

L'hydraulique des espèces cultivées

Viviane Schell

Post-doctorante, UMR BIOGECO, Univ. De Bordeaux

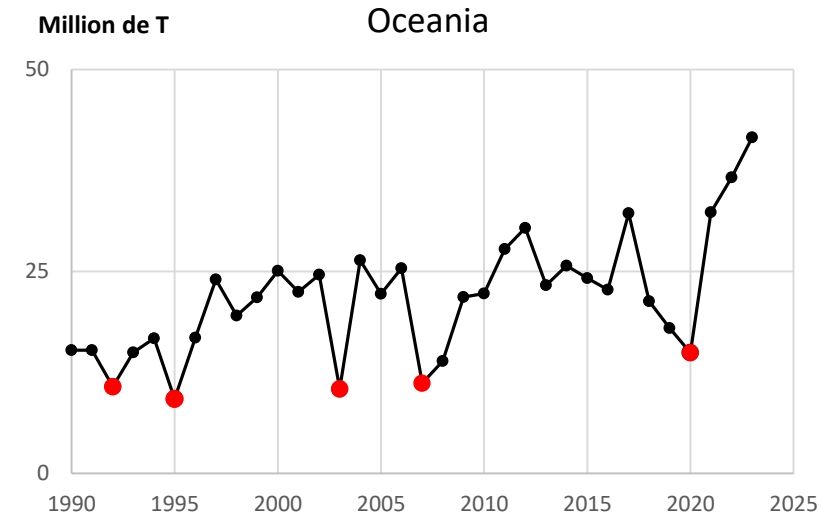
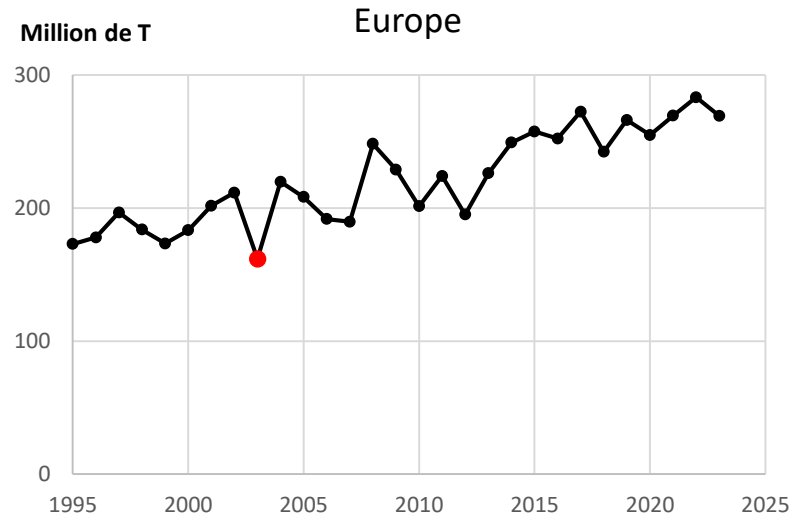
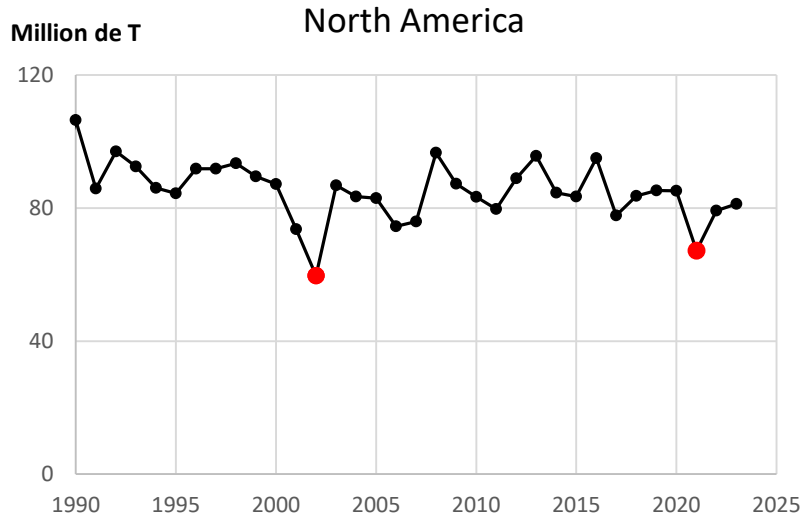
viviane.schell@u-bordeaux.fr



Introduction : Fonctionnement hydraulique de la plante et sélection variétale



Production mondiale mise à risque par les événements extrêmes



FAOSTAT

Les épisodes de sécheresse et les vagues de chaleur sont responsables de la variabilité des rendements agricoles

- -10% rdmt céréale
- -4% rdmt non-céréale (oléagineux, tubercules, fruits)

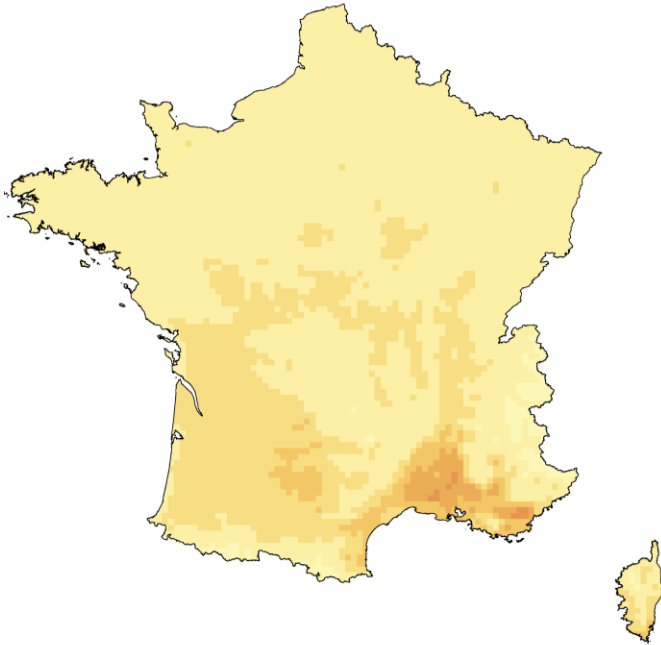
La fréquence et la sévérité de ces épisodes ont déjà triplé en 50 ans

(Bras et al. 2021; Lesk et al. 2016; Vogel et al. 2019)

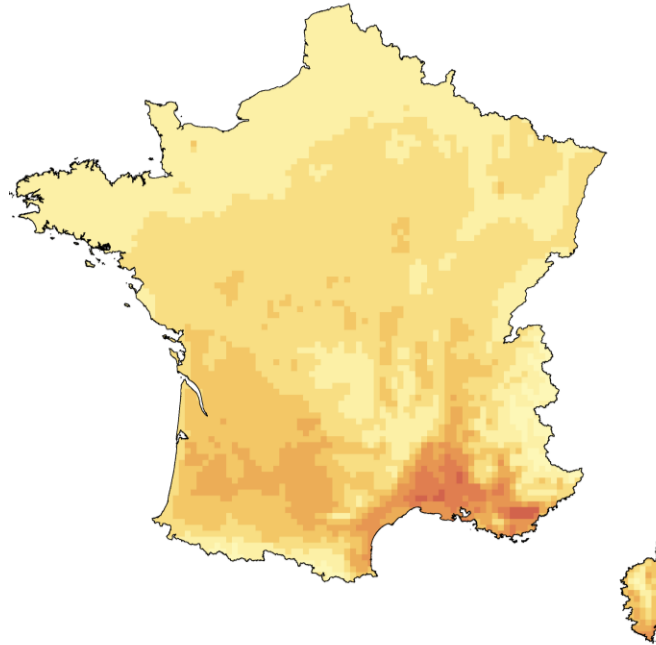
Le changement climatique

Nbr de jour > 30°C

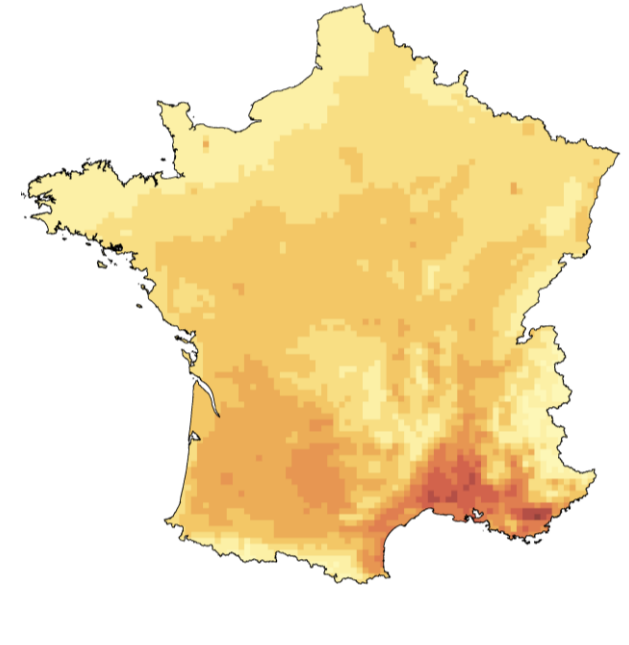
Période de référence (1976-2005)



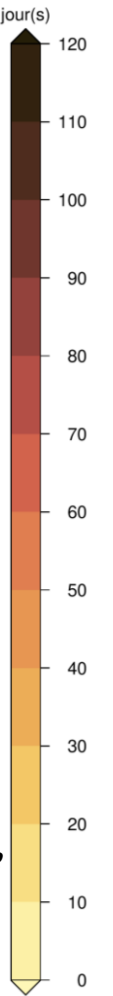
+2°C - Horizon 2030



+2,7°C - Horizon 2050



Données DRIAS_ Model TRACC-2023

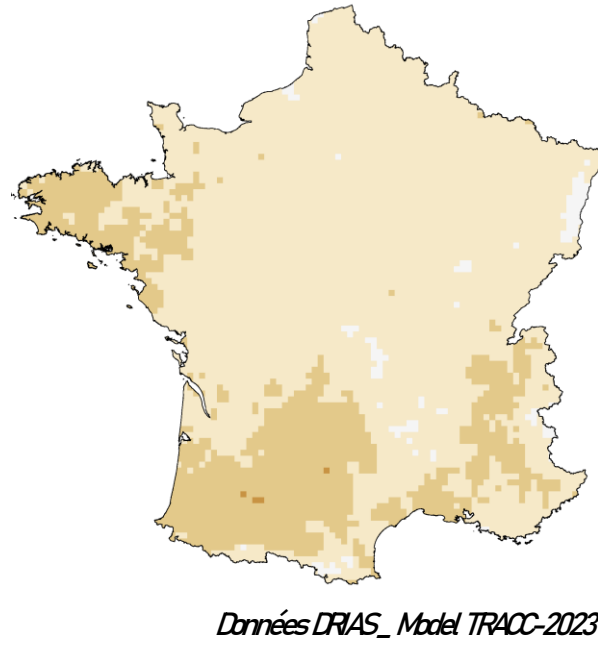
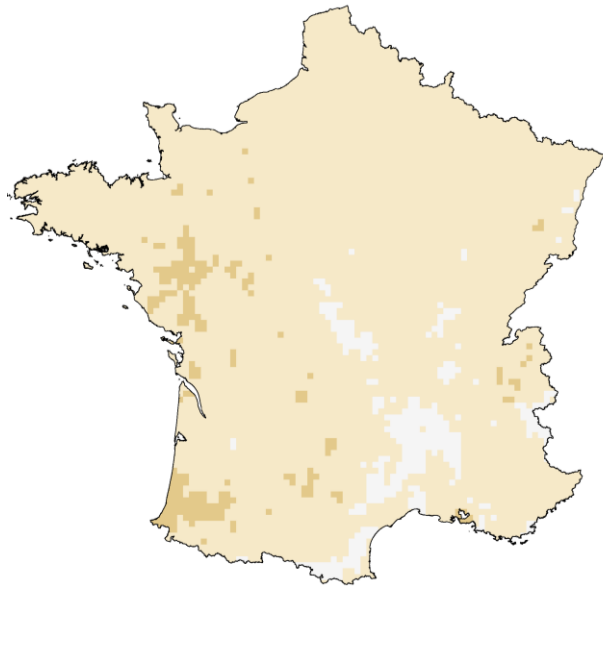


Le changement climatique

Ecart relatif du cumul de précipitation en été

Horizon 2030

Horizon 2050



Données DRIAS_ Model TRACC-2023

Pour chaque +1°C on baisse les rendements mondiaux :

- - 6% Blé
- - 3,2 % Maïs
- - 7,4 % Soja
- - 3,1 % Riz

(Sans adaptation ou amélioration génétique)

(Zhao et al. 2017)

Article | Published: 15 October 2018

Decreases in global beer supply due to extreme drought and heat

[Wei Xie](#) , [Wei Xiong](#), [Jie Pan](#), [Tariq Ali](#), [Qi Cui](#), [Dabo Guan](#) , [Jing Meng](#), [Nathaniel D. Mueller](#), [Erda Lin](#) 

& [Steven J. Davis](#)

[Nature Plants](#) 4, 964–973 (2018) | [Cite this article](#)

Quelles adaptations pour l'agriculture ?

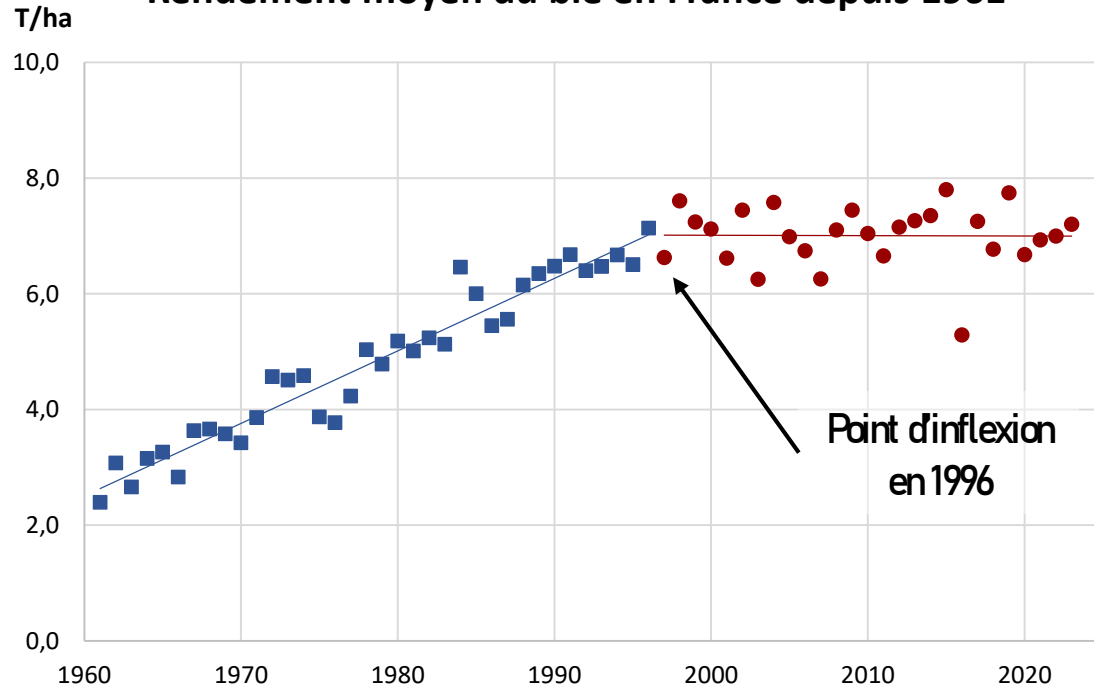


Augmentation des surfaces irrigables de 23% entre 2010 et 2020

(Agreste, recensement agricoles 2010 et 2020)

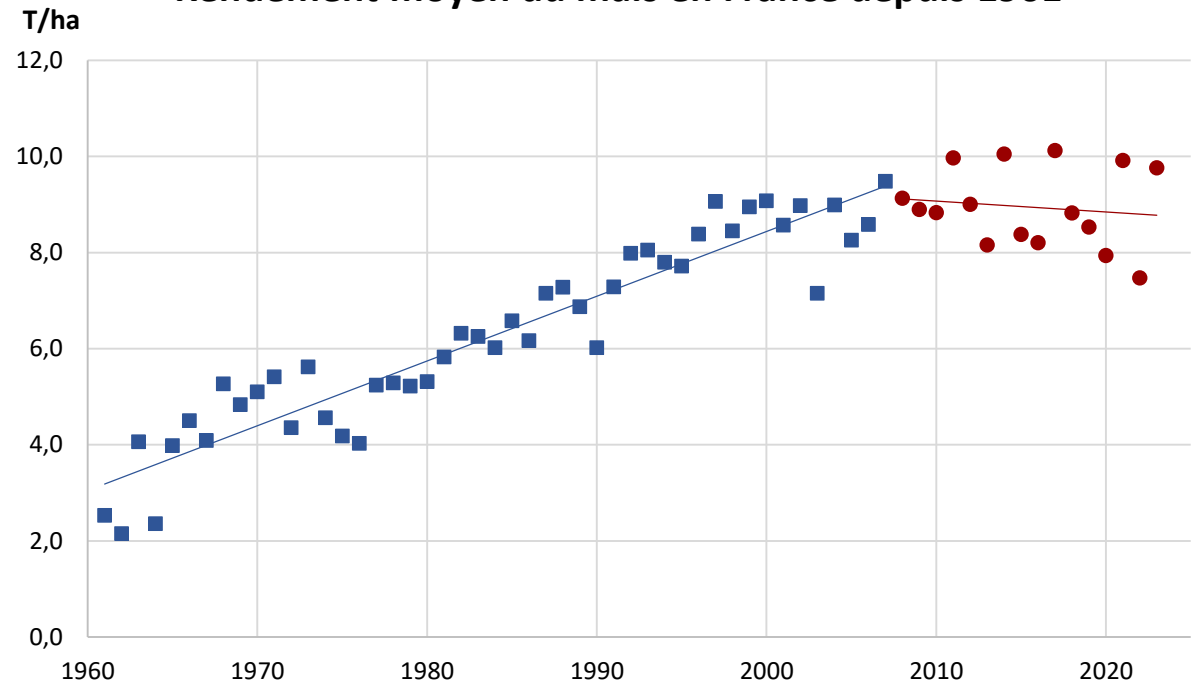
Quelles adaptations pour l'agriculture ?

Rendement moyen du blé en France depuis 1961



D'après Brisson et al. (2010)

Rendement moyen du maïs en France depuis 1961



Données FAO STAT

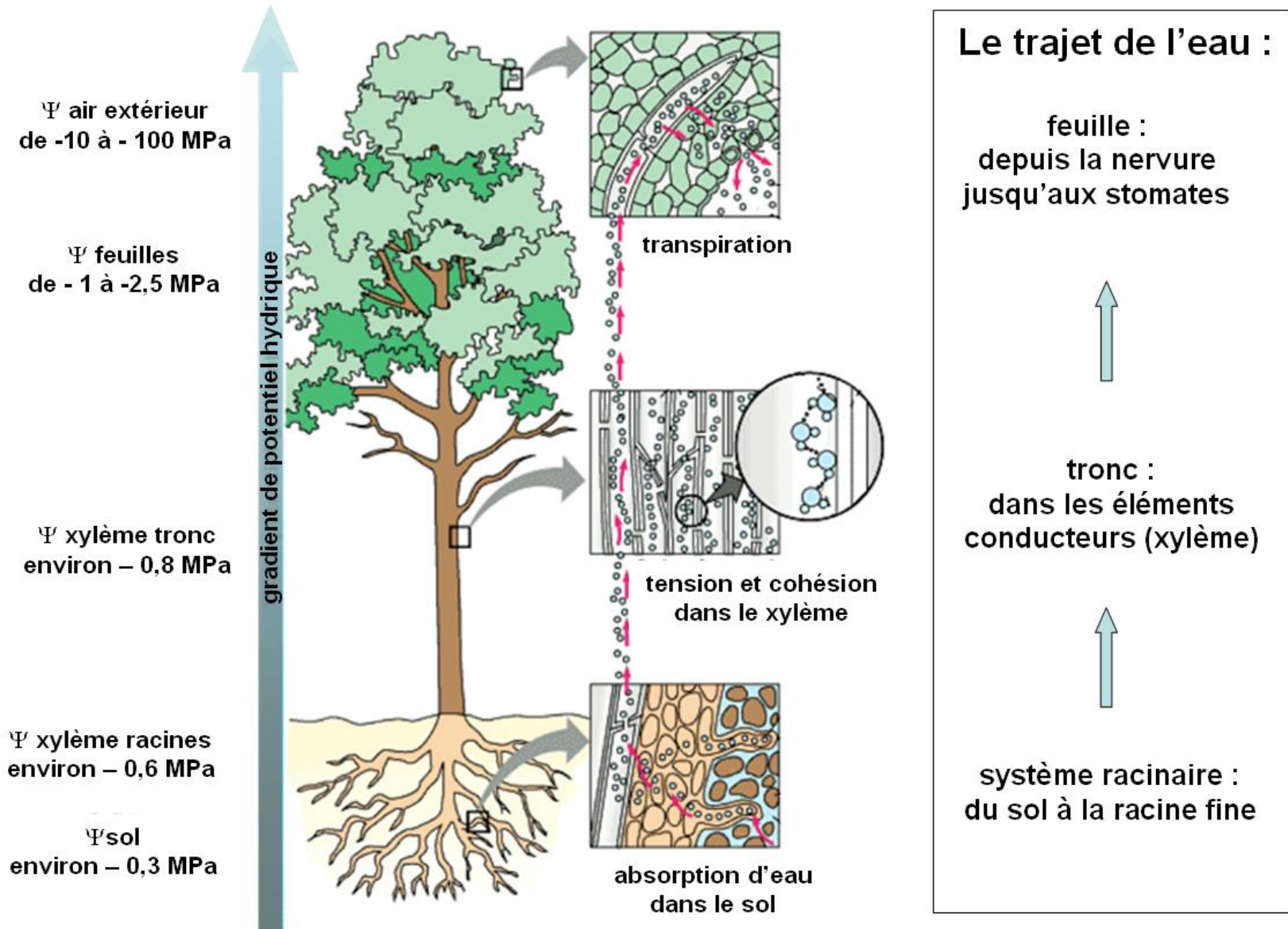
Historiquement, la sélection des cultures est basée sur l'amélioration génétique des traits liés au rendement
(Turner 2001)

Aujourd'hui elle ne permet plus de contrer les effets du réchauffement climatique

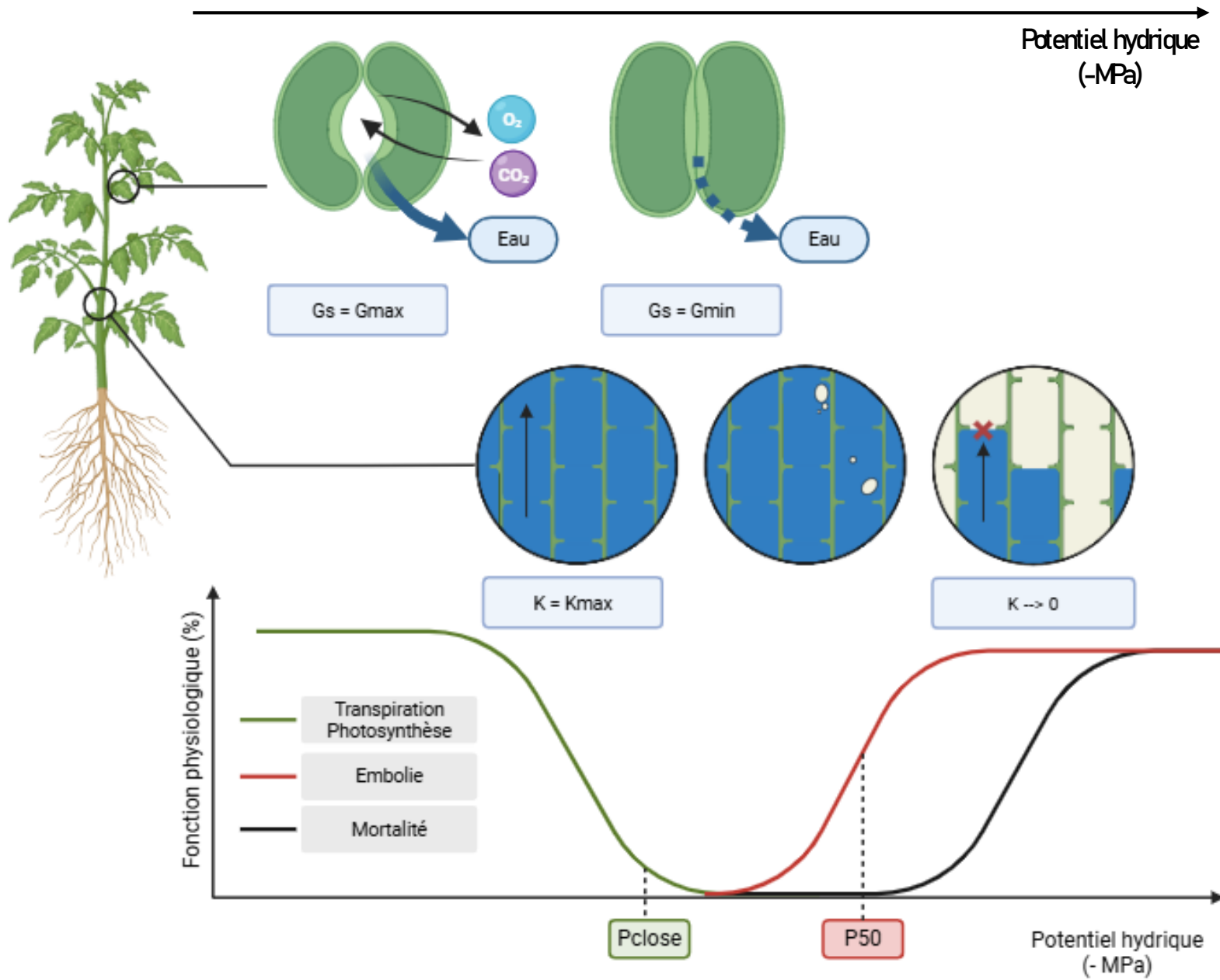
(Brisson et al. 2010)

L'architecture hydraulique des plantes

Théorie de la tension-cohésion
(Dixon 1896)



Dysfonctionnement du système hydraulique



Conductance stomatique (G_s): Taux d'échange gazeux au niveau des stomates

Conductivité hydraulique (K): L'aptitude d'un milieu poreux à laisser passer un fluide

Embolie: Formation de bulles d'air dans des vaisseaux

P50: Potentiel hydrique à 50% de perte de conductivité/d'embolie

La résistance à la sécheresse des plantes

Résistance au stress hydrique

Evitement

- Phénologie précoce
- Décalage des dates de semis

Exposition au stress

Régulation

Maintient du potentiel hydrique (meilleure acquisition ou réduction des pertes en eau)

- Régulation stomatique
- Arrêt du métabolisme

Tolérance

Maintient du métabolisme malgré une chute du potentiel hydrique

- Meilleure intégrité de l'appareil vasculaire
- Risque d'embolie

D'après Delzon et al. (2015)

En résumé :

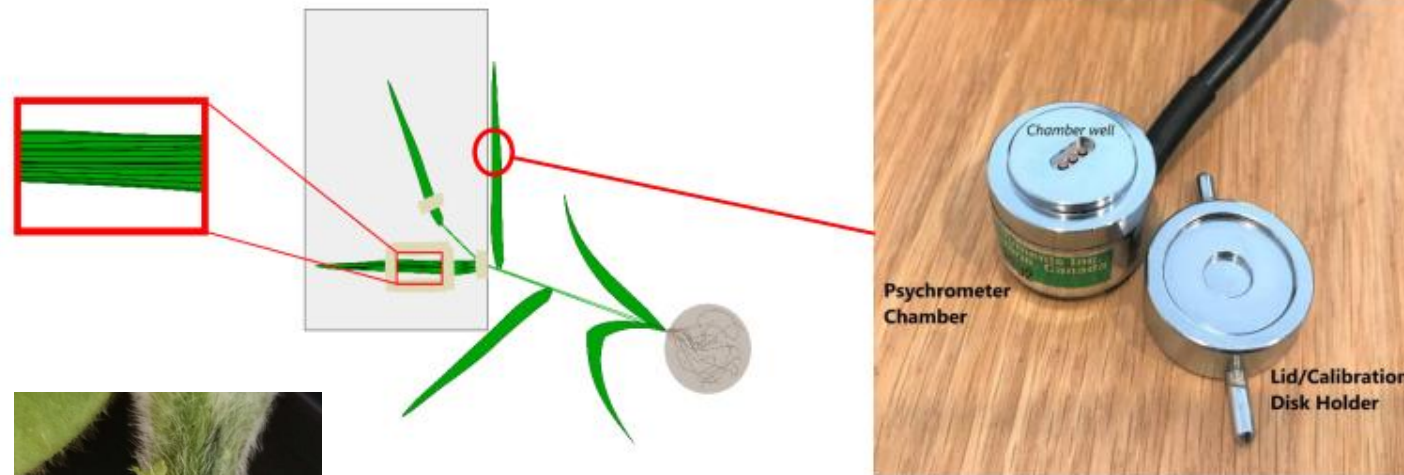
- L'augmentation de la fréquence et de la sévérité des épisodes de sècheresses impacte de plus en plus la production agricole mondiale. Le gain génétique ne permet plus de compenser l'évolution du climat.
- **Le dysfonctionnement hydraulique intervient lors d'un stress hydrique**, une fois les stomates fermées, la tension augmente dans les vaisseaux de xylèmes et cause la **formation de bulles d'embolie**.
- **L'embolie provoque une perte de conductivité des vaisseaux de xylème** ce qui impacte la productivité de la plante
- Plus la fermeture des stomates intervient tard, plus longtemps la plante peut continuer son métabolisme photosynthétique.

Variabilité de la résistance l'embolie et maintien de la productivité

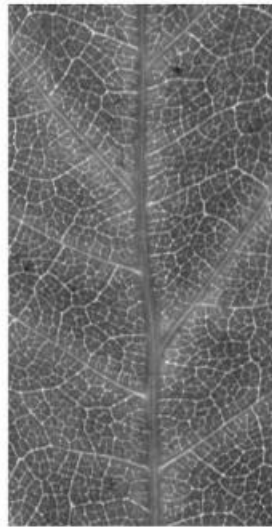


Mesurer la résistance à l'embolie : la technique optique

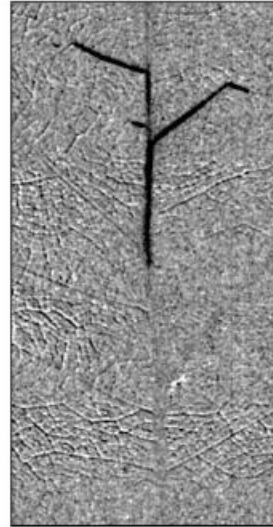
Utilise la différence de transmission de lumière à travers l'eau et l'air pour mettre en évidence les événements de cavitation



Mesurer la résistance à l'embolie : la technique optique



$\Psi_{\text{stem}} = -2.15 \text{ MPa}$
PEP = 55%



$\Psi_{\text{stem}} = -2.15 \text{ MPa}$
PEP = 55%



$\Psi_{\text{stem}} = -1.88 \text{ MPa}$
PEP = 15%



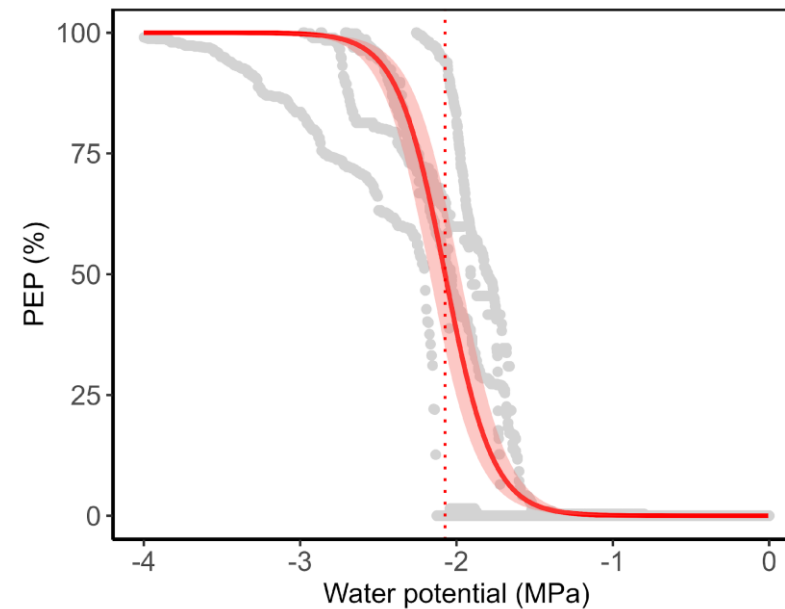
$\Psi_{\text{stem}} = -2.14 \text{ MPa}$
PEP = 50%



$\Psi_{\text{stem}} = -2.29 \text{ MPa}$
PEP = 85%

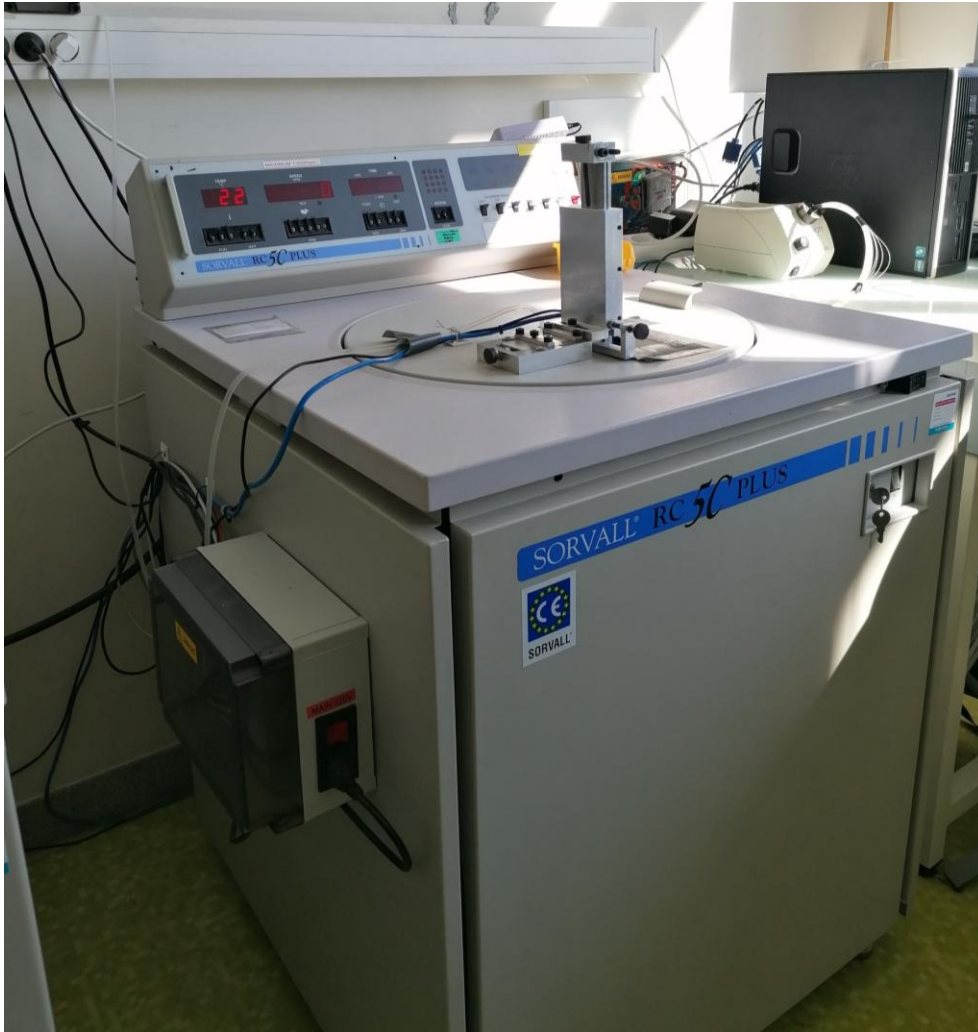


$\Psi_{\text{stem}} = -2.52 \text{ MPa}$
PEP = 100%



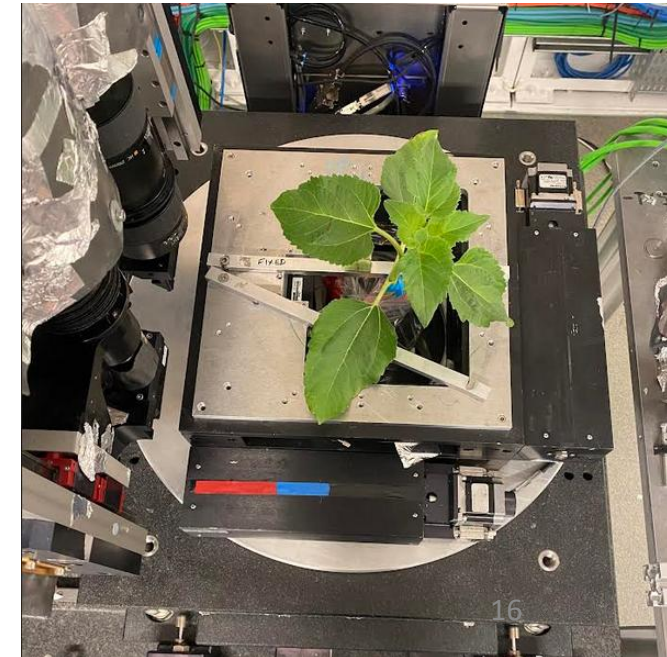
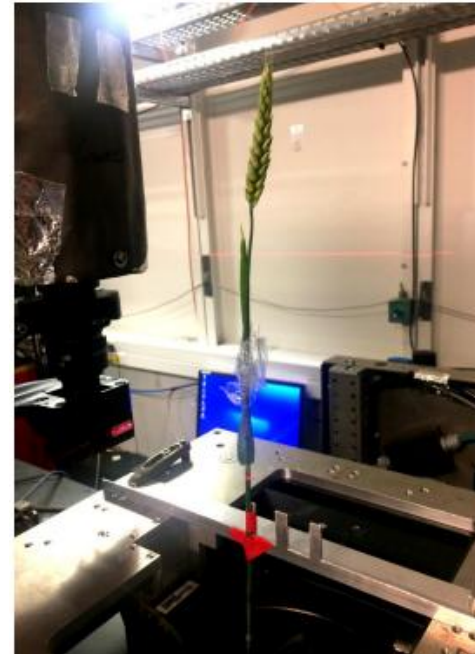
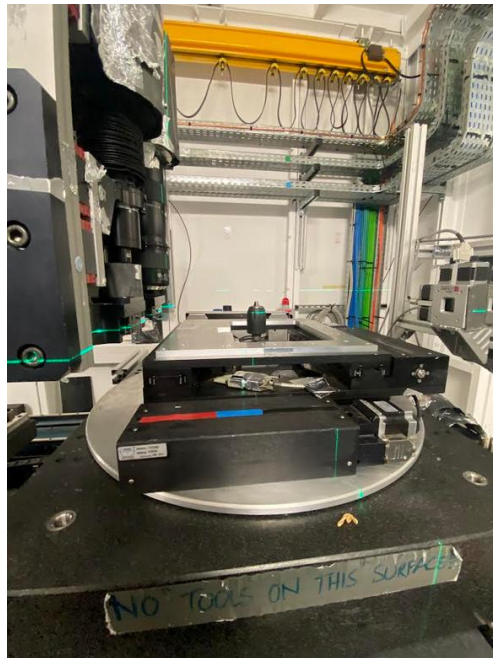
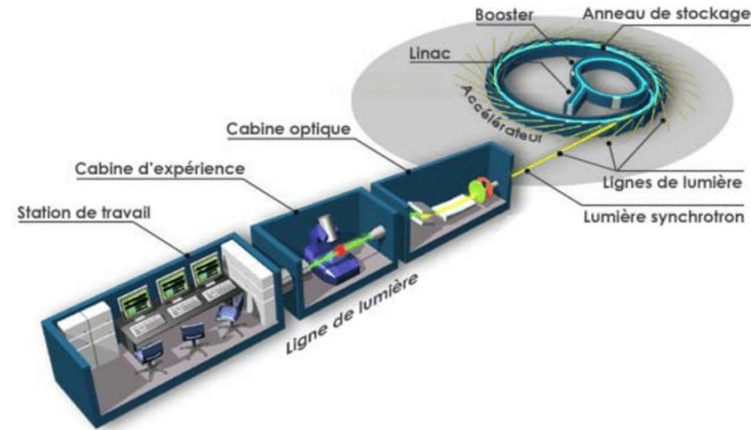
Mesurer la résistance à l'embolie : le cavitron

Utilise la force centrifuge pour établir une pression négative dans le xylème et évaluer la perte de conductivité due à la formation d'embolie

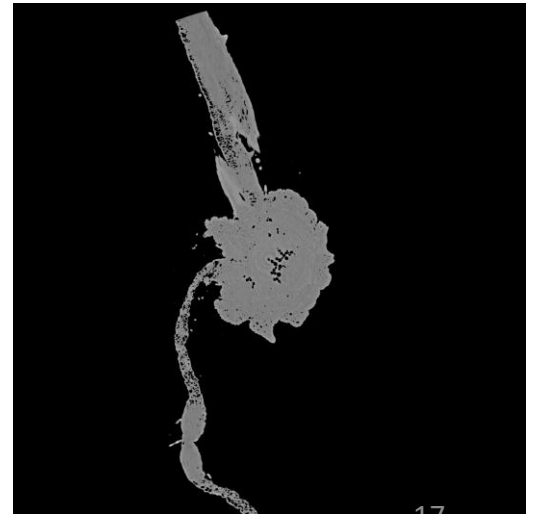
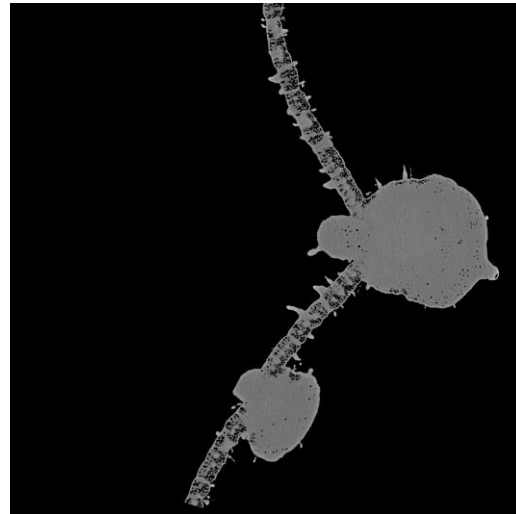
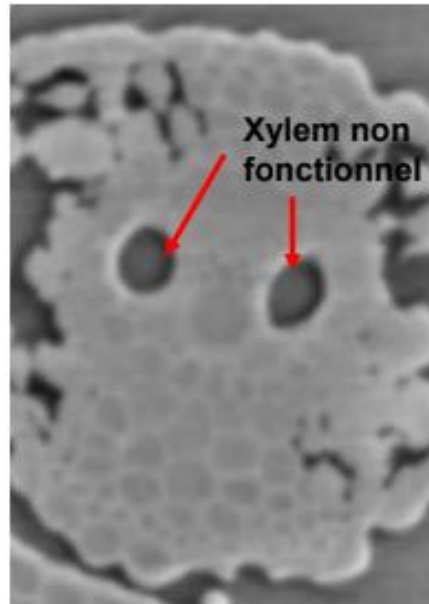
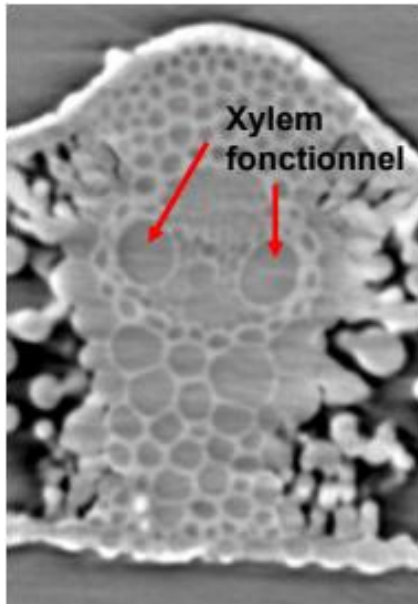


Mesurer la résistance à l'embolie : la microtomographie à rayon X

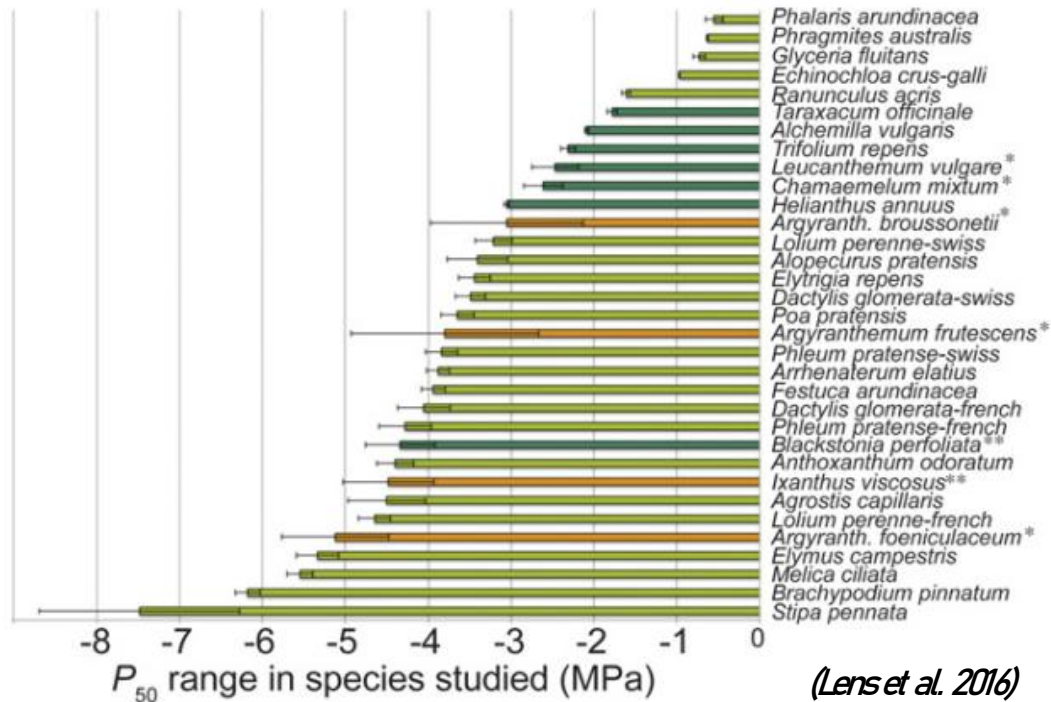
Utilise la différence de transmission des rayons X à travers l'eau et l'air pour observer les vaisseaux embolisés



Mesurer la résistance à l'embolie : la microtomographie à rayon X

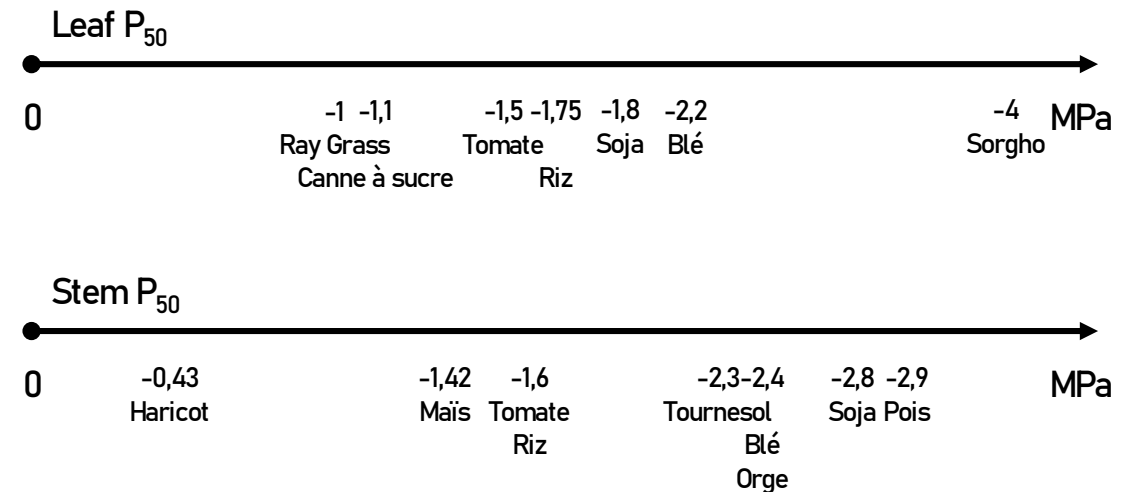


Résistance à l'embolie : variabilité interspécifique



Une grande variabilité intraspécifique parmi les espèces herbacées sauvages : P_{50} de 0,5 MPa à -7,5 MPa.

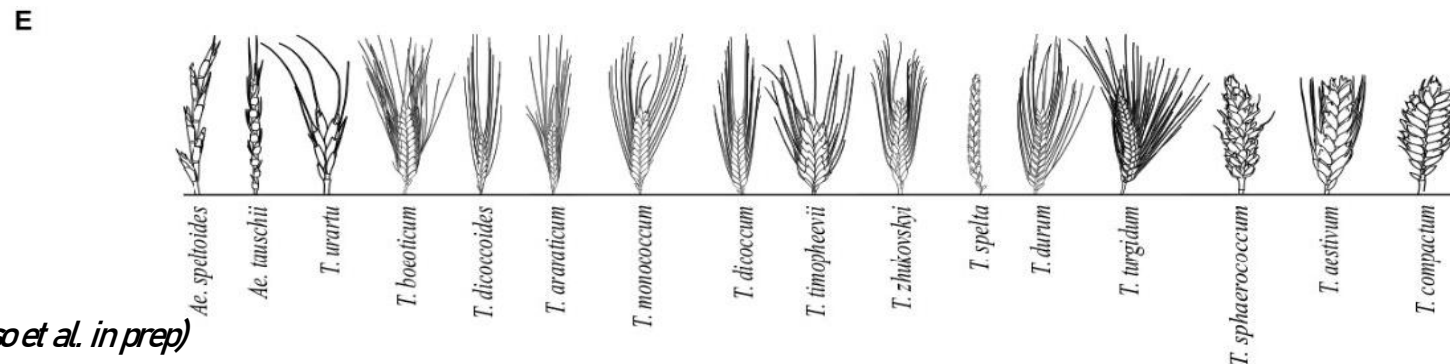
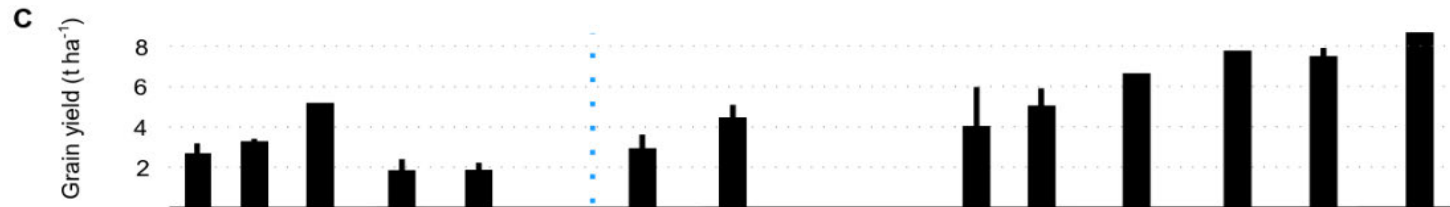
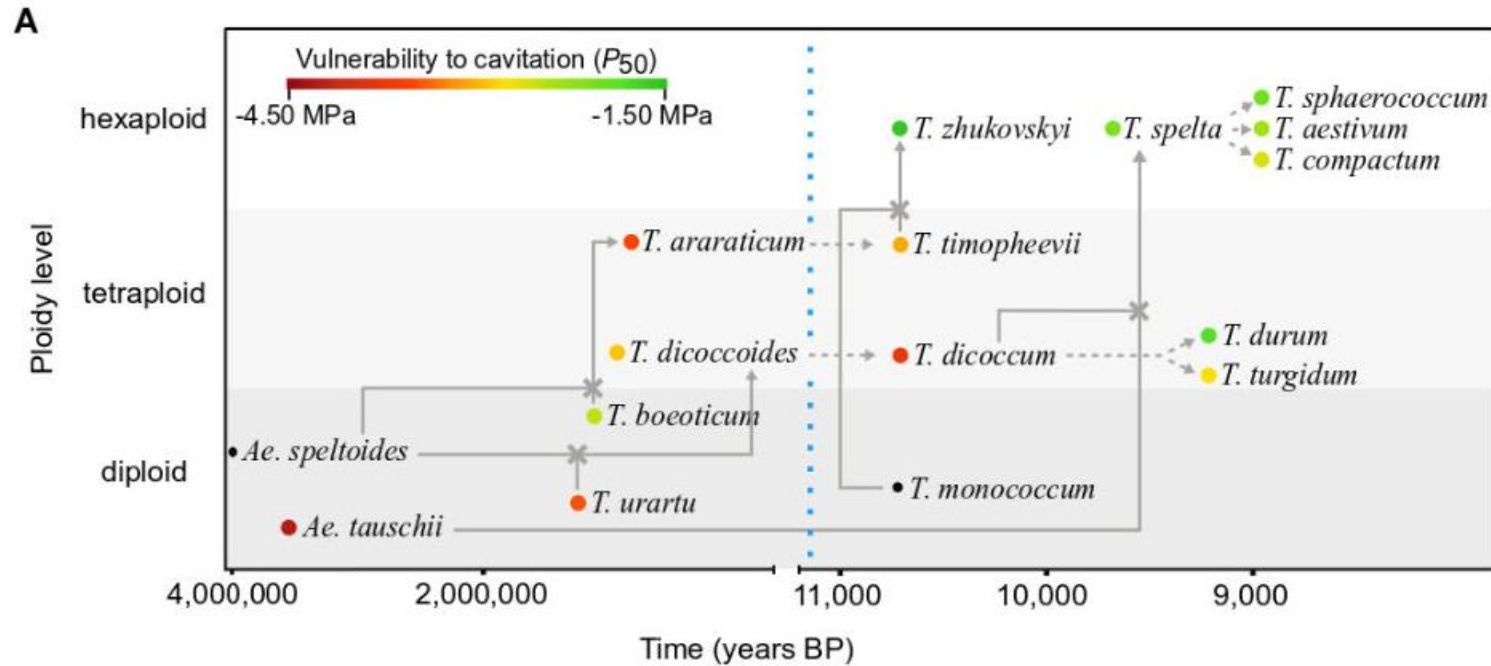
Qu'en est-il des espèces cultivées ?



On a bien une variabilité interspécifique de la résistance à l'embolie des espèces cultivées.

Espèce plus vulnérables que les espèces sauvages : $P_{50} > -4$ MPa.

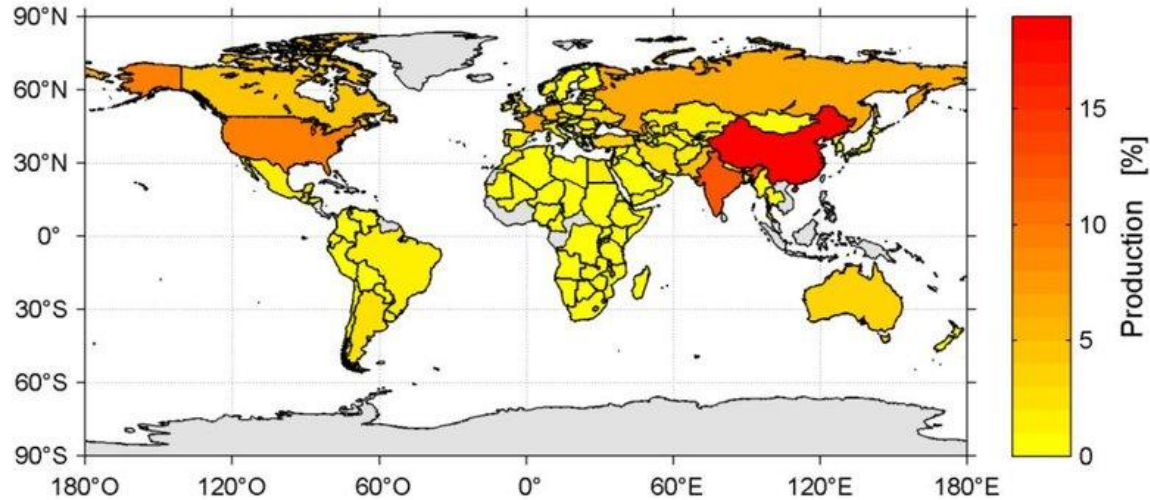
Domestication du blé et perte de résistance à l'embolie



Y a-t-il un compromis entre productivité et sécurité de l'appareil hydraulique ?

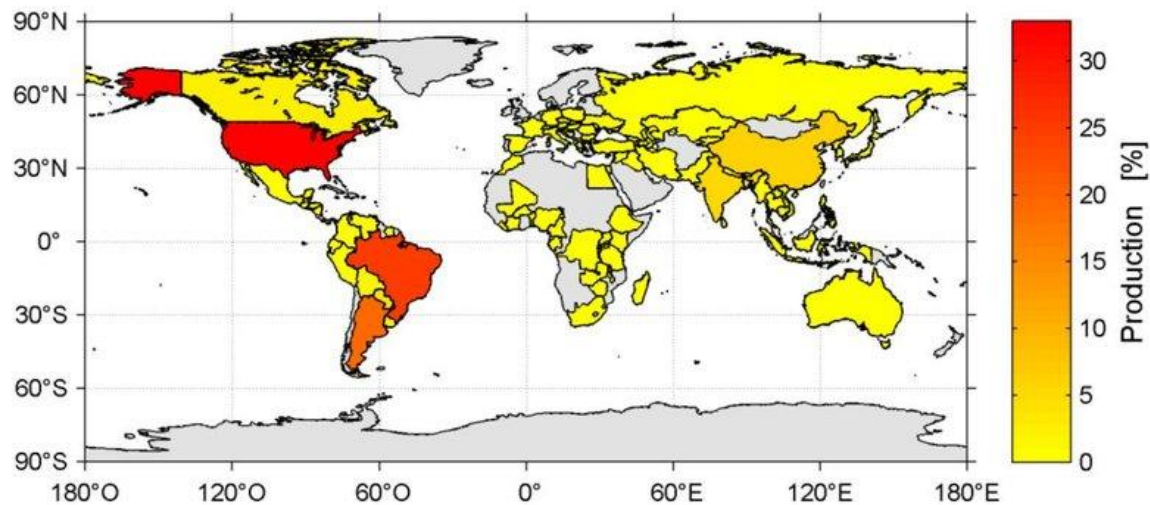
Résistance à l'embolie : variabilité intraspécifique

Production mondiale de blé en 2010



Des espèces réparties sur tout le globe → impossible d'évaluer une culture sur une moyenne/sur une seule variété.

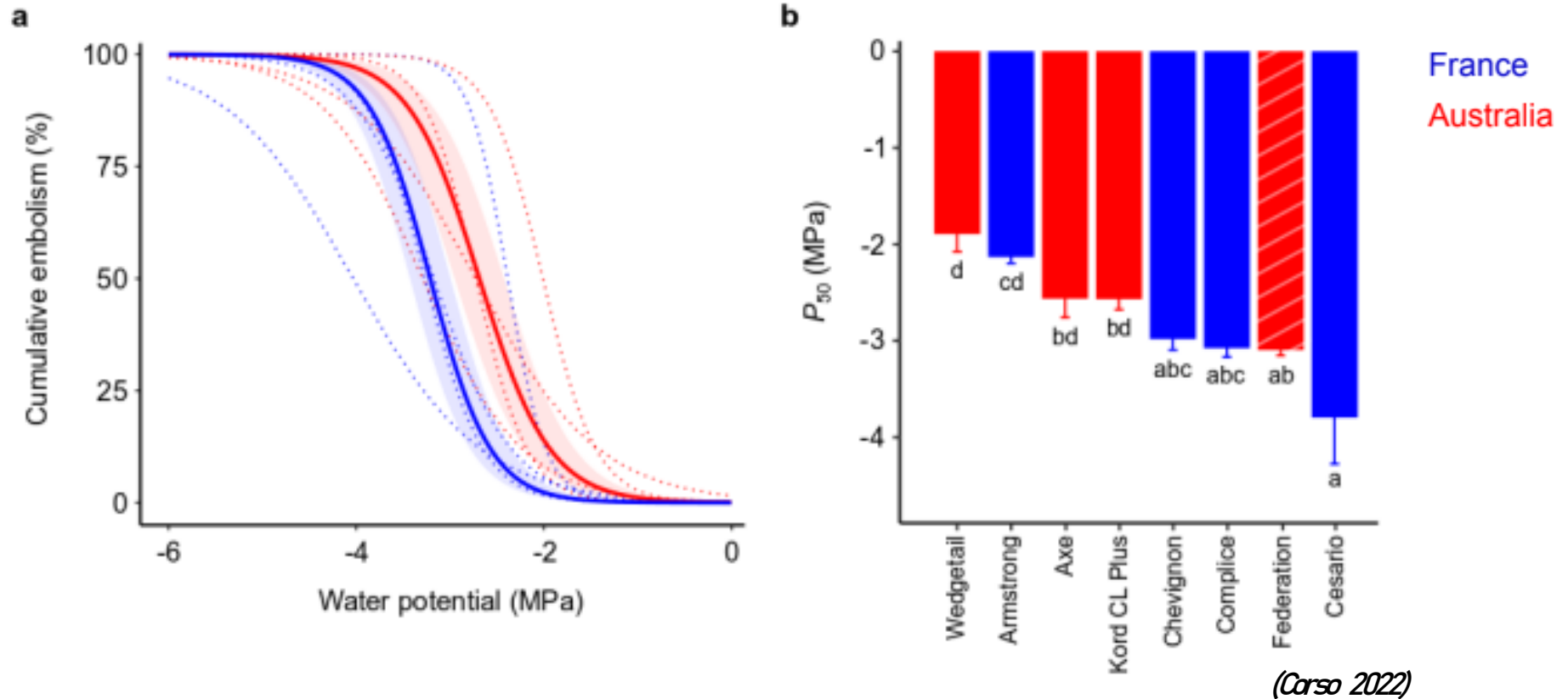
Production mondiale de soja en 2010



Y a-t-il une variabilité intraspécifique ?
Est-elle liée à la distribution géographique ?

Résistance à l'embolie : variabilité intraspécifique

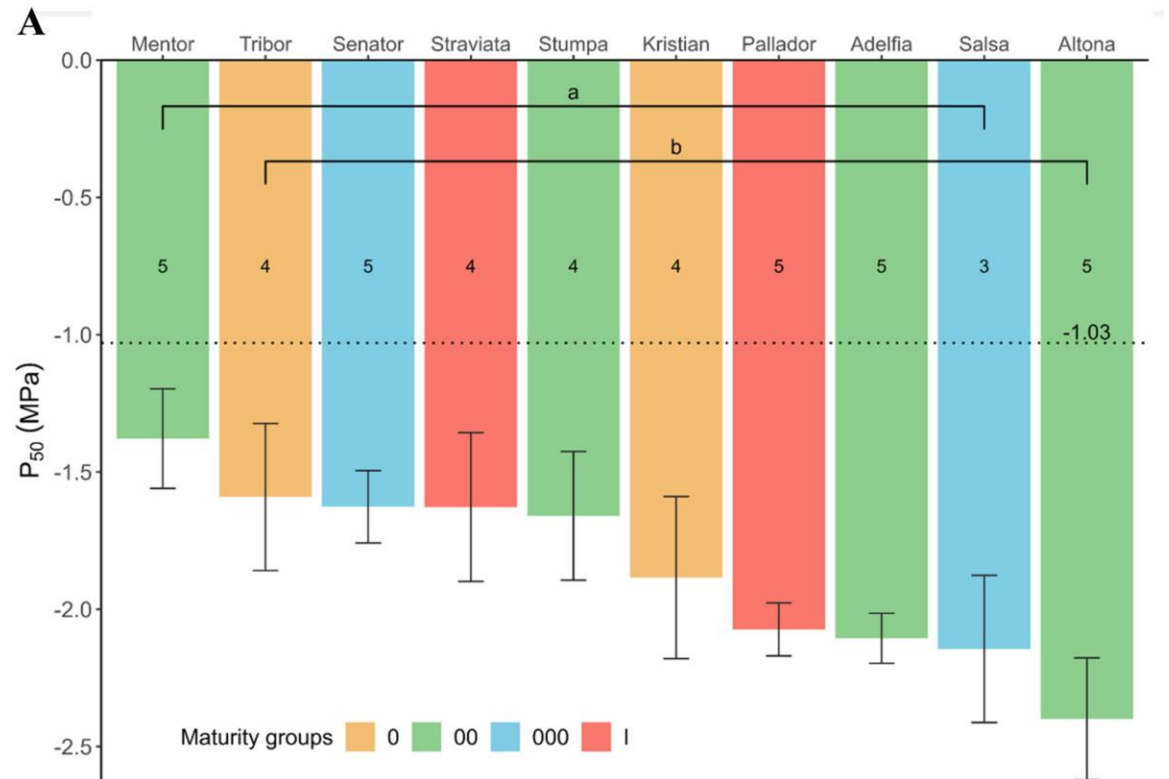
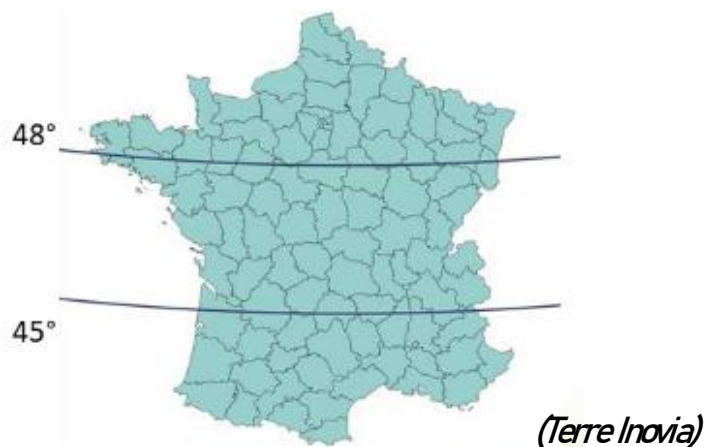
Comparaison de la résistance à l'embolie de variété de blé d'origine française et australienne



On a bien un variabilité de le P50, mais pas de différence entre variété française et australienne.

Résistance à l'embolie : variabilité intraspécifique

	$\Sigma^{\circ}\text{C.j}$ (base 6) semis – maturité (R8)		
	Latitude < 45°	Latitude entre 45° et 48°	Latitude > 48°
Groupe II	2100	2100	-
Groupe I	2000	2000	-
Groupe 0	1950	1850	-
Groupe 00	1700	1700	1600
Groupe 000	-	1600	1550

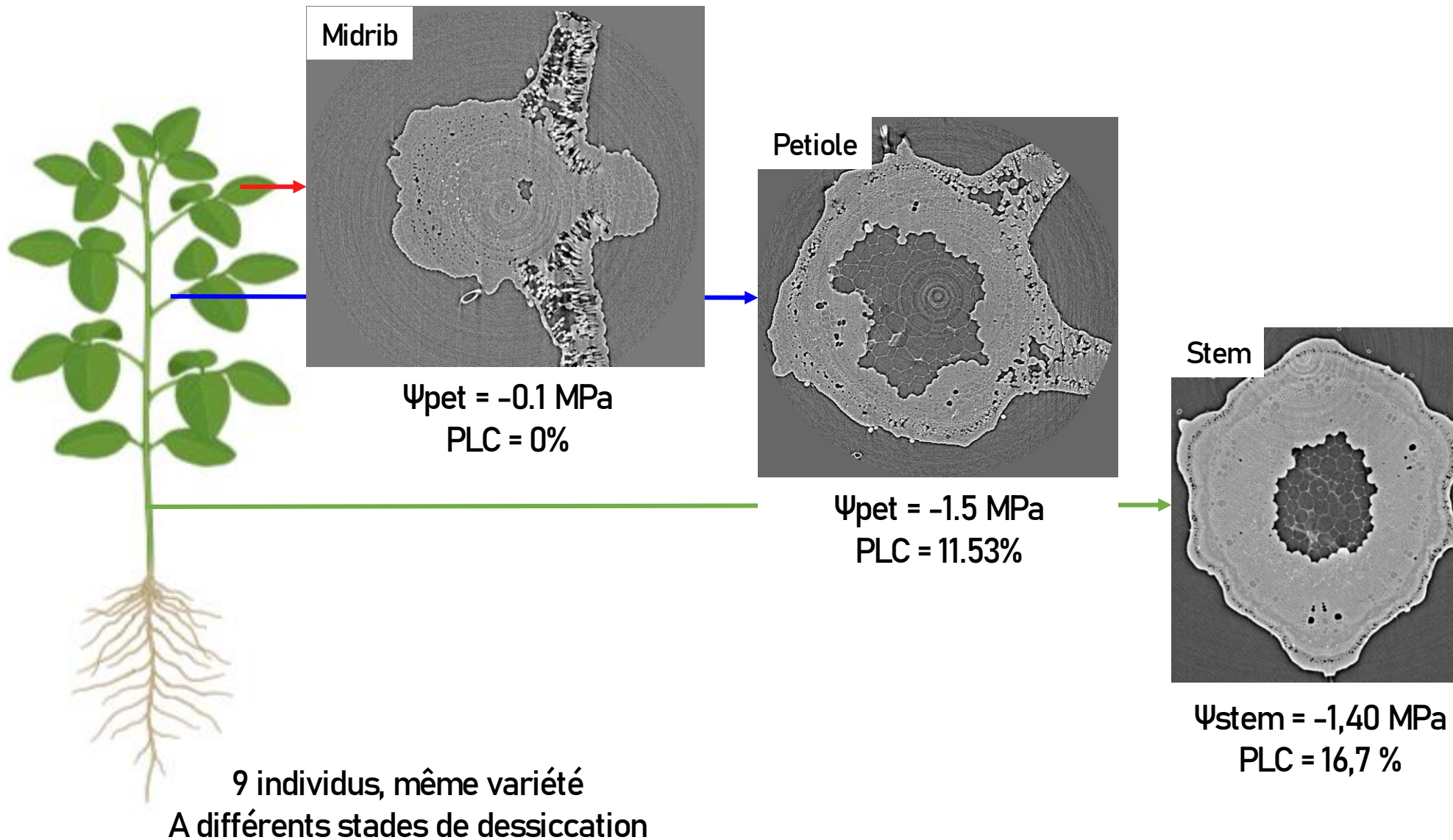


(Schell et al. 2025)

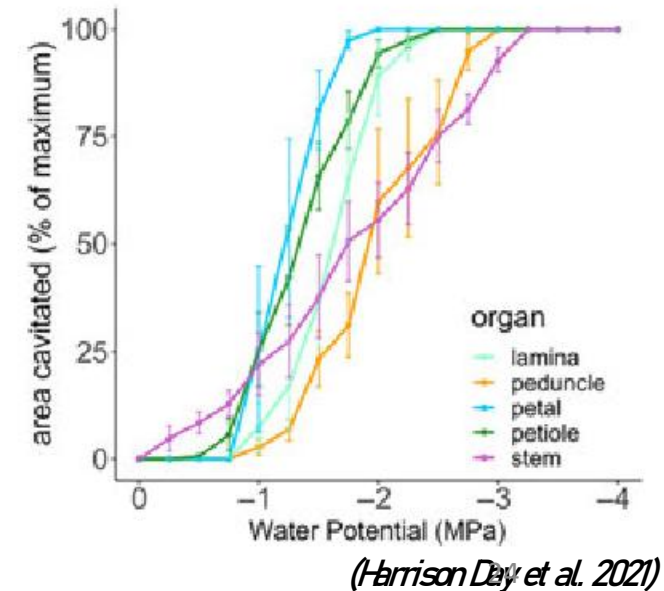
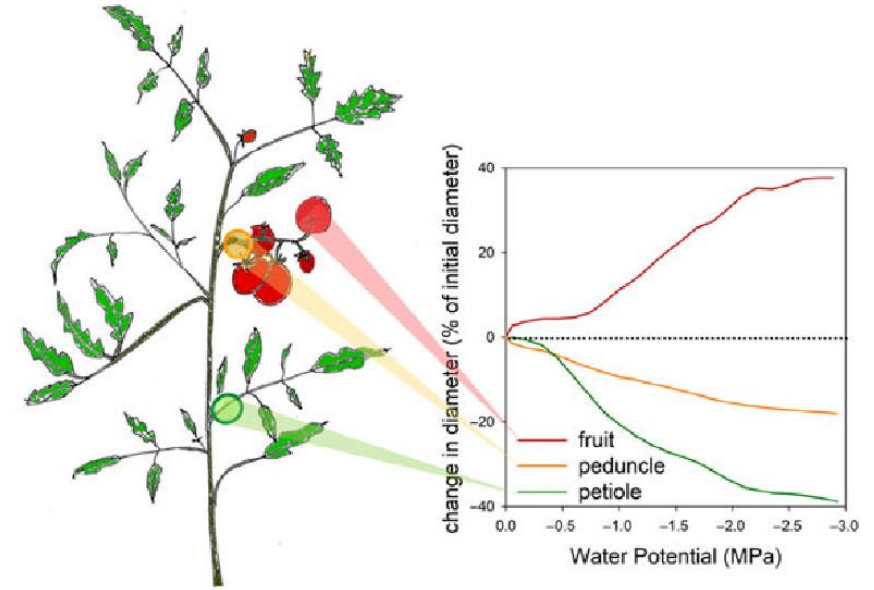
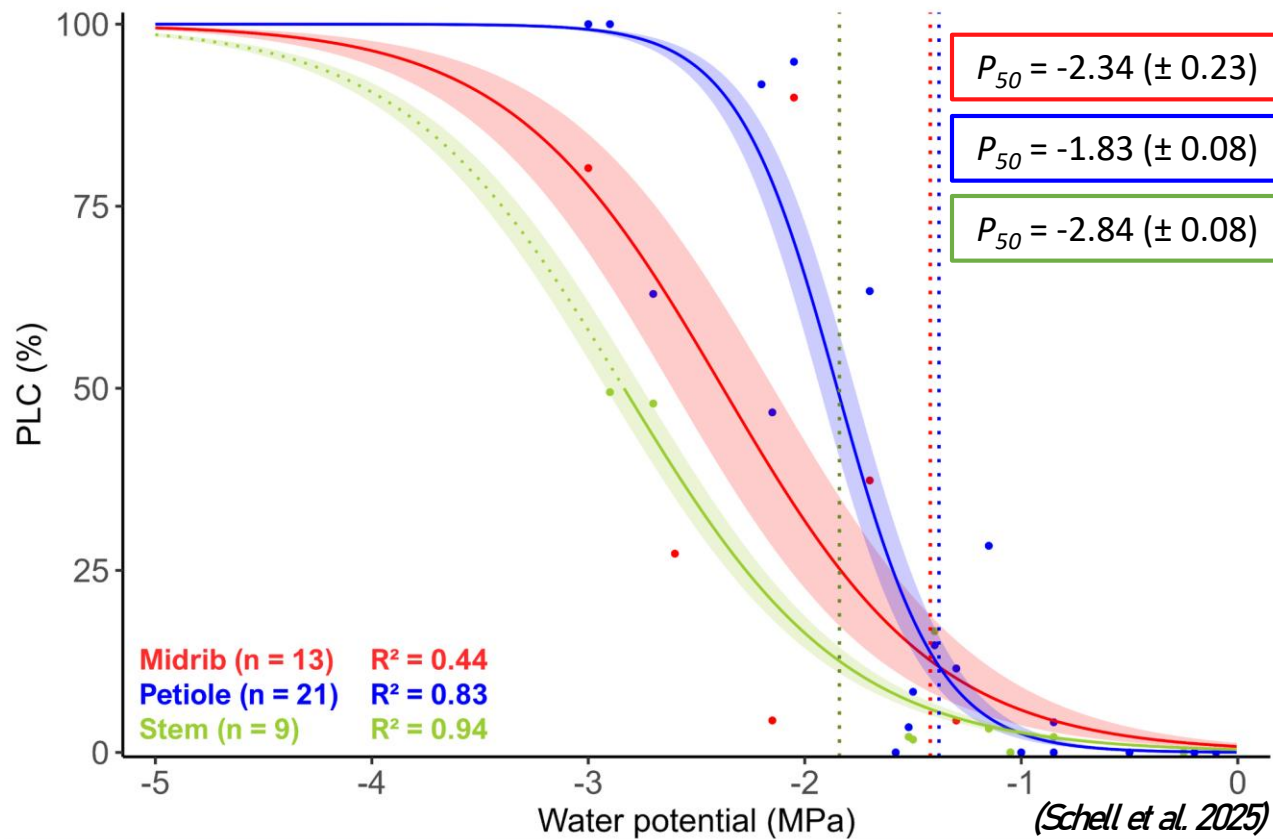
Idem, on ne voit pas de différence entre les variétés précoces et tardives.

→ La sélection variétale ne prend pas en compte les traits hydrauliques.

Résistance à l'embolie : variabilité au sein de la plante



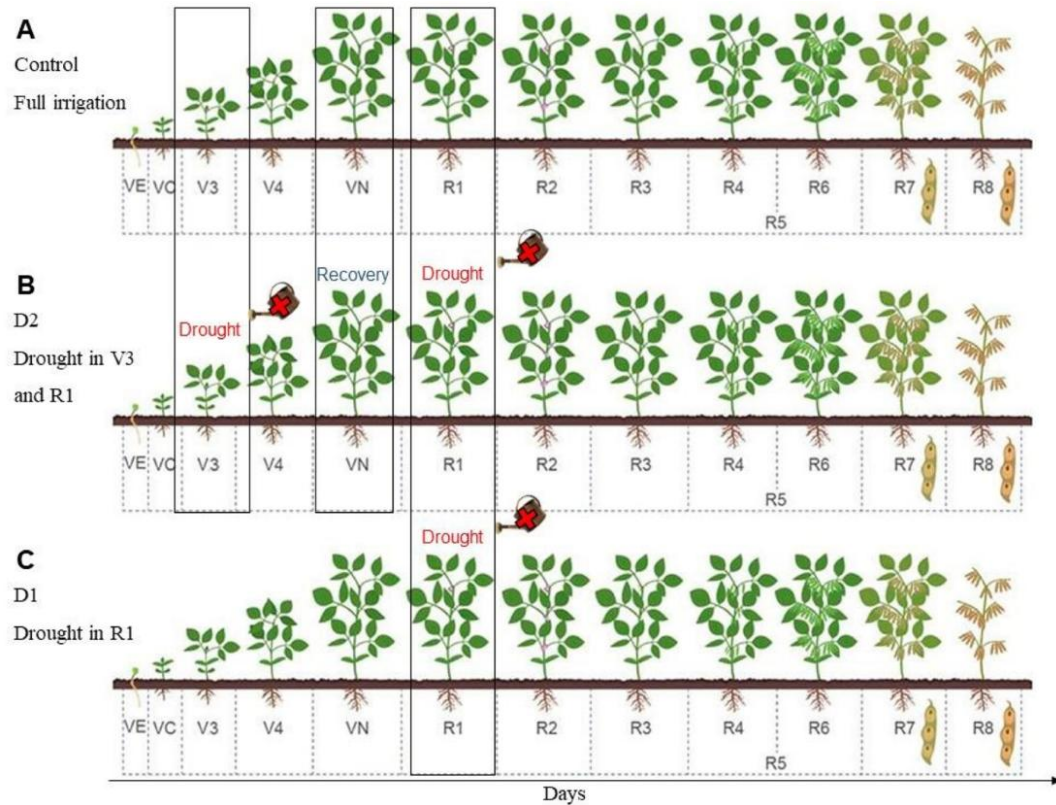
Résistance à l'embolie : variabilité au sein de la plante



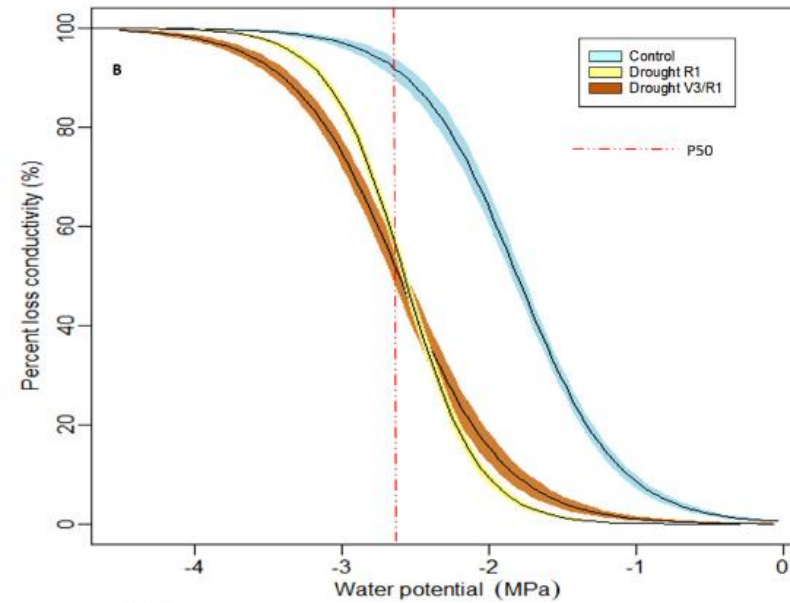
On observe une différence de résistance à l'embolie entre les différents organes de la plante.

Hypothèse : la plante annuelle priorise sa reproduction en sacrifiant ses feuilles.

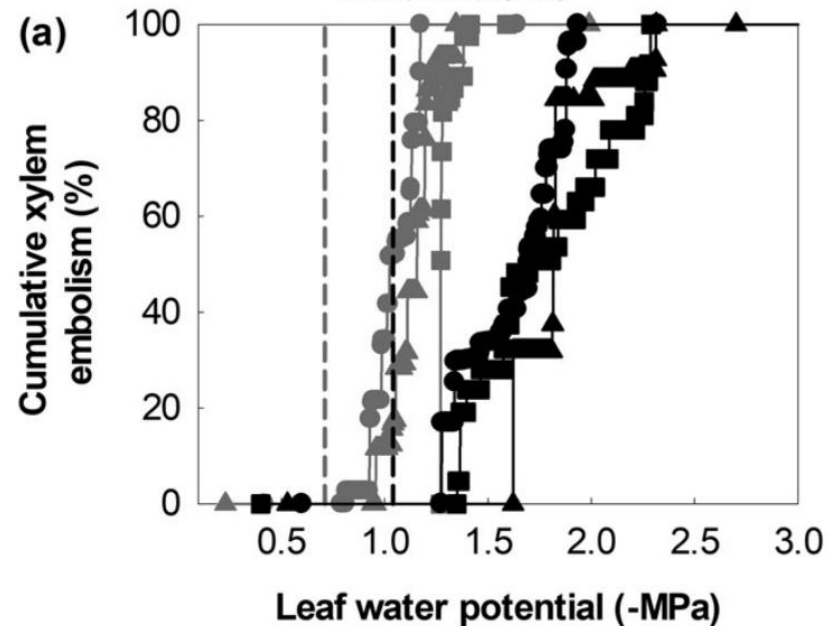
Résistance à l'embolie : variabilité en fonction des conditions



La plasticité des traits hydraulique permet de mettre en place des structures coûteuse pour la plante lorsqu'elle se trouve dans un milieu défavorable.



(Alves et al. 2024)

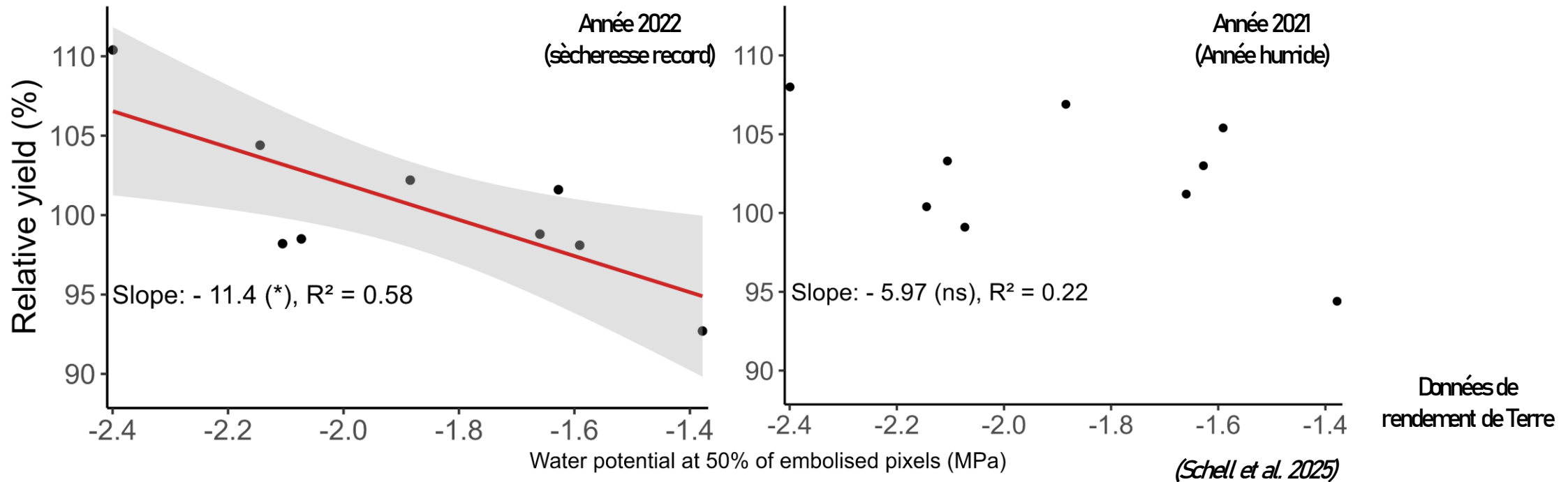


(Cardoso et al. 2018)

Productivité corrélée à la résistance à l'embolie

Rendement relatif de 9 variétés de soja en fonction de leur P_{50} :

- En année sèche corrélation positive entre résistance à l'embolie et performance agronomique
- En année humide/peu stressante, pas de corrélation.



La résistance à l'embolie semble bien liée à des traits de performances pour les cultures, notamment en conditions stressantes.

Aujourd'hui le facteur limitant est l'eau, et l'augmentation des épisodes de sécheresses et vagues de chaleur impose une meilleure prise en compte des traits hydraulique dans le choix des variétés et leur sélection.

En résumé :

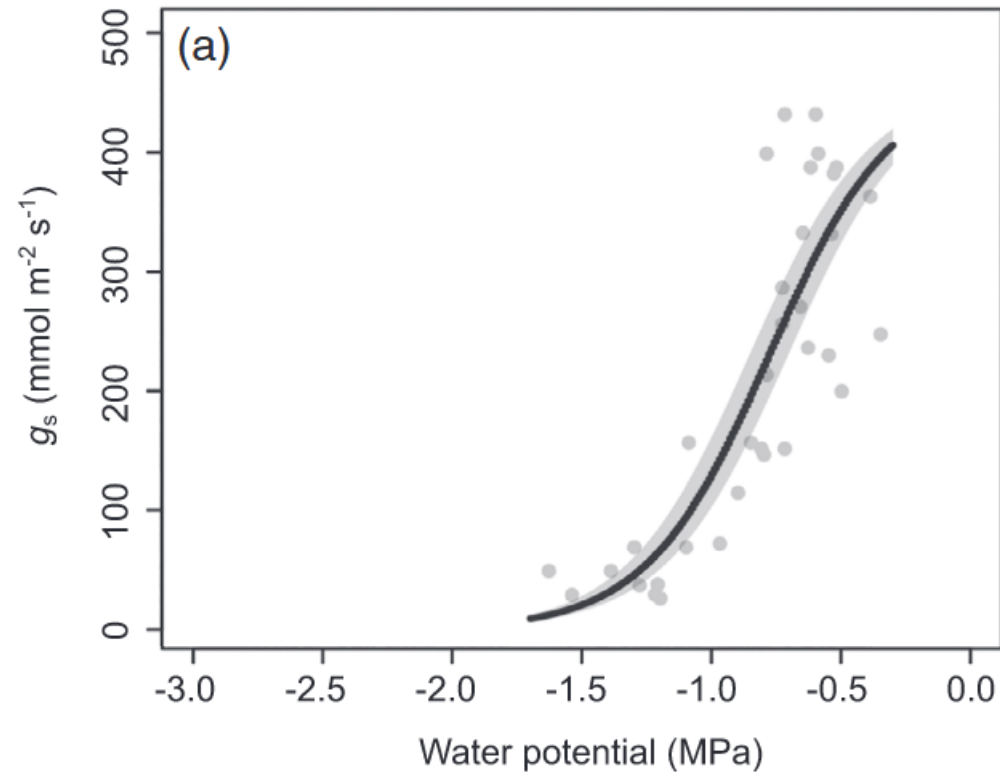
- Les méthodes de mesure de la propagation de l'embolie sont nombreuses et à adapter en fonction de l'espèce et de l'organe mesuré
- En comparant les P_{50} on observe une diversité entre les espèces cultivées, mais aussi une variabilité entre les variétés qui offre **une ressource génétique pour la sélection de variétés plus résistantes.**
- Par rapport aux espèces sauvages on observe une baisse de la diversité et de la résistance à l'embolie, au profit de la sélection pour le rendement.
- Actuellement, on n'observe pas de différences de P_{50} entre les variétés sélectionnées pour des climats plus secs et celles de climats plus tempérés.
- Des études préliminaires ont montré une **corrélation entre maintien de rendement et P_{50} en années sèche.**

Conductance stomatique et conductance résiduelle



Mesurer la conductance stomatique

En conditions contrôlées on peut mesurer la dynamique de fermeture des stomates en suivant la conductance au cours d'une déshydratation (g_s , $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).



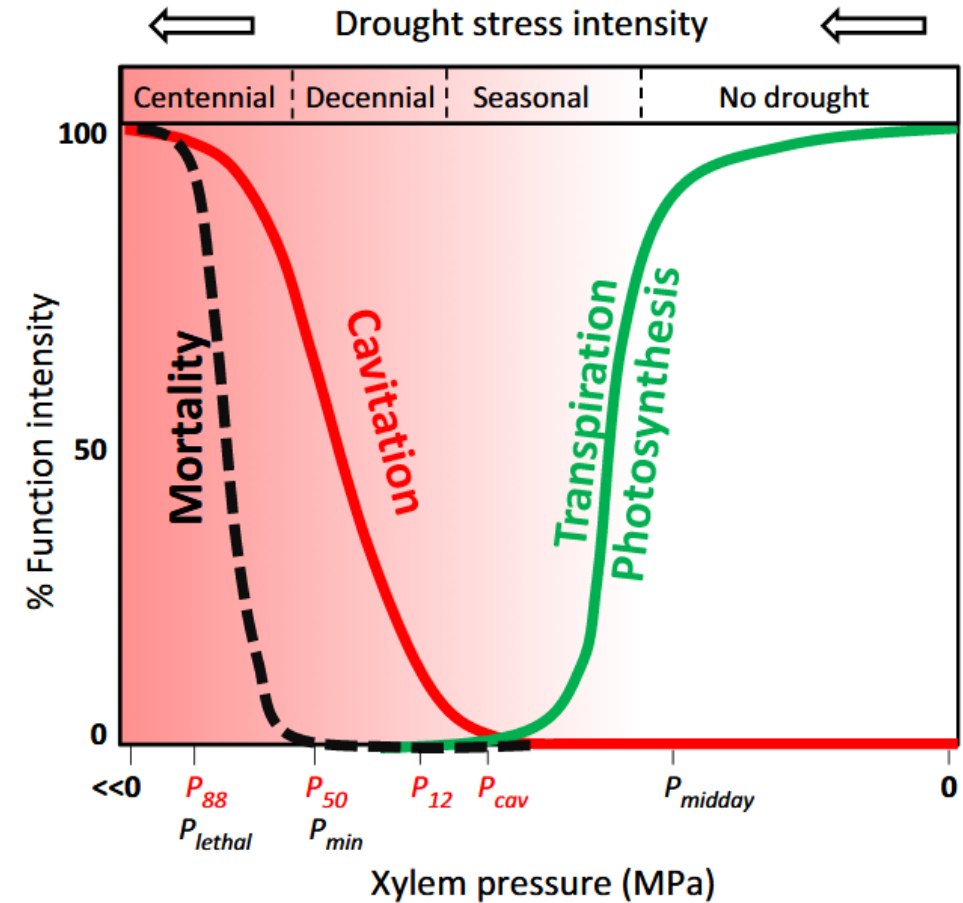
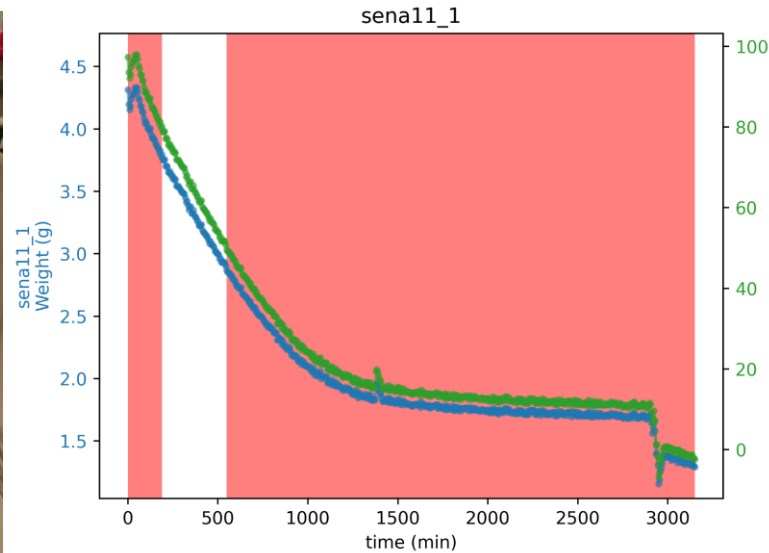
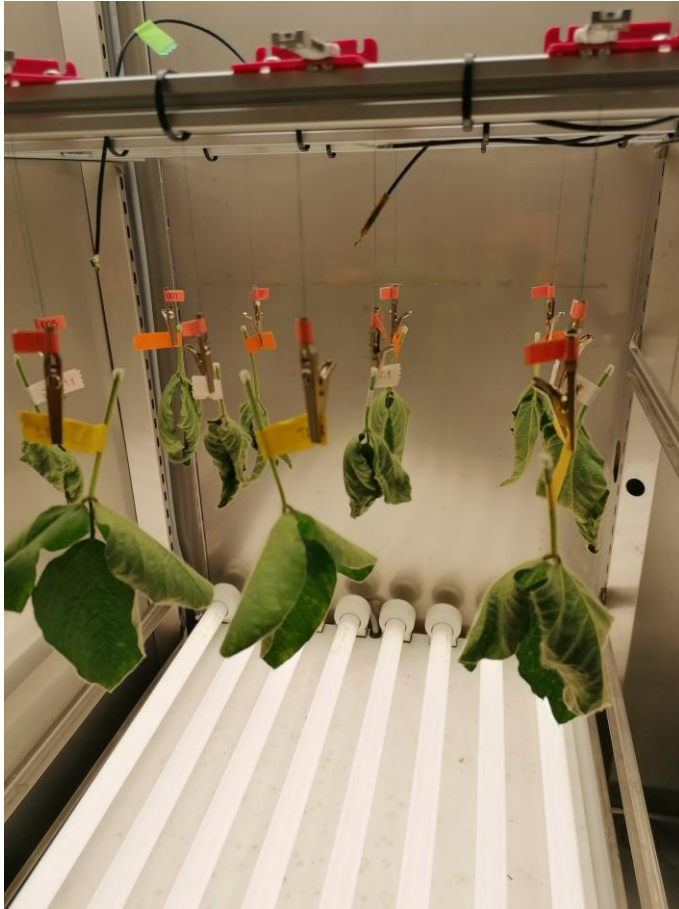
(Corso et al. 2020)

On obtient:

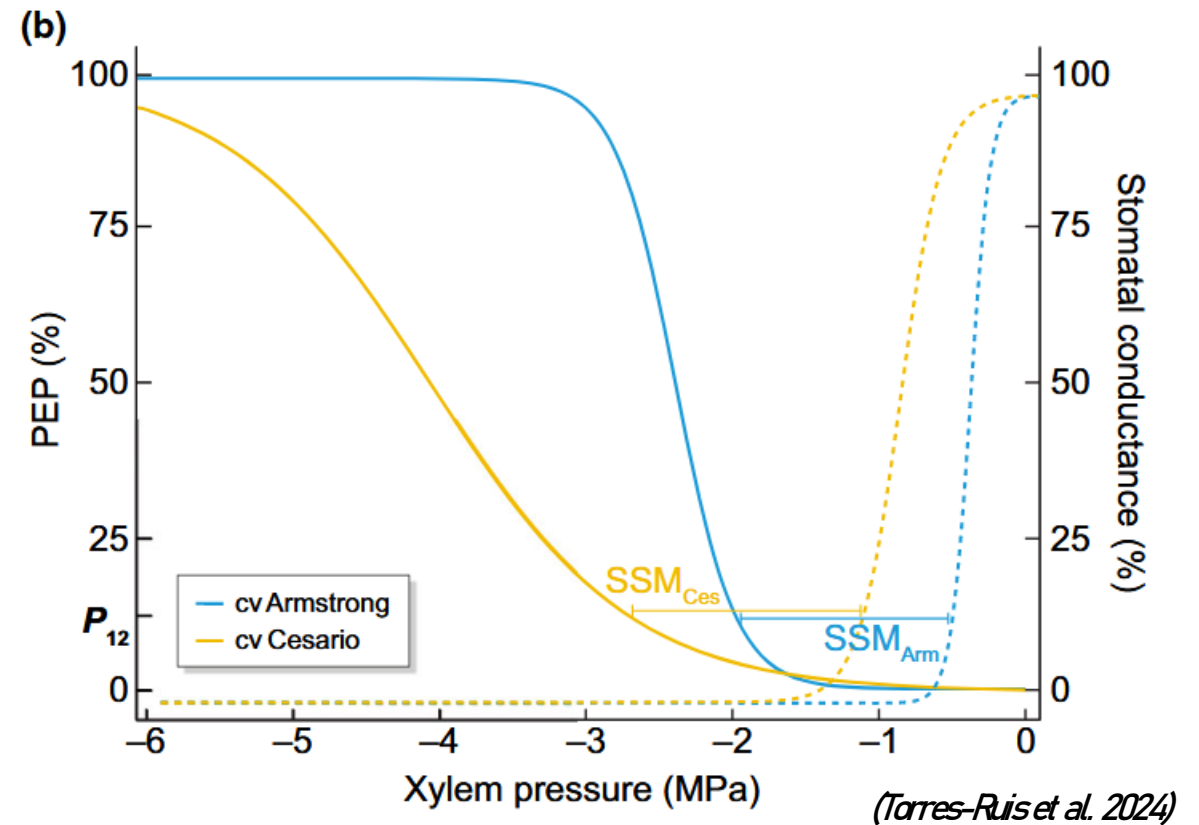
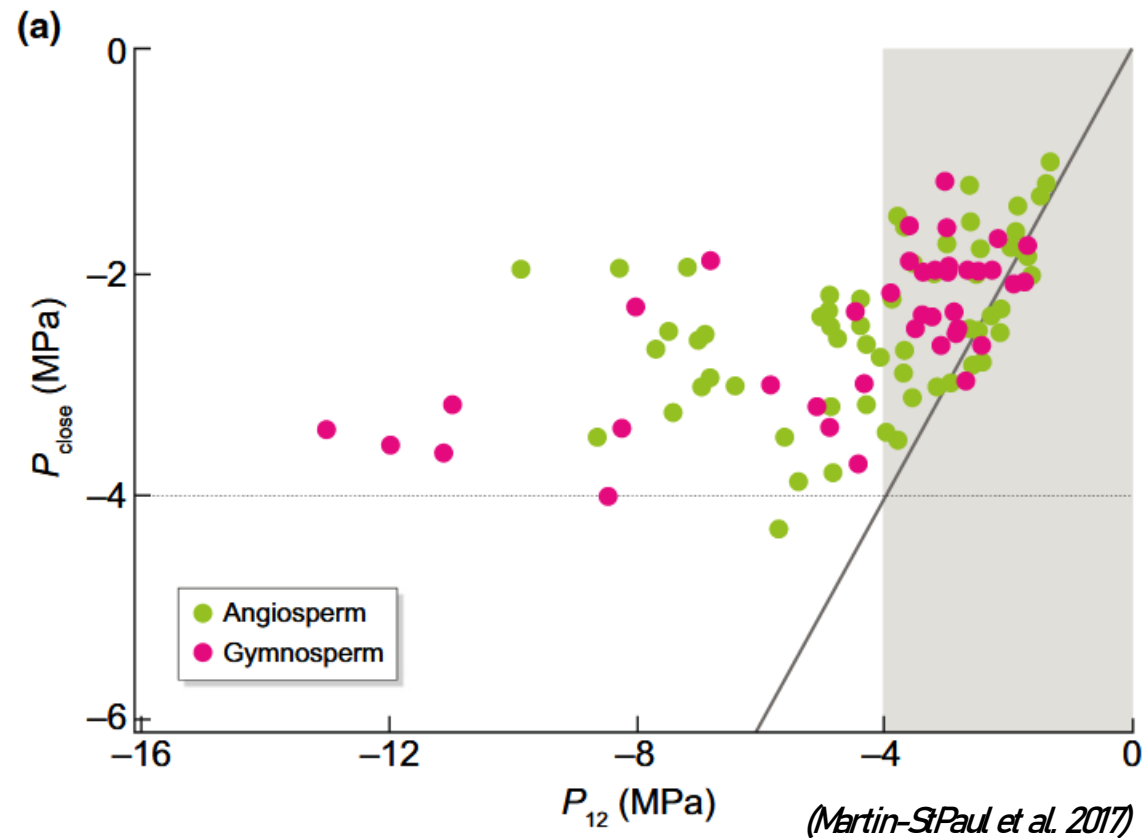
- La conductance maximale lorsque la plante est pleinement hydratée
- Le potentiel de début de fermeture
- Le potentiel à 90% de fermeture.

La conductance résiduelle : en cas de gros épisode de sécheresse

Une fois les stomates fermés la feuille continue à perdre de l'eau (par la cuticule, par des stomates mal fermés). C'est la conductance résiduelle (g_{min} , $mmol.m^{-2}.s^{-1}$).



Marge de sécurité et productivité de la plante

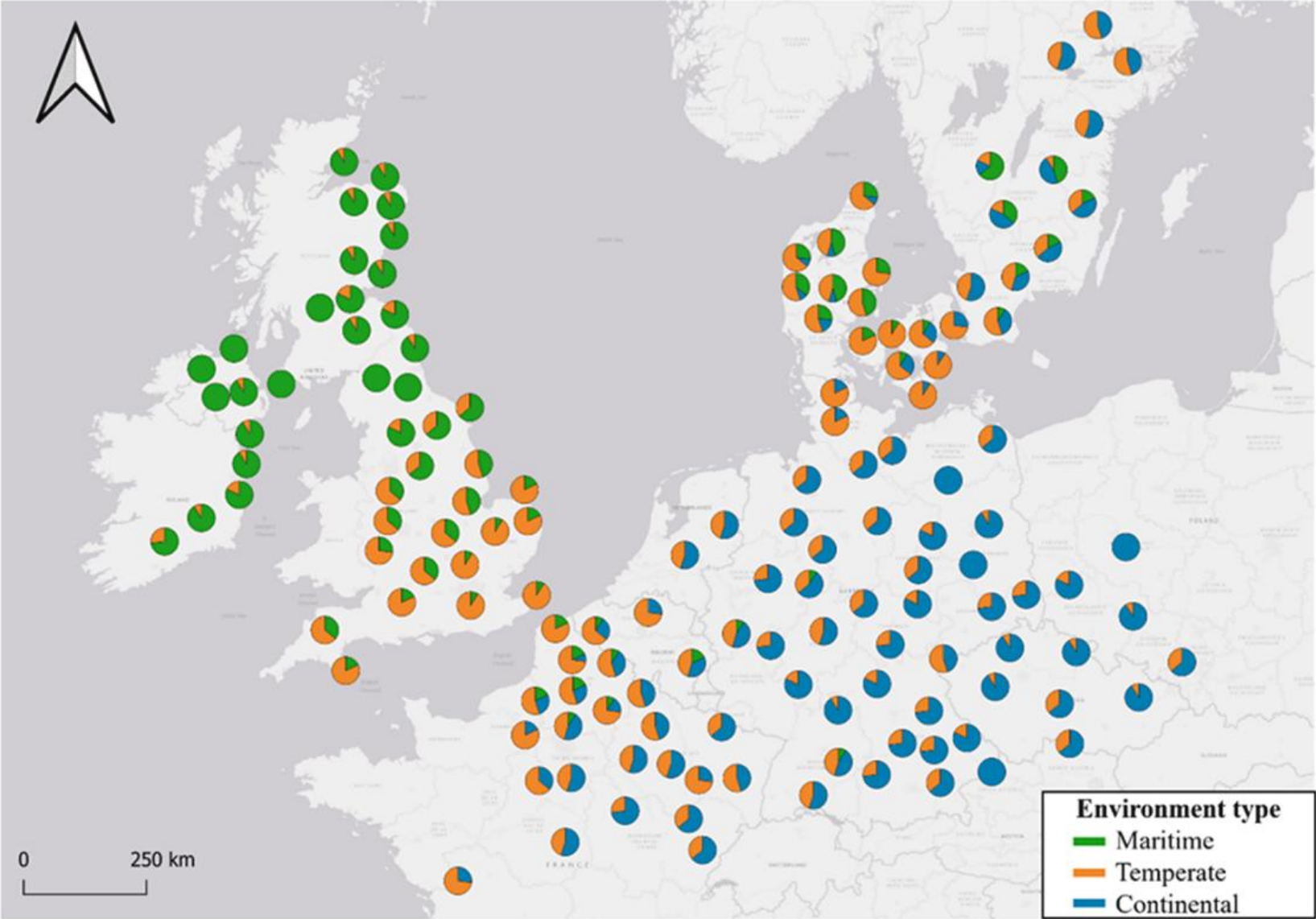


Stratégie productive : conductivité importante, tolérance à l'embolie, fermeture stomatique tardive

Stratégie conservatrice : conductance résiduelle plus faible, marge de sécurité importante

(James et al. 2008; Torres-Ruis et al. 2017)

Adapter les stratégies de sélection en fonction des régions ciblées



(Ecard et al. 2025)

En résumé :

- La dynamique de fermeture des stomates est cruciale pour connaître le moment où la plante arrête son métabolisme.
- Une résistance à l'embolie plus grande (P_{50} plus négative) peut permettre de décaler la fermeture des stomates.
- La conductance résiduelle est un trait clé pour garantir l'intégrité du système vasculaire en cas de stress important.
- Différentes stratégies de sélection variétales peuvent être mises en place en fonction de la région climatique ciblée →
Enjeux de **mieux connaître le fonctionnement hydraulique des espèces et des variétés** pour s'adapter au changement climatique.

Merci pour votre attention !

