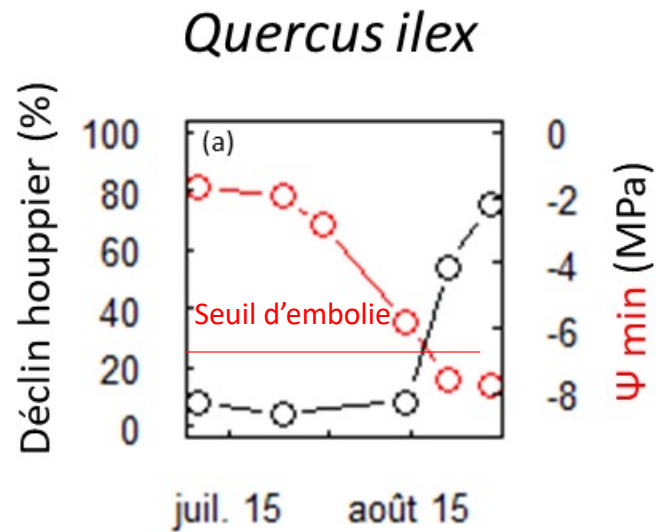
Processus irréversible



Réponses au stress hydrique : (2) La cavitation & la mortalité

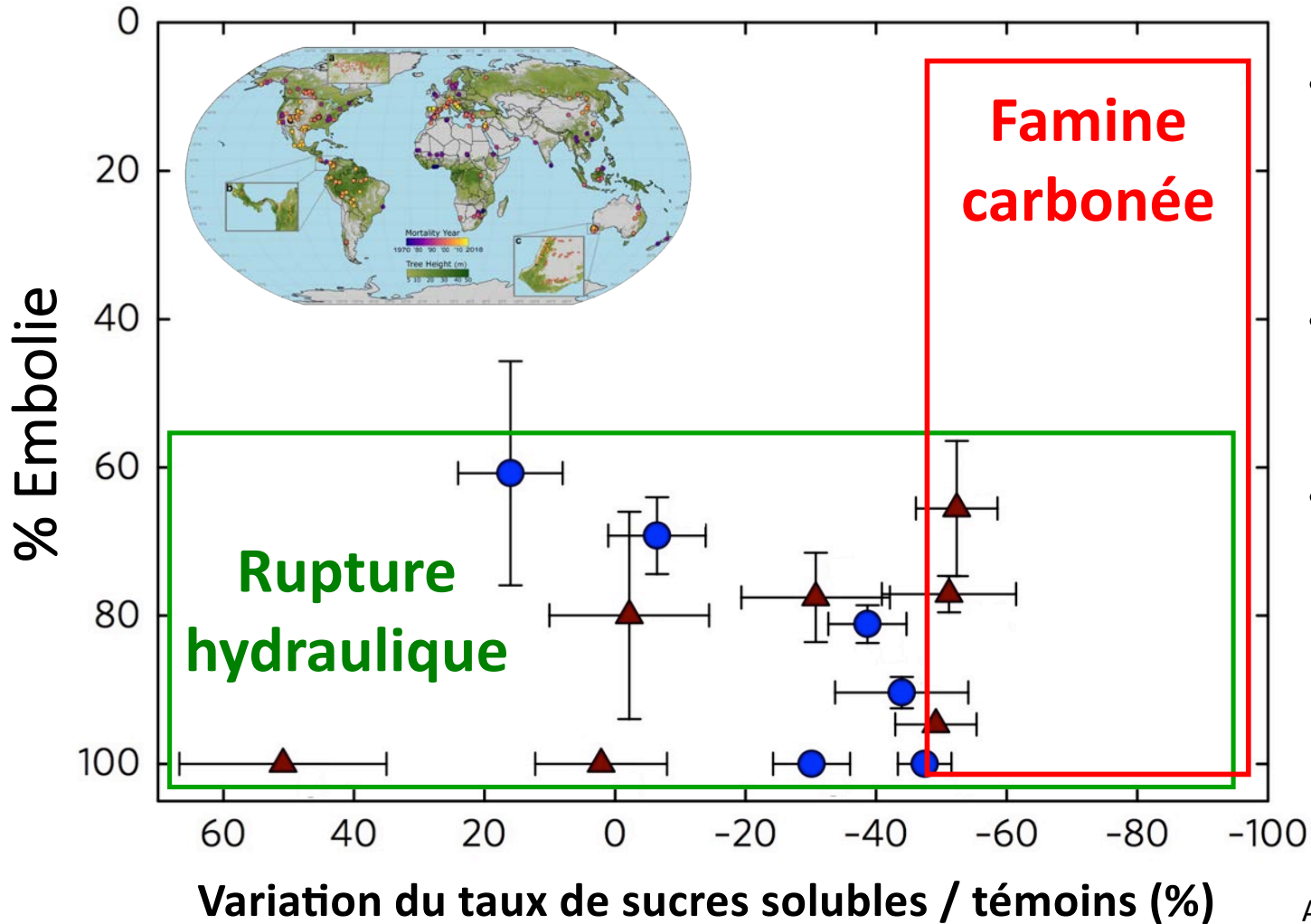


Capko et al in prep

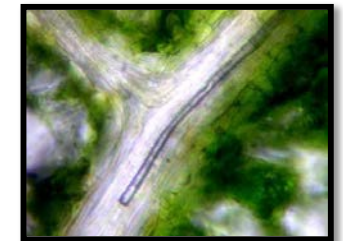


Barigah et al 2013

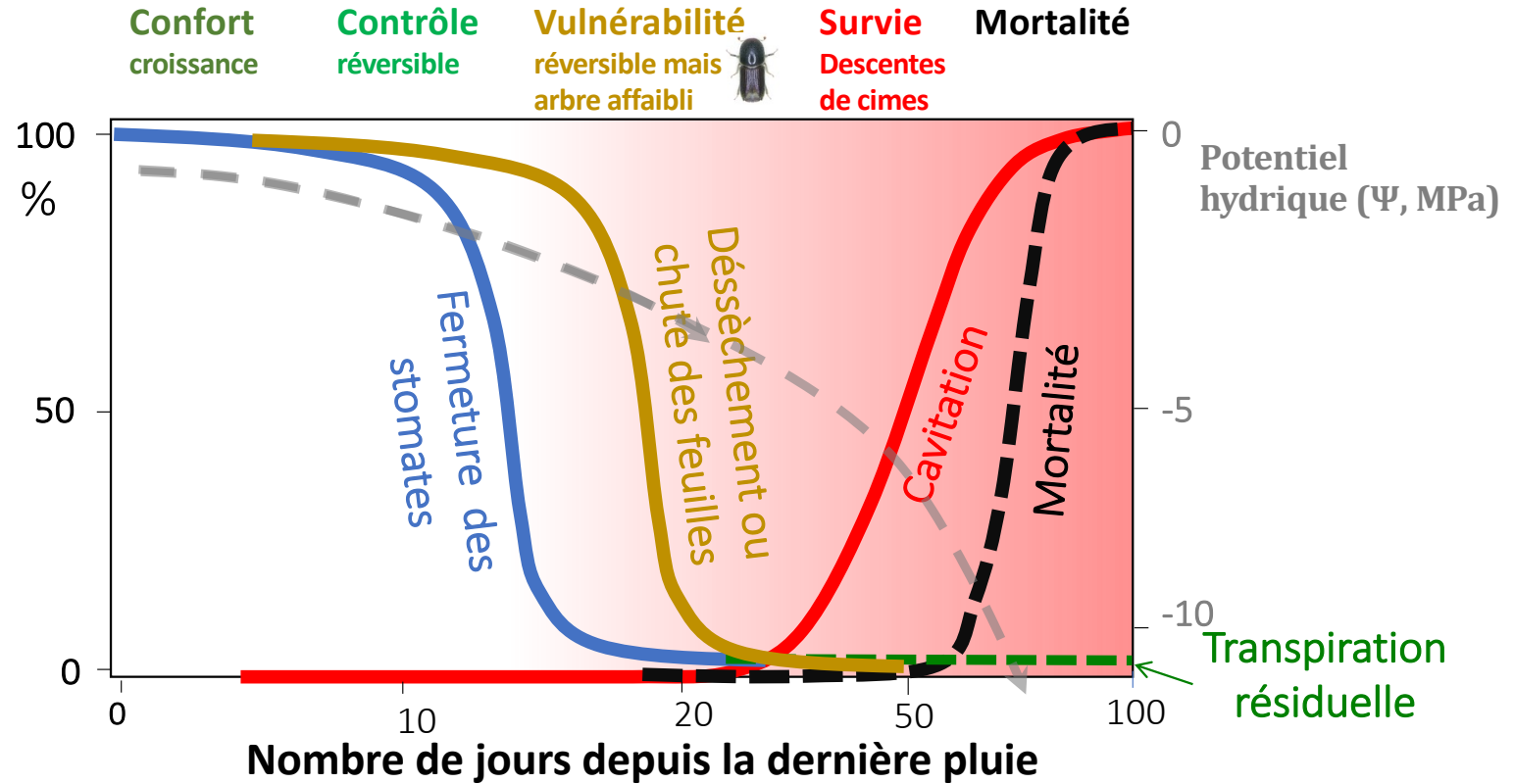
Réponses au stress hydrique : (2) La cavitation & la mortalité



- Les arbres meurent de soif en condition de sécheresse létales
- Plus capables de s'alimenter en eau
- A cause d'une rupture hydraulique de leur tissu transporteur de sève brute



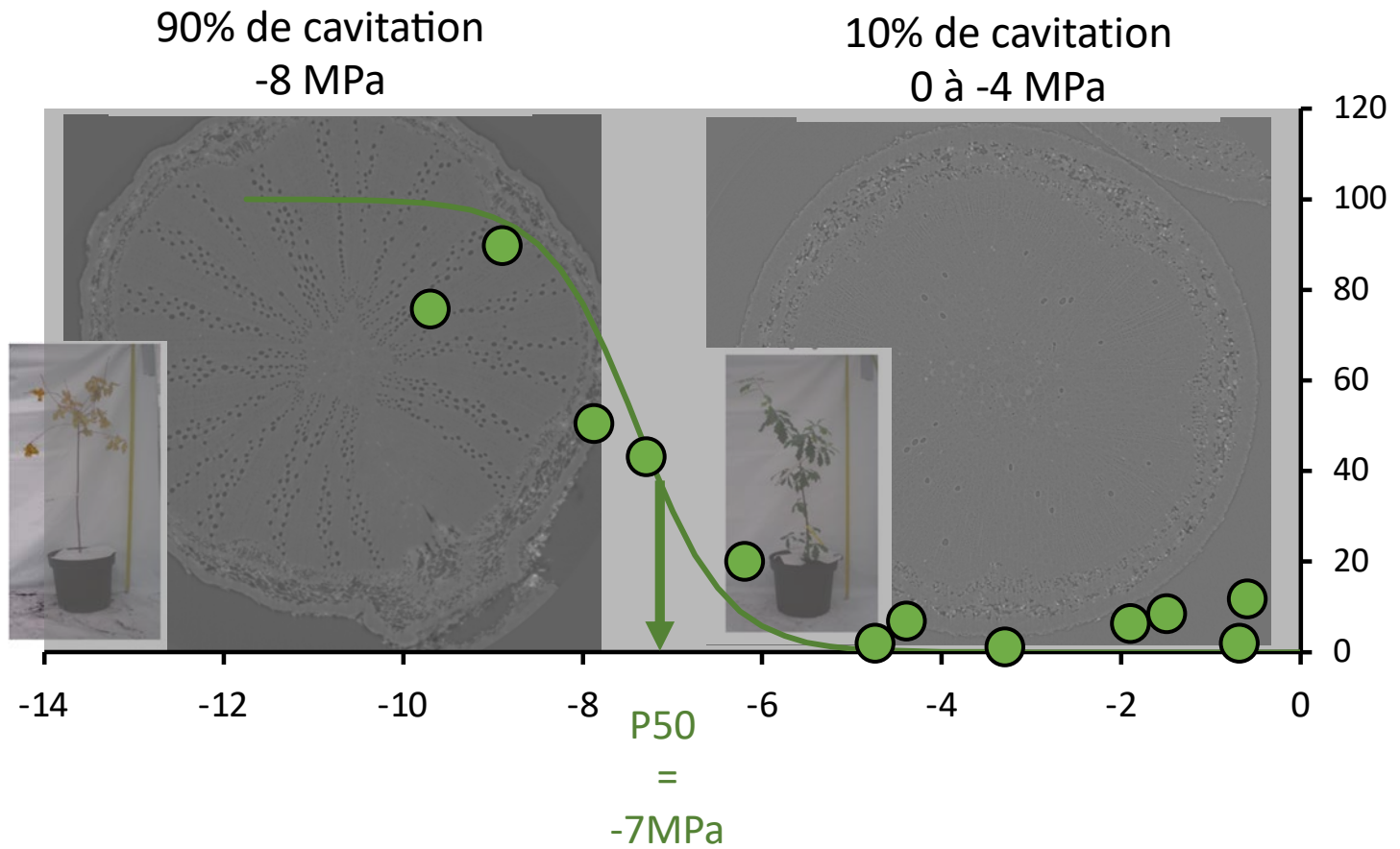
Séquence des réponses au stress hydrique



La résistance au stress hydrique

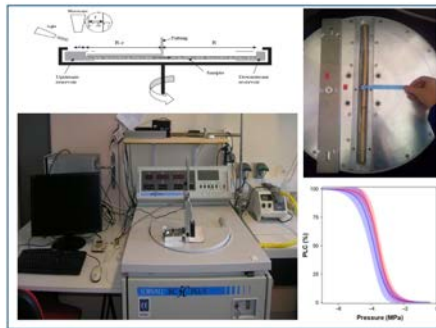


La résistance du xylème à la cavitation

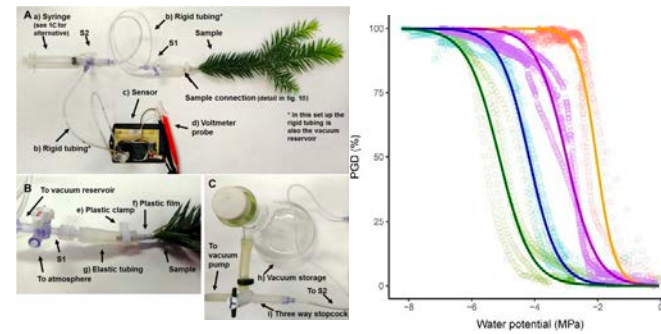


La résistance du xylème à la cavitation

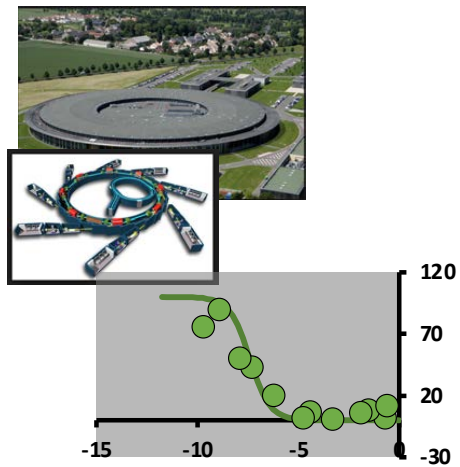
Hydraulique



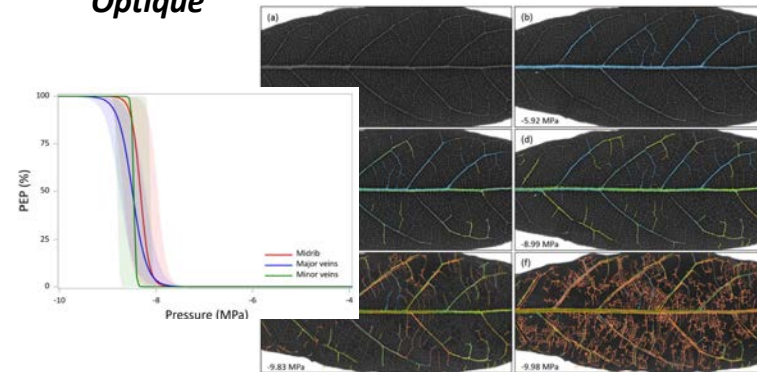
Pneumatique



Tomographie R-X

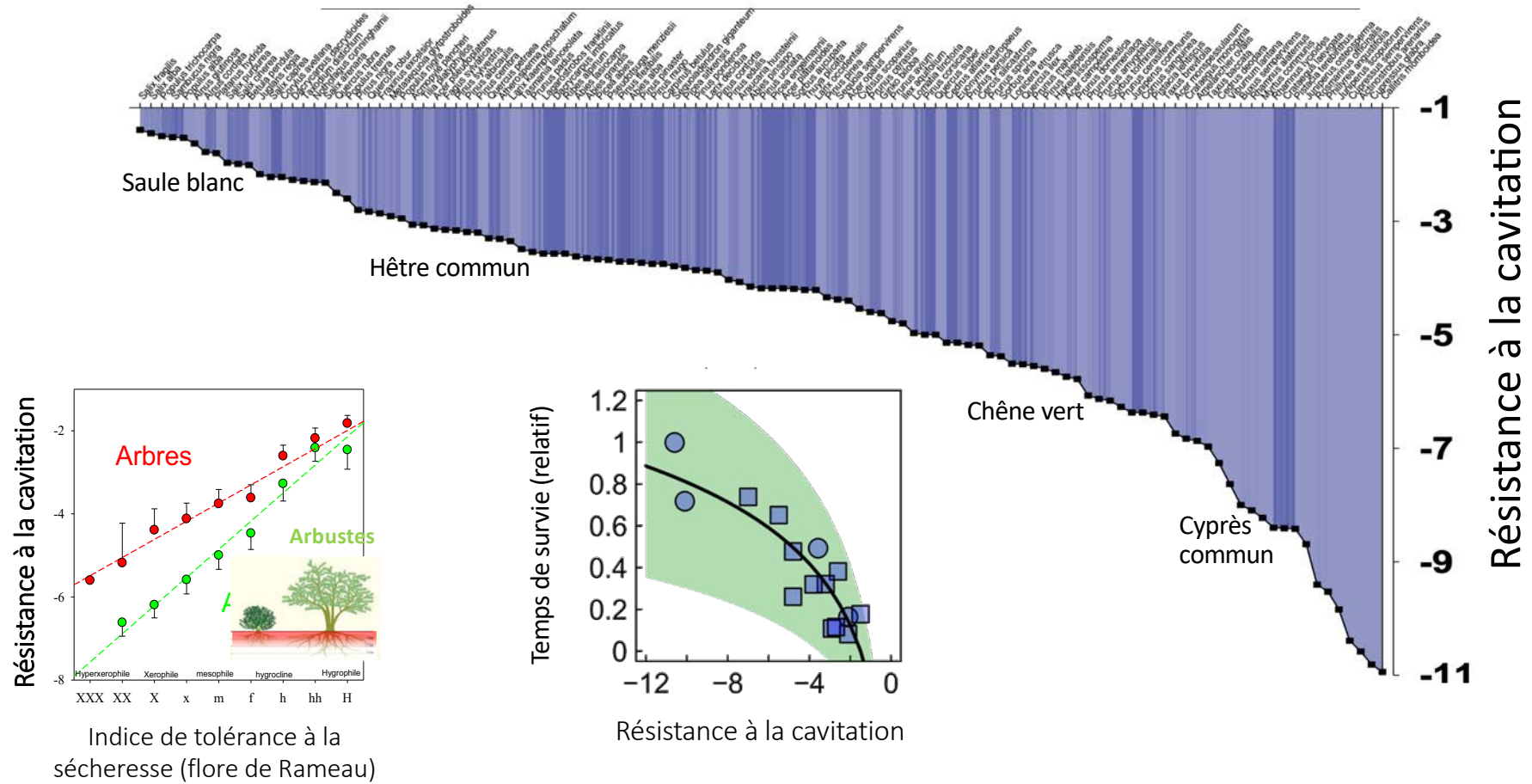


Optique

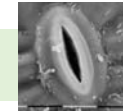


La résistance du xylème à la cavitation

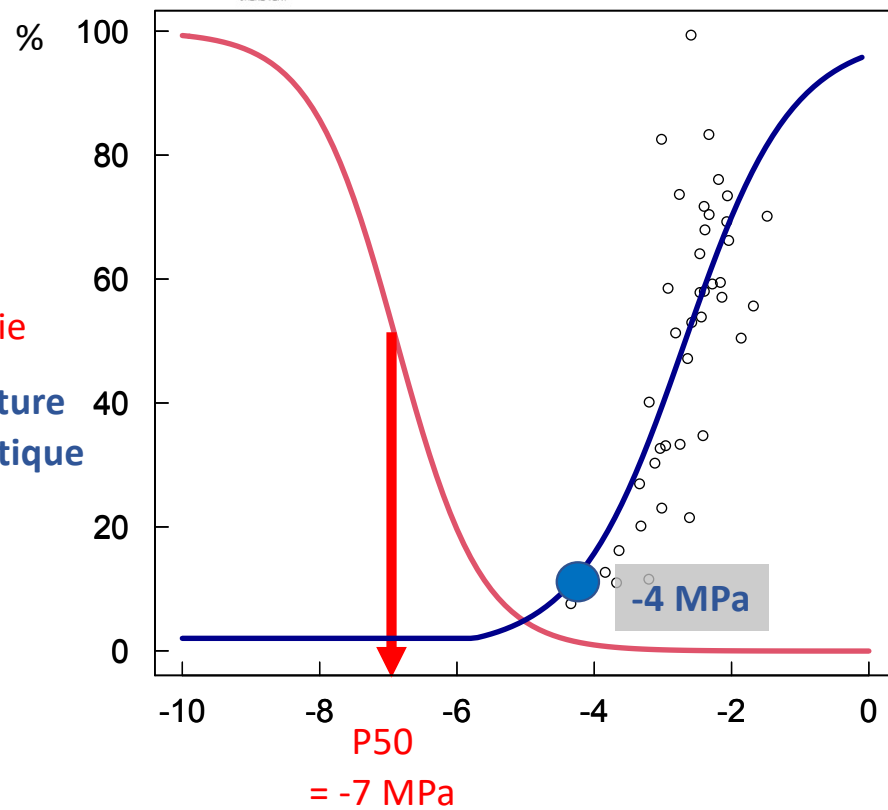
Variabilité de la résistance à la cavitation de la flore européenne (P50)



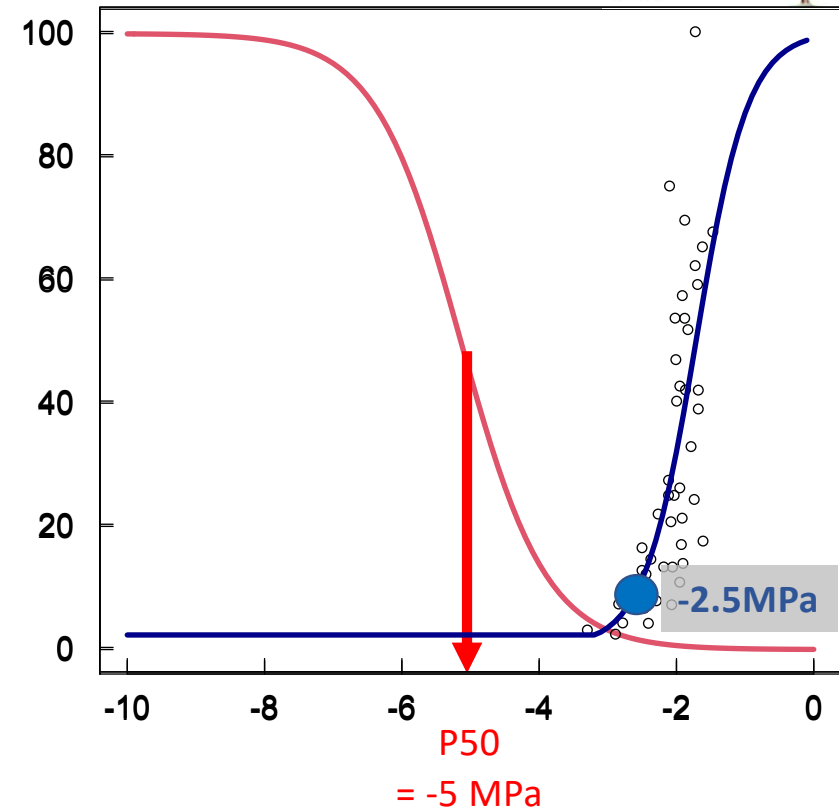
Mais aussi... le contrôle de la transpiration par les stomates



Chêne vert

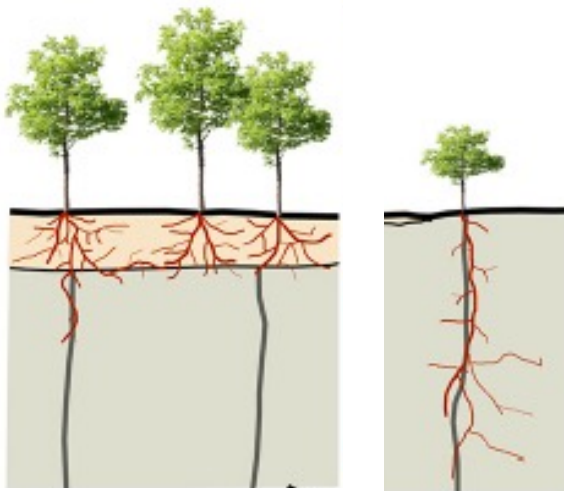
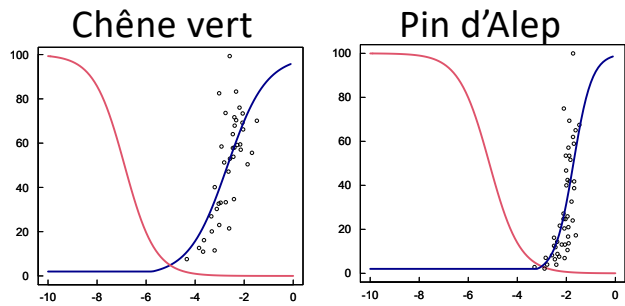


Pin d'Alep



Le contrôle de la transpiration est une stratégie d'évitement

Stratégies de réponse à la sécheresse



Résistance à la sécheresse

Esquive la saison sèche

Adaptation phénologique (certaines plantes annuelles, éphémérophytes du désert)

En forêt : chute précoce des feuilles, croissance en début de saison

Exposé à la sécheresse

Évitement

Maintien du potentiel hydrique foliaire de midi (isohydrie)

- Contrôle stomatique (on contrôle la consommation)
- Profondeur d'enracinement (on augmente l'approvisionnement)

Tolérance

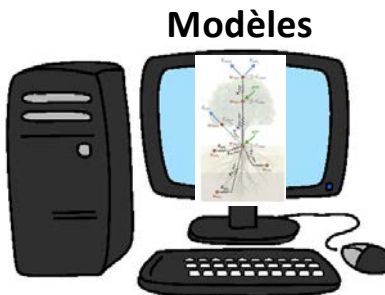
Chute du potentiel hydrique (anisohydrie)

- Résistance à la cavitation
- Osmorégulation
- Rigidité des parois cellulaires

La résistance à la cavitation est déterminante mais s'articule avec d'autres caractères autour de stratégie d'utilisation de l'eau

Conclusion

- ❖ Les arbres ont besoin de transpirer abondamment pour leur métabolisme
- ❖ Cette transpiration, passive, se fait grâce à un gradient de potentiel hydrique (Ψ) : une pression (négative!)
- ❖ Lors d'une sécheresse le potentiel chute et déclenche une suite de réponse :
 - Fermeture des stomates pour limiter la transpiration
 - Perte de croissance, perte de feuille
 - **Cavitation qui conduit au dessèchement et à la mortalité de l'arbre**
- **La résistance à la cavitation détermine la résistance à la sécheresse** mais avec d'autres caractères qui permettent notamment **d'éviter** la cavitation :
 - Contrôle stomatique de la transpiration
 - Profondeur racinaire
 - La surface foliaire etc...



Gratuit en téléchargement :

https://www.quae.com/produit/1724/9782759234585/forets-et-changement-climatique?affiliate_code=

Synthèses

FORÊTS ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Comprendre et modéliser
le fonctionnement hydrique des arbres

F. Courbet, C. Doussan, J.-M. Limousin,
N. Martin-StPaul, G. Simioni



éditions
Quæ