

# Systeme hydraulique et résistance à la cavitation chez les plantes herbacées

Déborah Corso

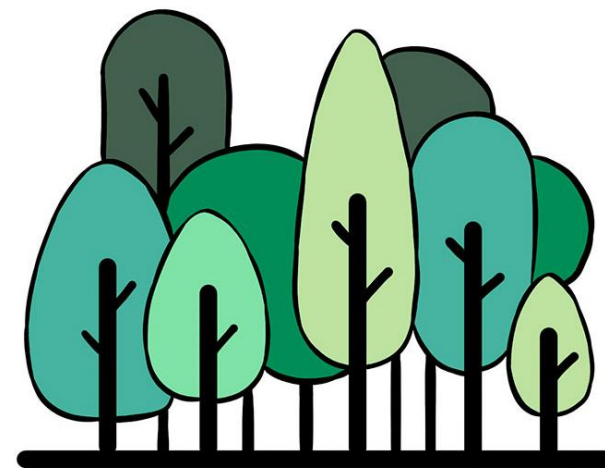
Chercheuse post-doctorante, Univ. Bordeaux





Les végétaux recouvrent 70% de la surface terrestre

- 30% par les forêts



- 25% par les herbacées

# Les plantes herbacées

---

En milieu naturels... et anthropisés/cultivés

Fougères



*Pteridium aquilinum*

Graminées



*Carex elata*



*Juncus effusus*

Poacées



*Triticum aestivum*

Forbes



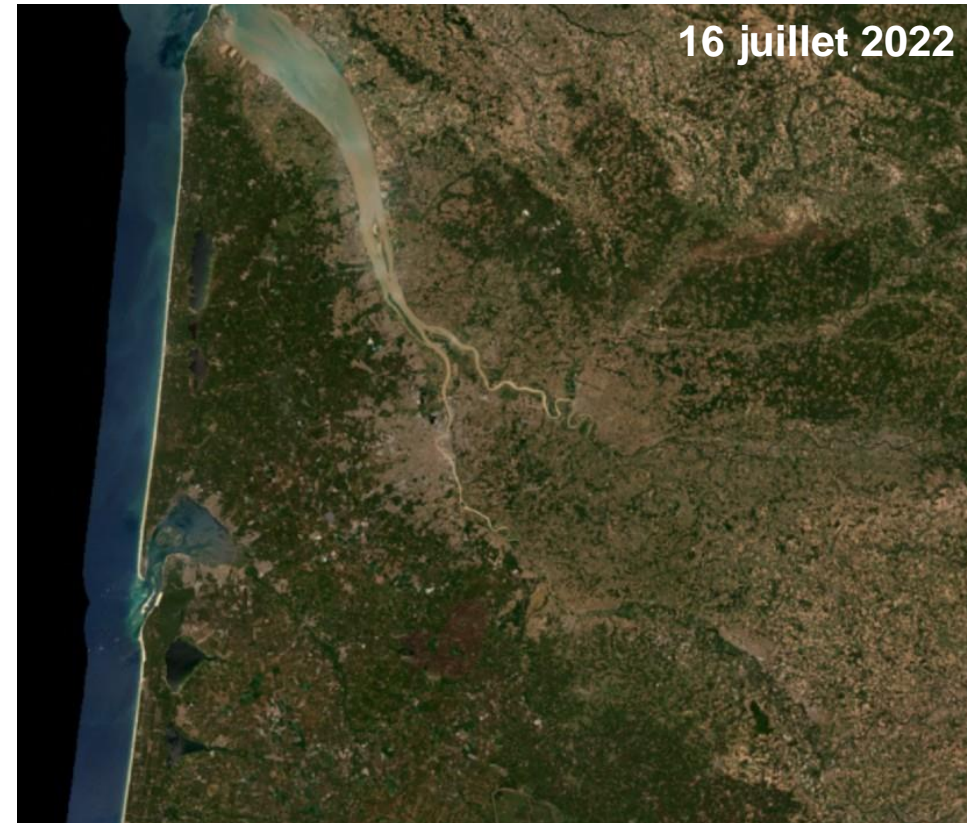
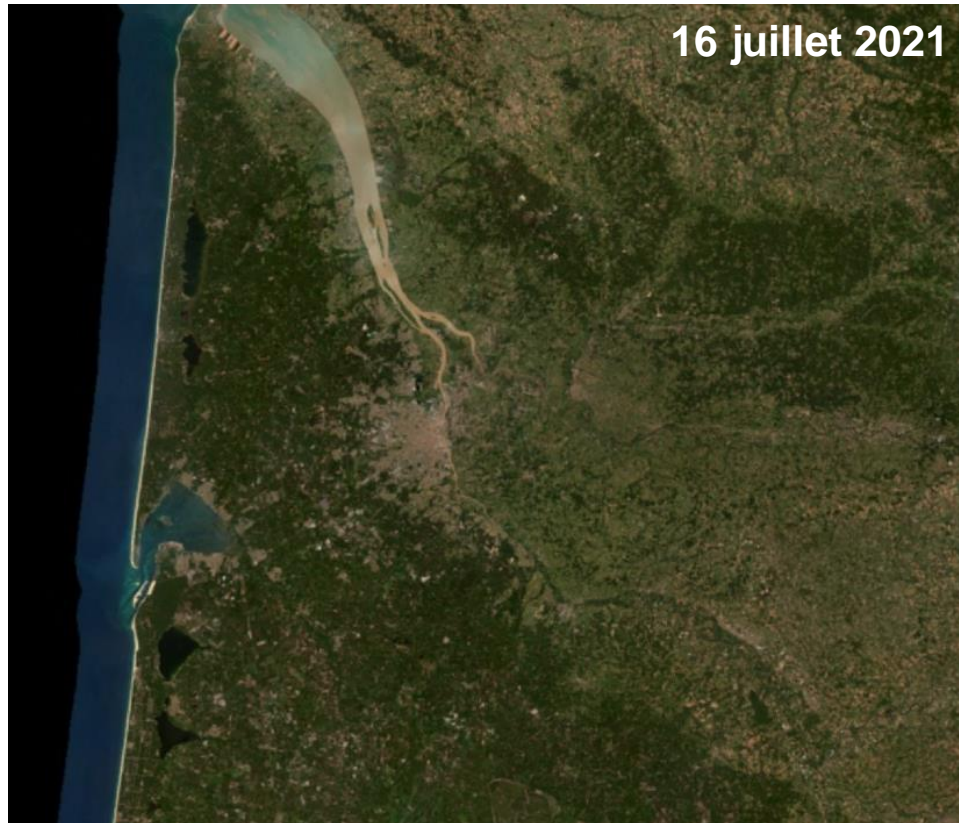
*Helianthus annuus*

→ Rôles écosystémiques, agronomiques...

# Le changement climatique

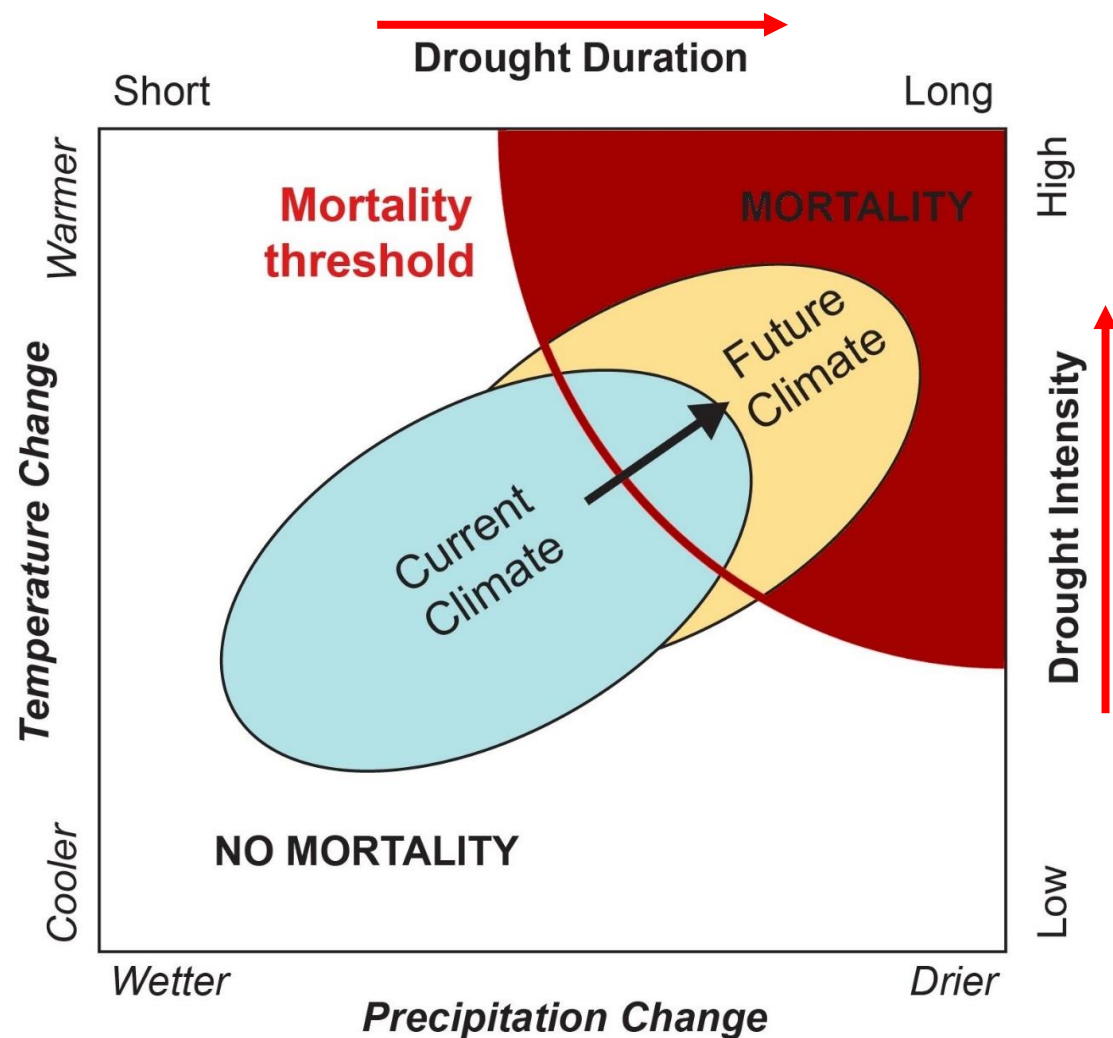
---

Le maintien du couvert végétal est menacé par les sécheresses

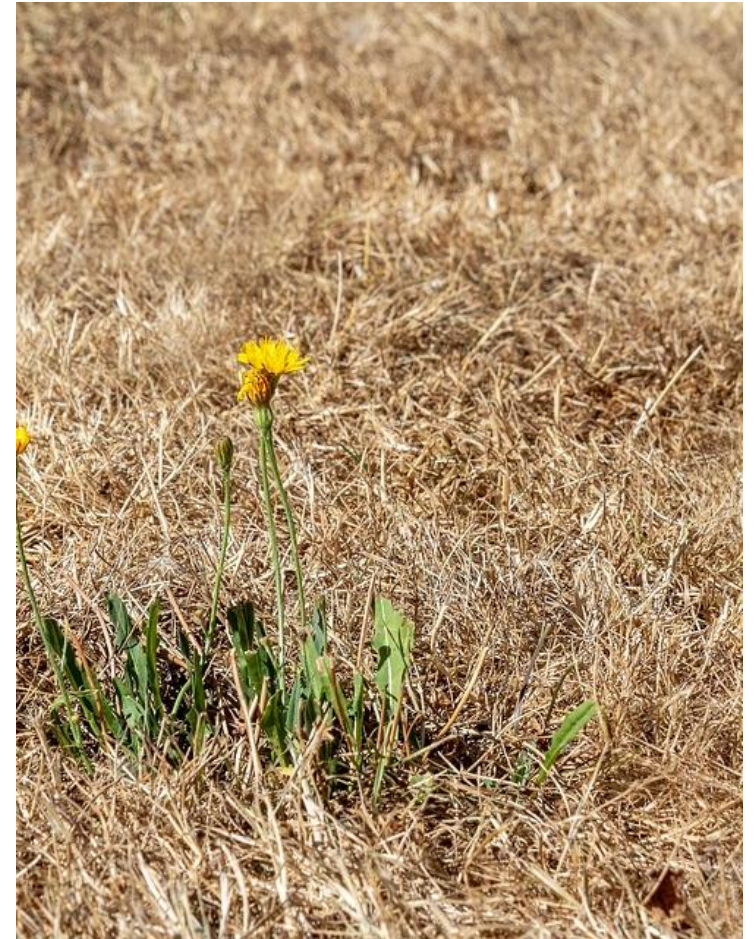


# Le changement climatique

Les épisodes de sécheresses s'intensifient avec le changement climatique

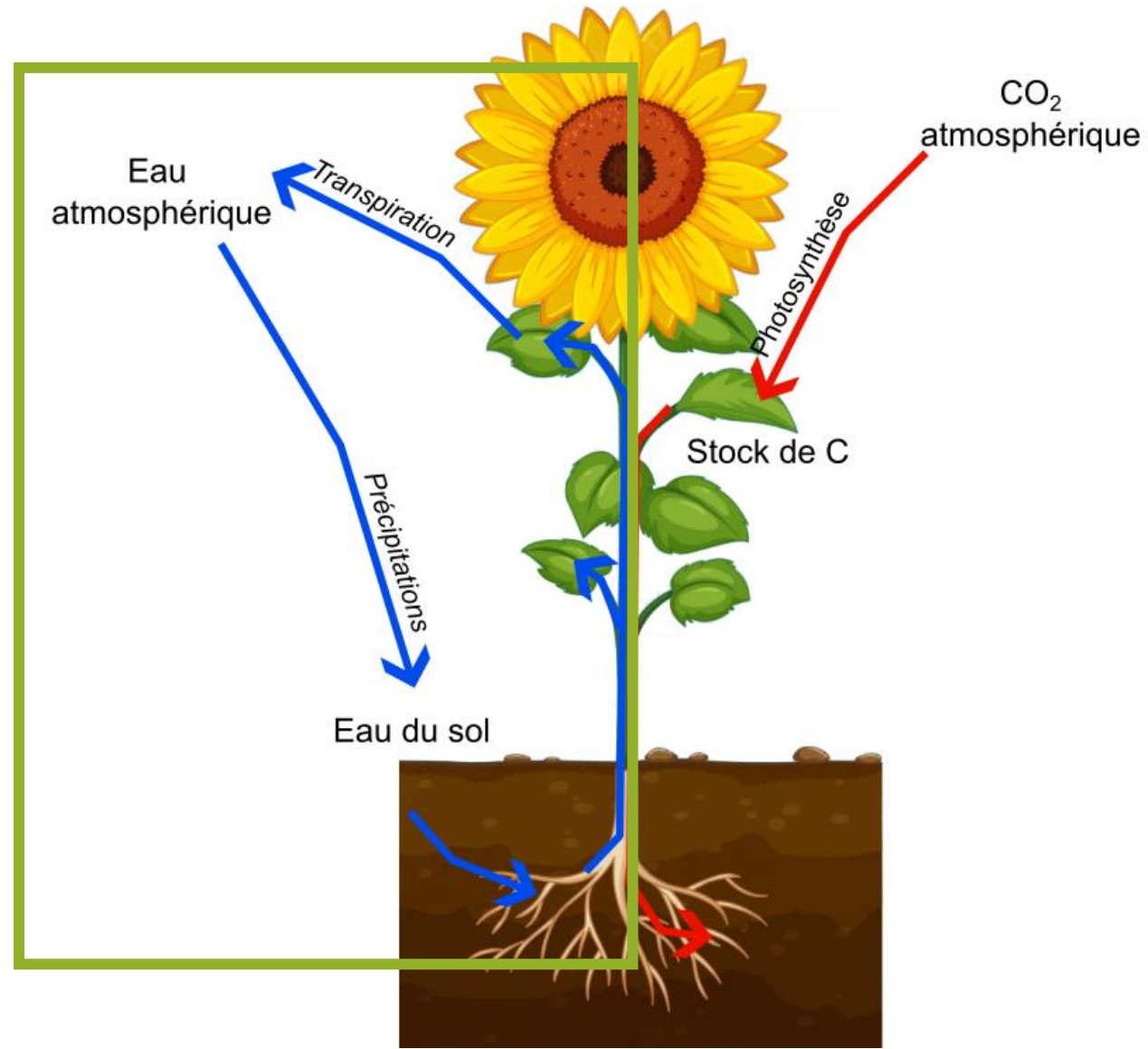


# Comment expliquer les dépérissements liés à la sécheresse ?



# Dépérissement lié à la sécheresse

Mourir de soif / Mourir de faim ?



# Le système hydraulique

En conditions non limitantes :

- Transport d'eau ascendant à travers le xylème
- Suivant un gradient de potentiel hydrique ( $\Psi$ )

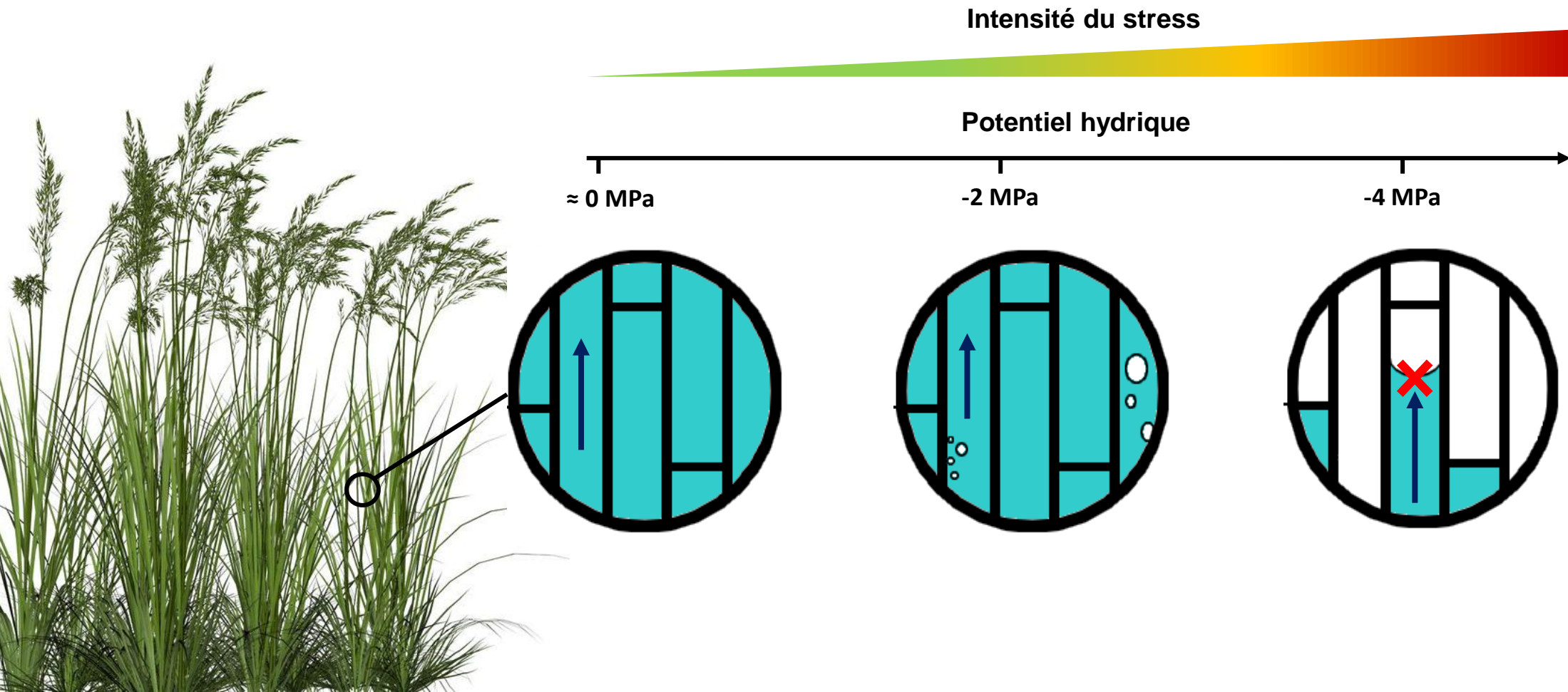
$$\Psi_{\text{sol}} > \Psi_{\text{racine}} > \Psi_{\text{tige}} > \Psi_{\text{feuille}} > \Psi_{\text{air}}$$



# Le système hydraulique

Lors d'un stress hydrique :

- Risque de **cavitation** des vaisseaux du xylème : formation et propagation d'air dans le xylème



# Dysfonctionnement du système hydraulique

---

Lors d'un stress hydrique :

- Risque de **cavitation** des vaisseaux du xylème : formation et propagation d'air dans le xylème

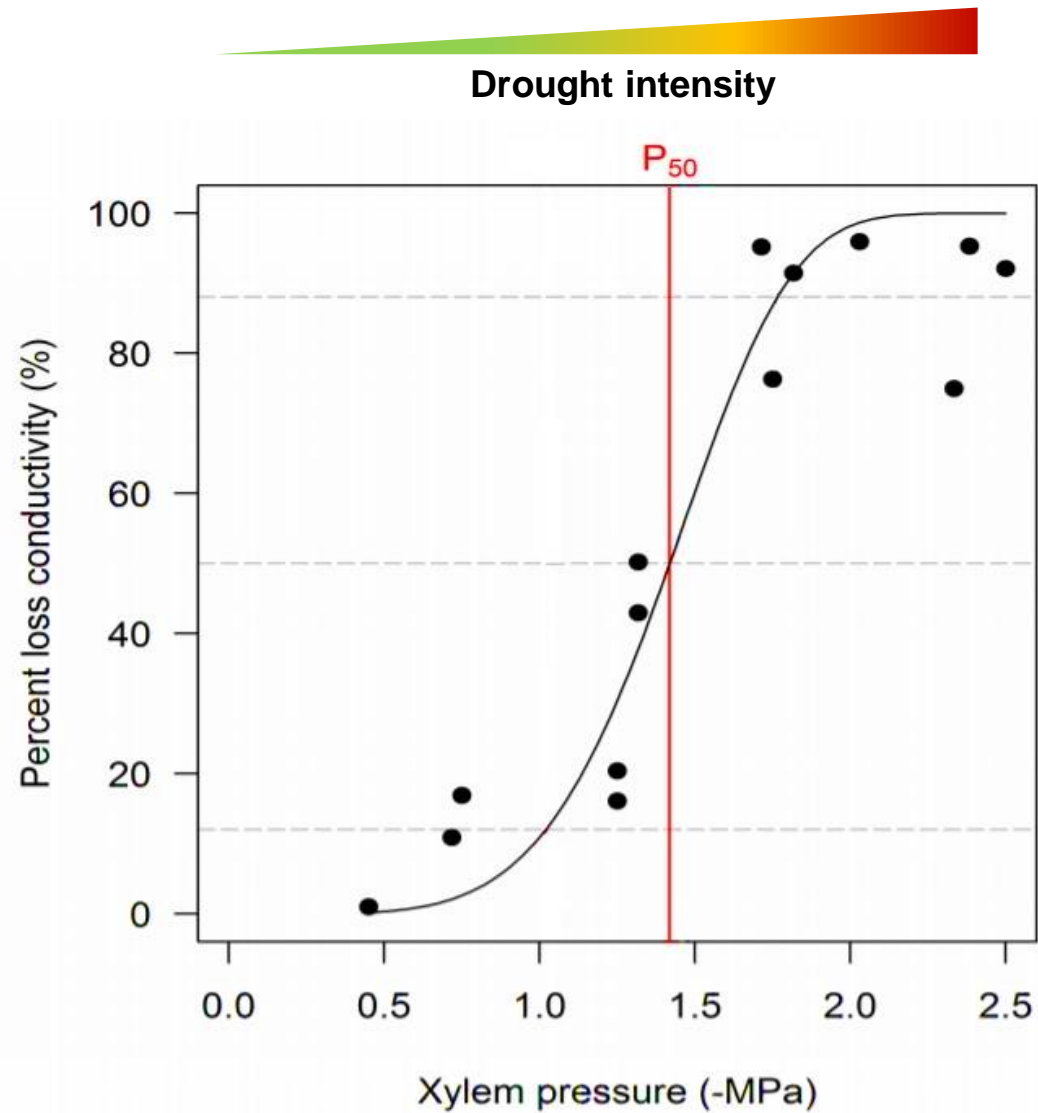


👎 Efficience de transport de l'eau

👎 Assimilation et productivité

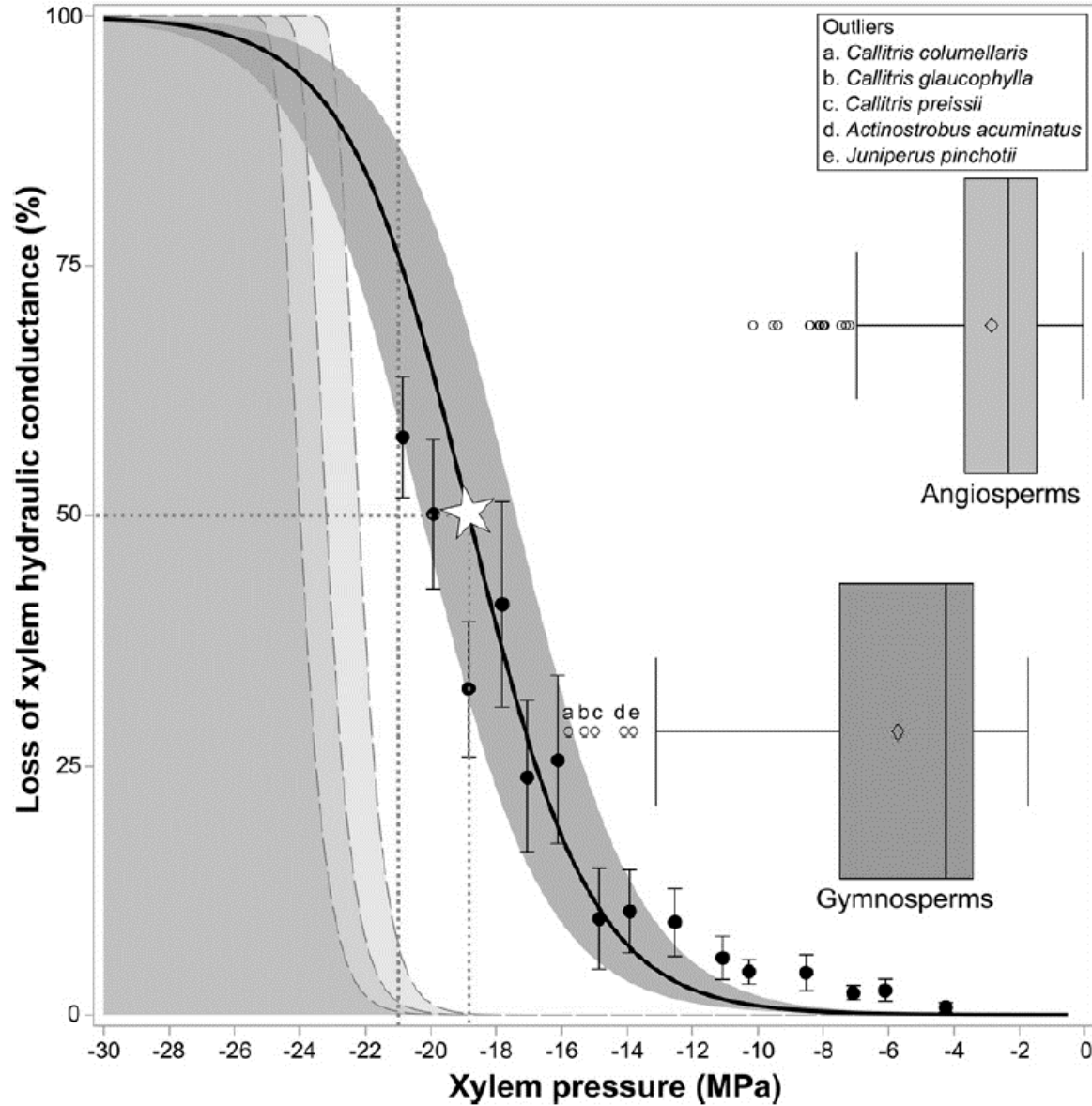
👎 Survie

# Caractériser la vulnérabilité à la cavitation: mesure de la $P_{50}$



*Cochlospermum gillivraei*

# Très importante variabilité de $P_{50}$ chez les angiospermes et conifères

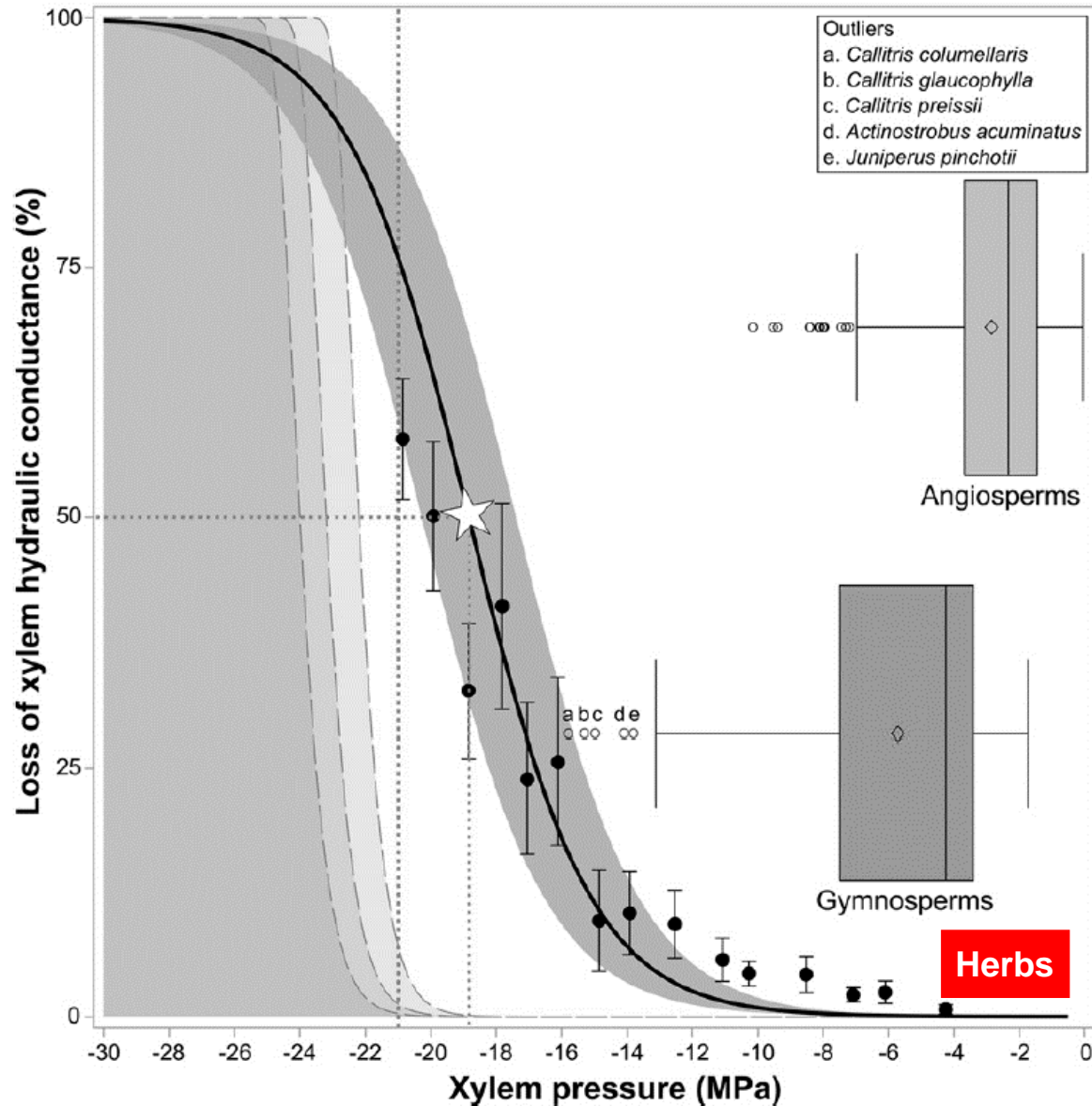


*Quercus sp.*



*Callitris tuberculata*

# Et chez les plantes herbacées ?



*Phaseolus vulgaris*  
 $P_{50} = -0.47$  MPa



*Zea mays*  
 $P_{50} = -1.56$  MPa



*E. angustifolium*  
 $P_{50} = -1.59$  MPa

**Plantes vulnérables à la cavitation**

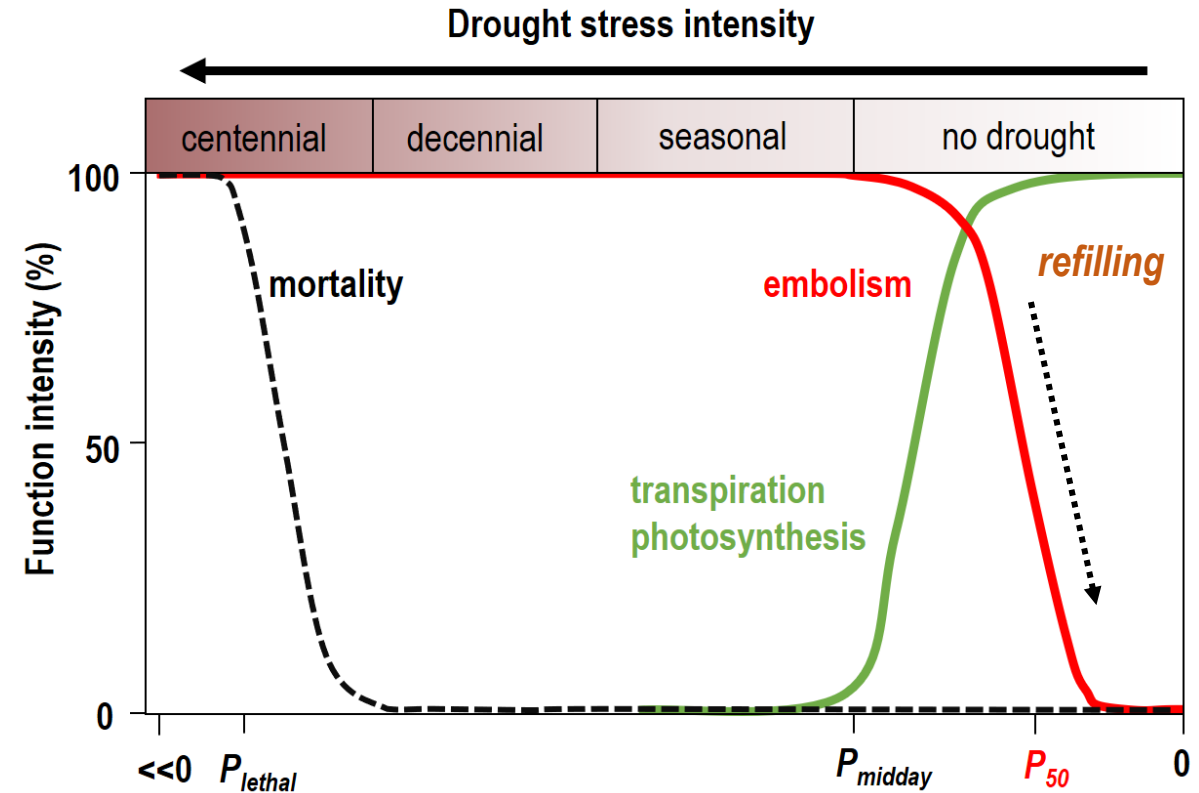
# Implications d'un xylème peu résistant à la cavitation ?

## Marge de sécurité hydraulique (HSM)

- HSM négative chez les herbacées
- La cavitation intervient quotidiennement chez ces végétaux

## Refilling

- Les vaisseaux embolisés sont réparés



**Mais très peu d'études expérimentales de détermination de la résistance à la cavitation chez les herbacées, donc hypothèses non validées**

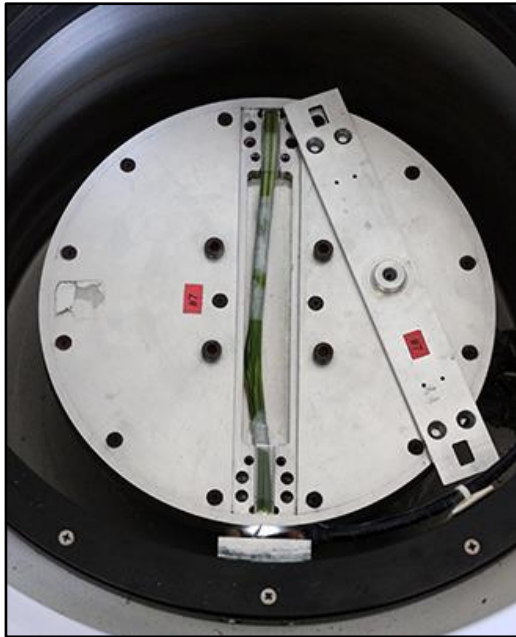
# Pourquoi les herbacées sont peu étudiées ?

---

Méthodes de mesures de la résistance à l'embolie peu adaptées aux herbacées

→ Adapter ces méthodes

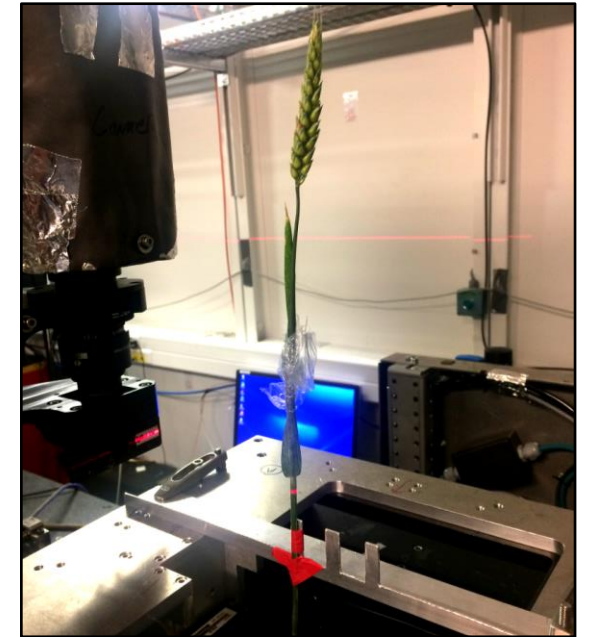
→ Développer de nouvelles méthodes



Méthode par centrifuge  
(Cavitron)



Technique optique  
(OVT)



Tomographie à rayons X  
(microCT)

# Les herbacées sont-elles réellement plus vulnérables à la cavitation que les arbres ?

---

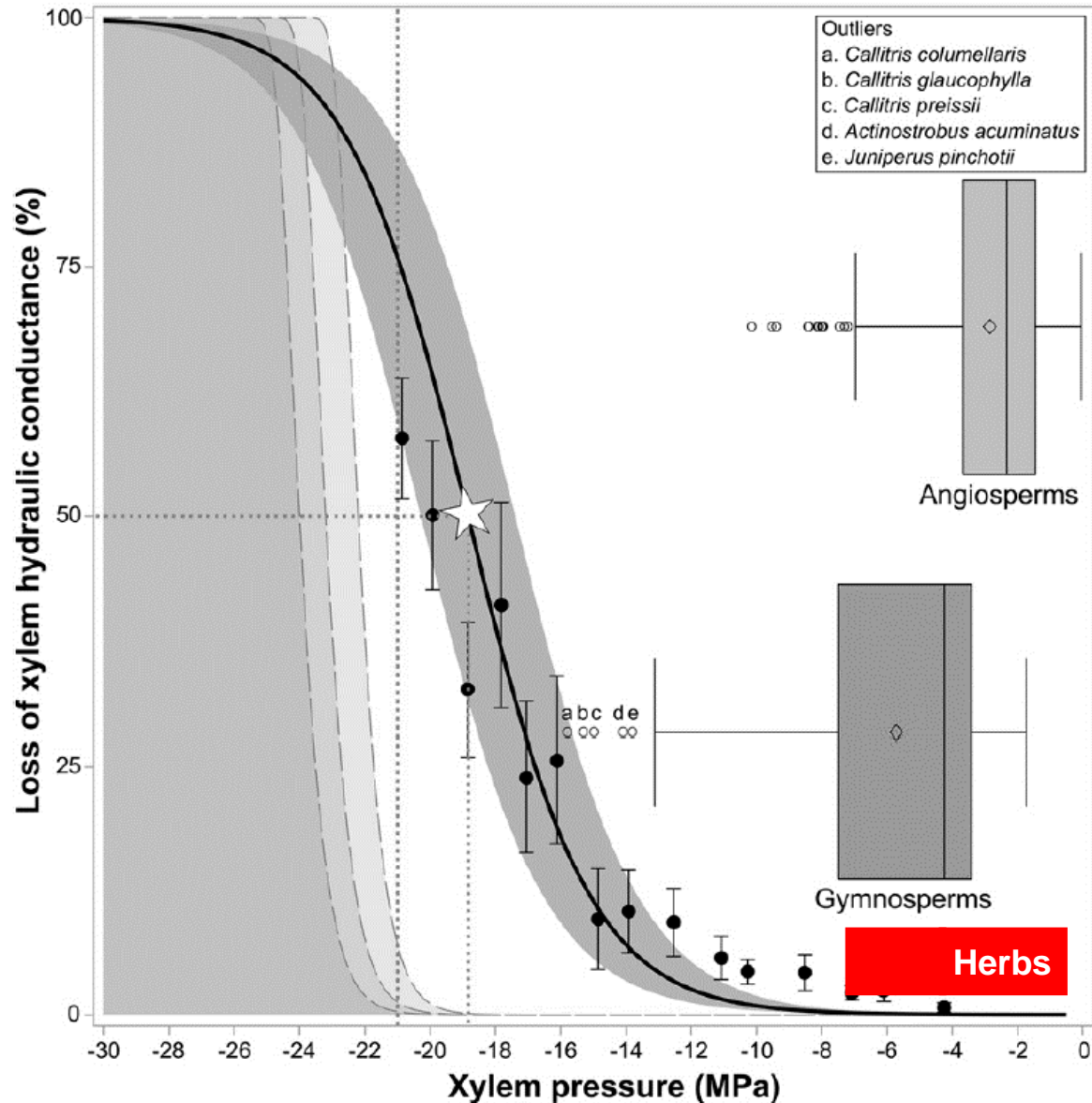
## Research Report

---

### **Herbaceous Angiosperms Are Not More Vulnerable to Drought-Induced Embolism Than Angiosperm Trees<sup>1[OPEN]</sup>**

Frederic Lens\*, Catherine Picon-Cochard, Chloé E.L. Delmas, Constant Signarbieux, Alexandre Buttler, Hervé Cochard, Steven Jansen, Thibaud Chauvin, Larissa Chacon Doria, Marcelino del Arco, and Sylvain Delzon

# Les herbacées sont-elles réellement plus vulnérables à la cavitation que les arbres ?



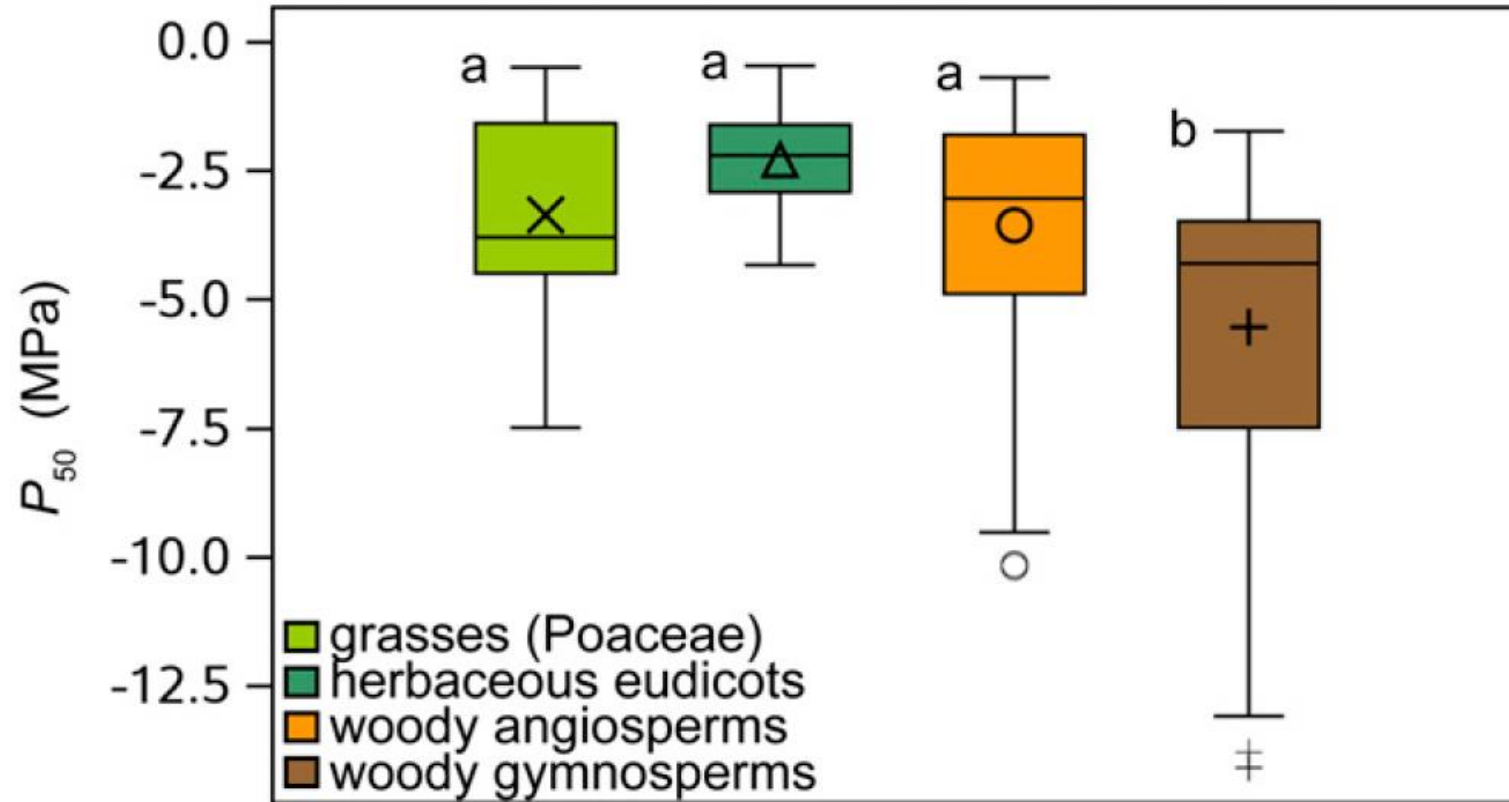
→ Adaptation de la technique par centrifuge (Cavitron)

$P_{50}$  entre -0.5 et -7.5 MPa

↓  
importante variabilité de la  $P_{50}$  chez les herbacées

↓  
gamme de  $P_{50}$  similaire à celle des arbres à fleurs

# Les herbacées sont-elles réellement plus vulnérables à la cavitation que les arbres ?



Lens *et al.* (2016)

**Résistance du xylème à la cavitation similaires entre angiospermes**

# Les herbacées fonctionnent-elles avec une HSM négative ?

**Table 1.** *Embolism is not pronounced in grasses*

Summary of hydraulic parameters for grasses from the Swiss collections, including mean leaf water potential during three time points in spring time (mean  $\Psi_{\text{midday}}$  during spring time), its corresponding native levels of embolism ( $\text{PLC}_{\text{midday}}$  %), the minimum leaf water potential measured throughout the growing season ( $=\Psi_{\text{min}}$ ), and its corresponding PLC. Values are means  $\pm 1$  SE for  $n = 6$ . More detailed information throughout the growing season is provided in Supplemental Table S4.

Species	$P_{50}$ (MPa)	Mean $\Psi_{\text{midday}}$ in Spring Time (MPa)	Mean $\text{PLC}_{\text{midday}}$ in Spring Time (%)	$\Psi_{\text{min}}$ (MPa)	PLC at $\Psi_{\text{min}}$ (%)
<i>Dactylis glomerata</i>	-3.49	$-1.47 \pm 0.06$	$14.56 \pm 0.67$	$-2.06 \pm 0.14$	$22.30 \pm 2.22$
<i>Lolium perenne</i>	-3.21	$-1.37 \pm 0.03$	$15.80 \pm 0.35$	$-1.81 \pm 0.05$	$21.75 \pm 0.73$
<i>Phleum pratense</i>	-3.84	$-1.24 \pm 0.12$	$5.51 \pm 0.86$	$-1.90 \pm 0.10$	$10.49 \pm 1.05$
<i>Poa pratensis</i>	-3.65	Species not yet growing	Species not yet growing	$-2.06 \pm 0.15$	$11.06 \pm 2.18$
<i>Agrostis capillaris</i>	-4.50	$-2.05 \pm 0.15$	$8.98 \pm 1.20$	$-2.31 \pm 0.14$	$11.06 \pm 1.20$

Lens *et al.* (2016)

**Pas de cavitation sans stress hydrique chez les herbacées**

**HSM positive, comme chez les arbres**

# Les herbacées présentent-elles un mécanisme de réparation des vaisseaux embolisés ?

---

**Encore débattu...**

Refilling par pression racinaire observées chez certaines espèces...



*Cao et al. (2012)*

Mais pas chez d'autres



*Johnson et al. (2018)*

- **Importante variabilité de résistance à la cavitation chez les herbacées**, qui comme les arbres, peuvent supporter des potentiels hydriques très négatifs sans que leur système hydraulique ne soit considérablement endommagé.
- **La cavitation n'intervient que lors d'un stress hydrique**, ce qui procurent aux herbacées une marge de sécurité hydraulique positive, comme chez les arbres.
- **Pas de *refilling* sur une base quotidienne**. Même si l'existence d'un mécanisme de réparation des vaisseaux embolisés reste débattu, la cavitation n'intervient pas quotidiennement chez les herbacées, donc pas besoin de réparer les vaisseaux à cette fréquence.

# Evolution de la résistance à la cavitation chez le blé (*Triticum* sp.)



UNIVERSITY of  
TASMANIA

université  
de BORDEAUX



INRAE



# Le blé, *Triticum sp.*

---

- Céréale cultivée depuis le début de l'Holocène (approx. 12,000 ans)
- Source primaire essentielle à l'alimentation humaine



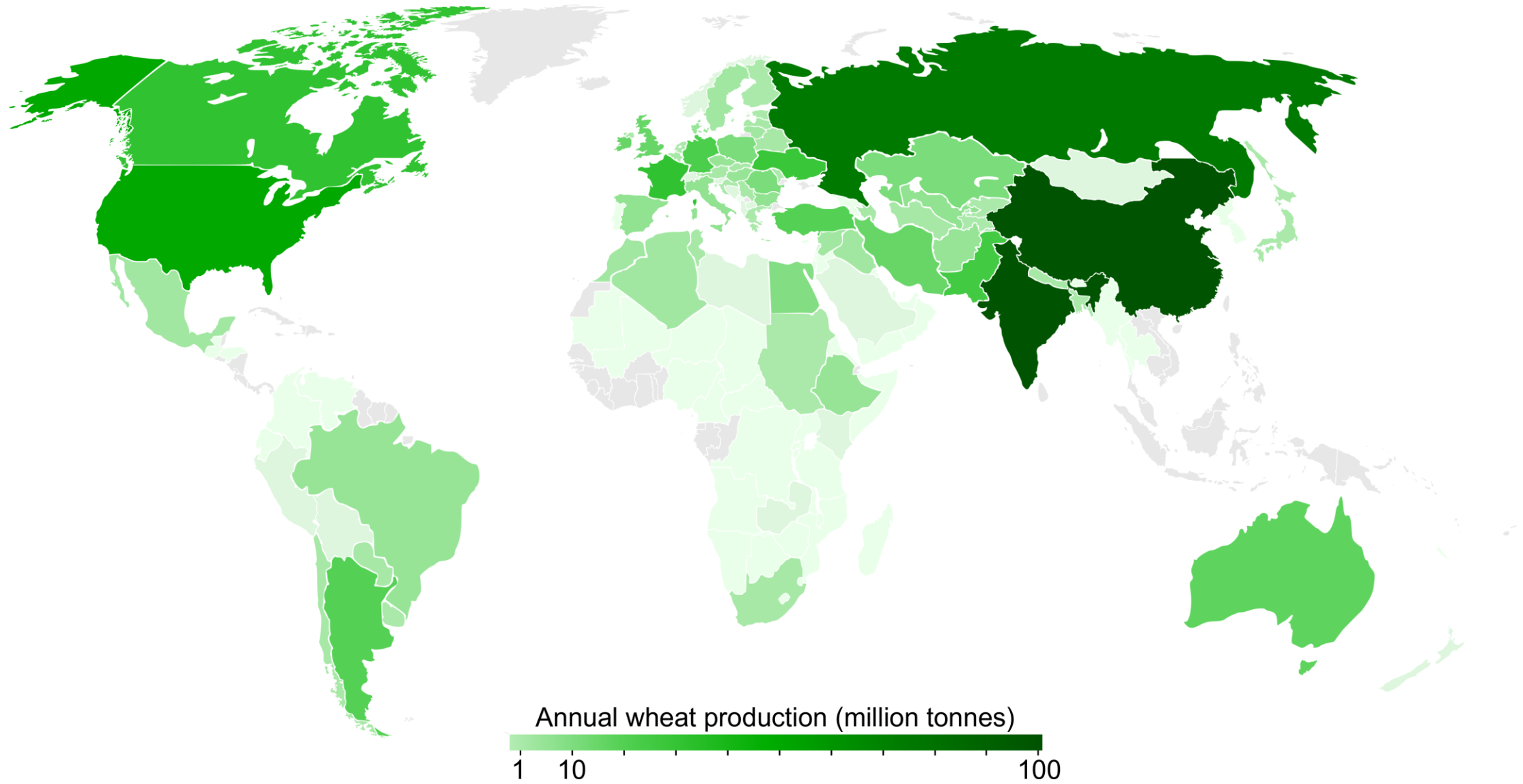
Blé tendre  
*Triticum aestivum*



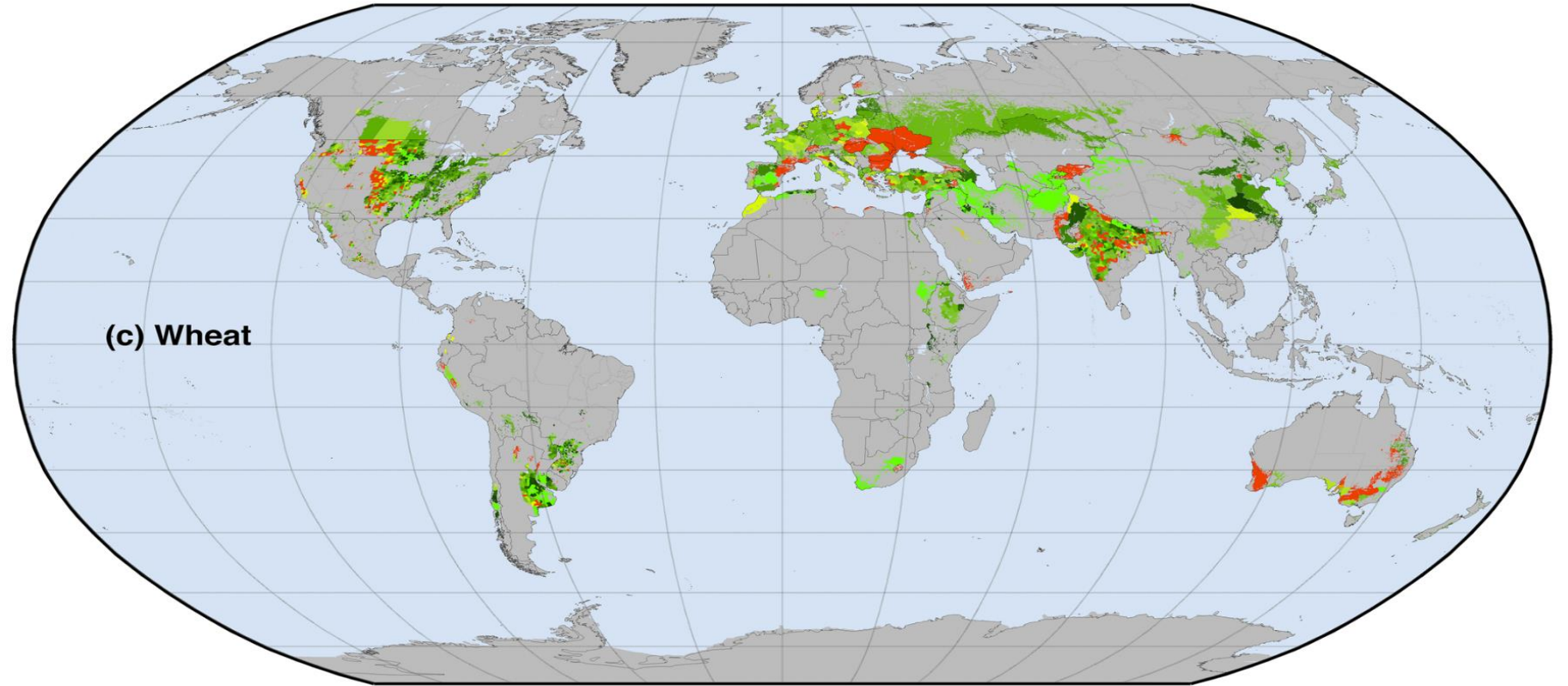
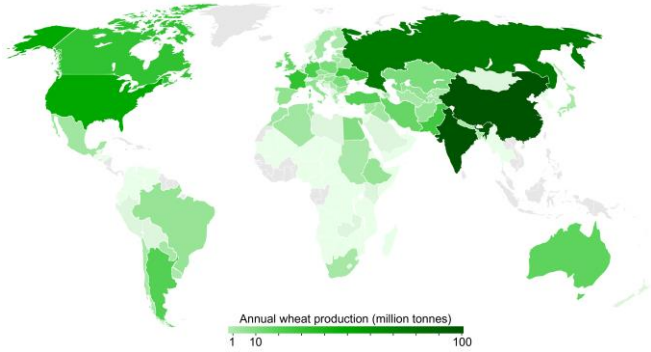
Blé dur  
*Triticum durum*

# Le blé, *Triticum* sp.

---



# Une production menacée



Rate of Yield Change (percent/year)



Ray et al. (2013)

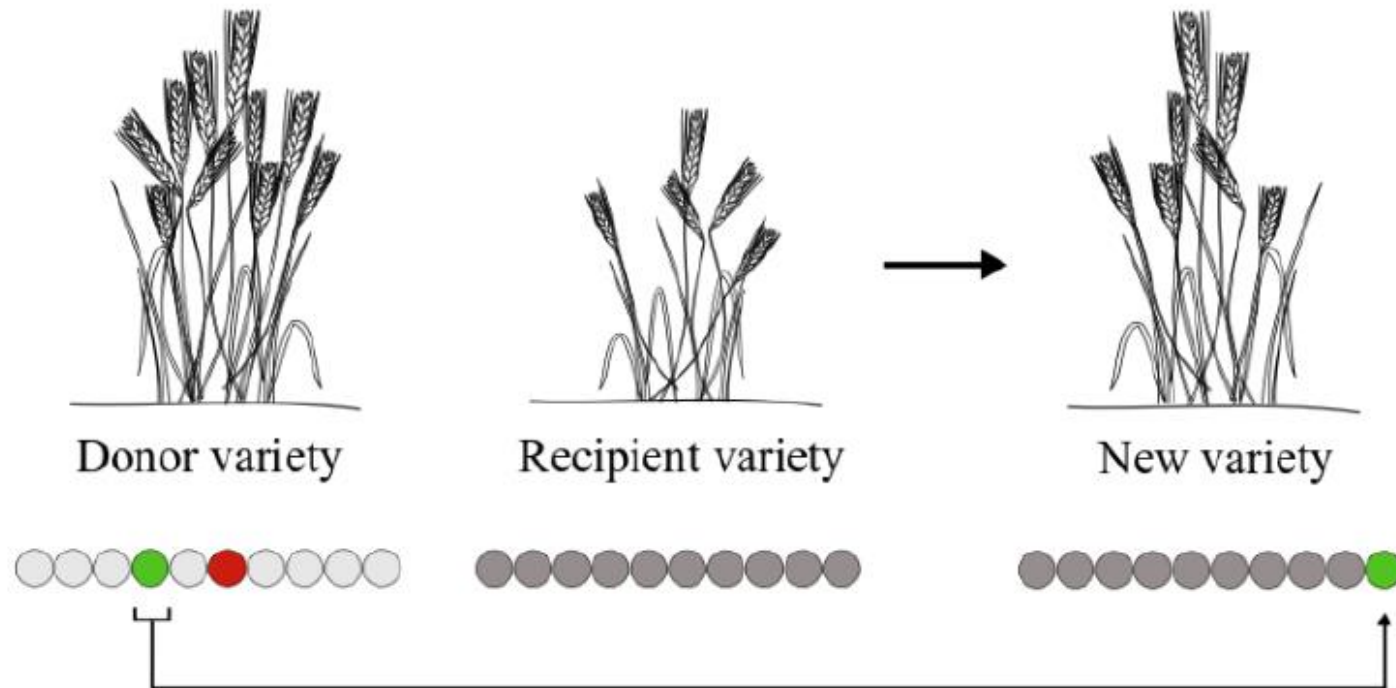
Limites génétiques ? Environnementales ?

# Une production menacée: limites génétiques

Sélection intense des phénotypes et génotypes les plus productifs

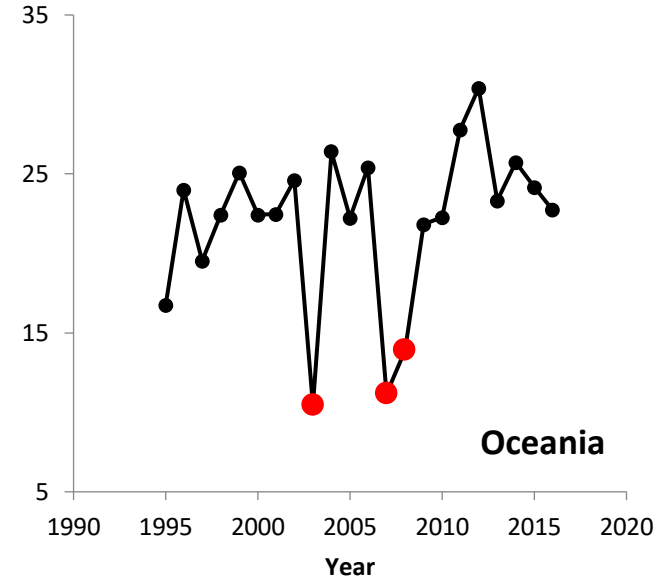
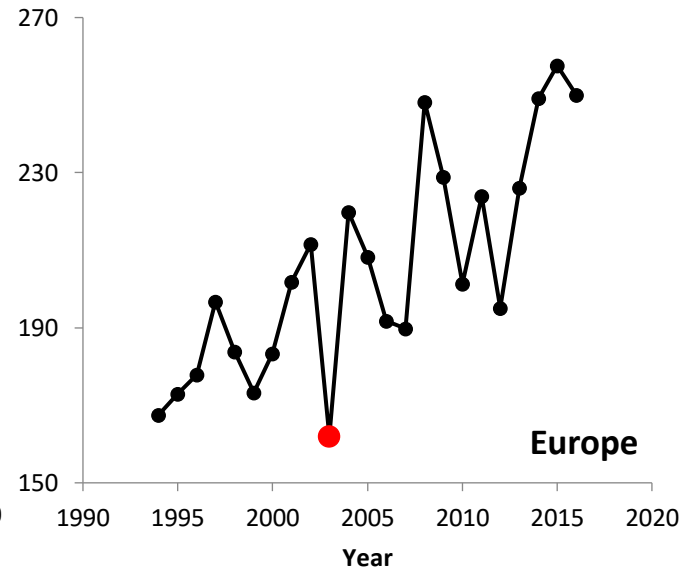
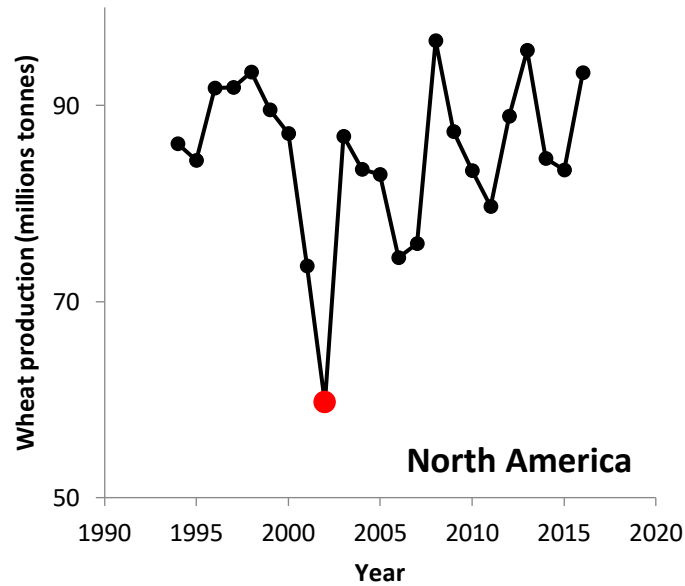


Perte importante de diversité génétique, notamment chez le blé tendre



# Une production menacée : limites environnementales

→ Fort impact négatif de la sécheresse sur la production du blé



**Comment expliquer les chutes de productivité lors d'une sécheresse ?**

# Réponse hydraulique du blé à la sécheresse

---

→ Production et reproduction dépendent du fonctionnement hydraulique: la **cavitation** induit des **pertes de productivité** de la plante

**Le xylème du blé tendre est-il résistant à la cavitation ?**

**Quelles sources génétiques de résistance à la cavitation  
chez le blé et ses ancêtres ?**

→ Utilisation de nouvelles de méthodes de mesure de la résistance à la cavitation

# Vulnérabilité à la cavitation du blé tendre, *Triticum aestivum*

---

## 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





# Vulnérabilité à la cavitation du blé tendre, *Triticum aestivum*

---

## La technique optique

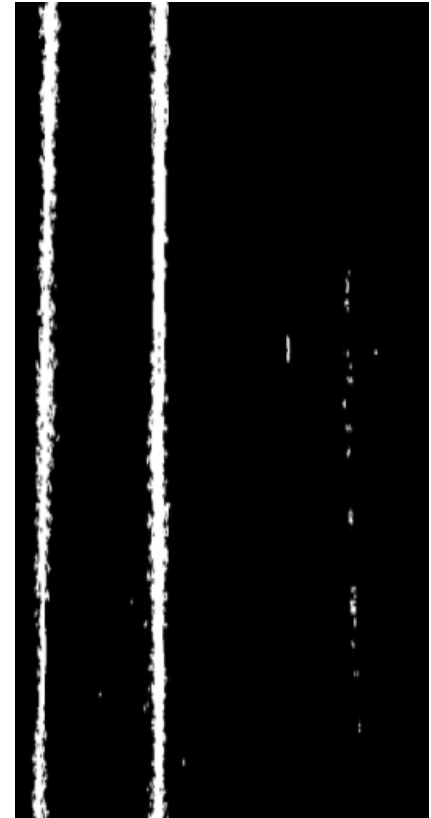
Utilise la différence de transmission de lumière à travers l'eau et l'air pour mettre en évidence les événements de cavitation



$t_0$



$t_1$

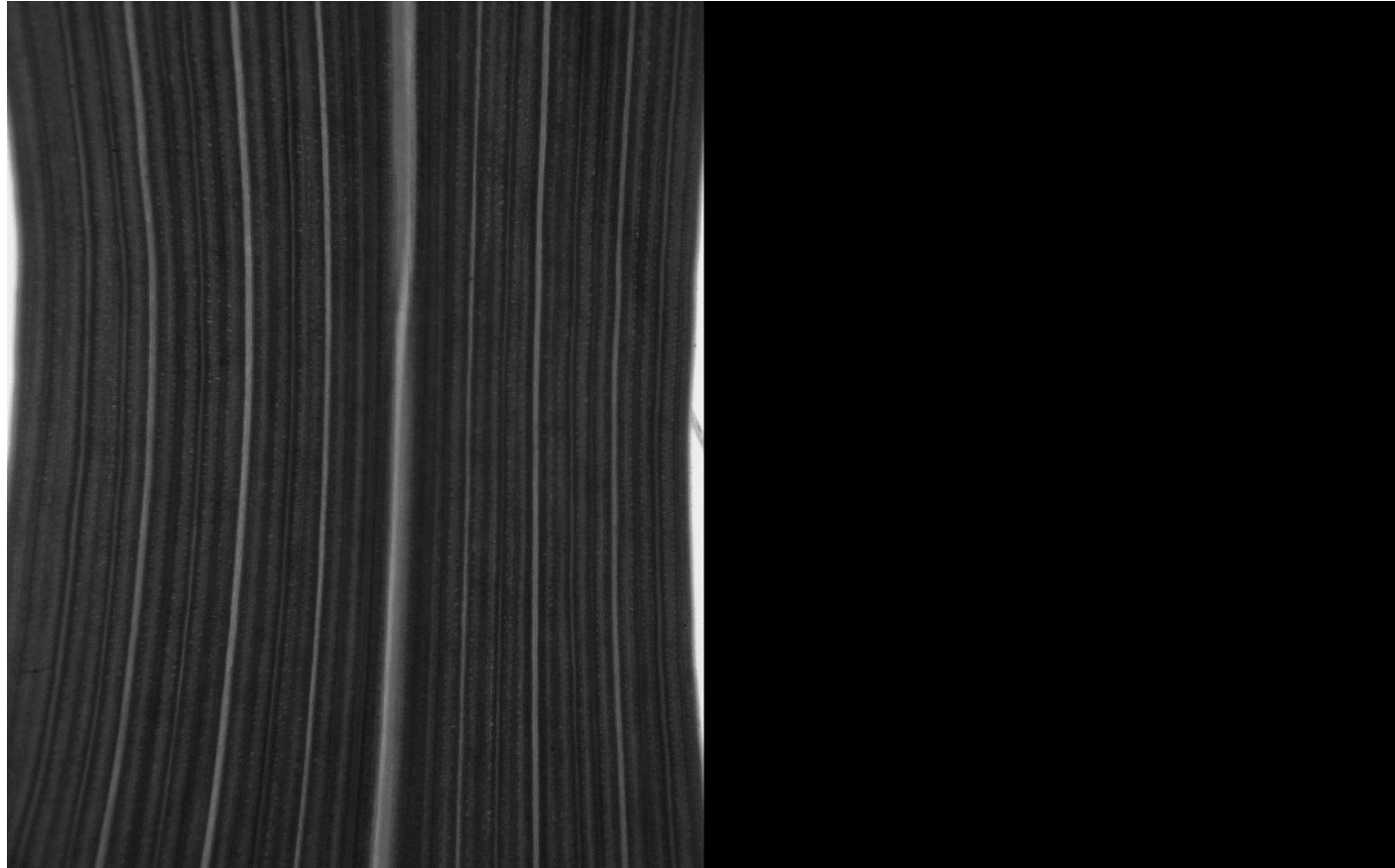


# Vulnérabilité à la cavitation du blé tendre, *Triticum aestivum*

---

## 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



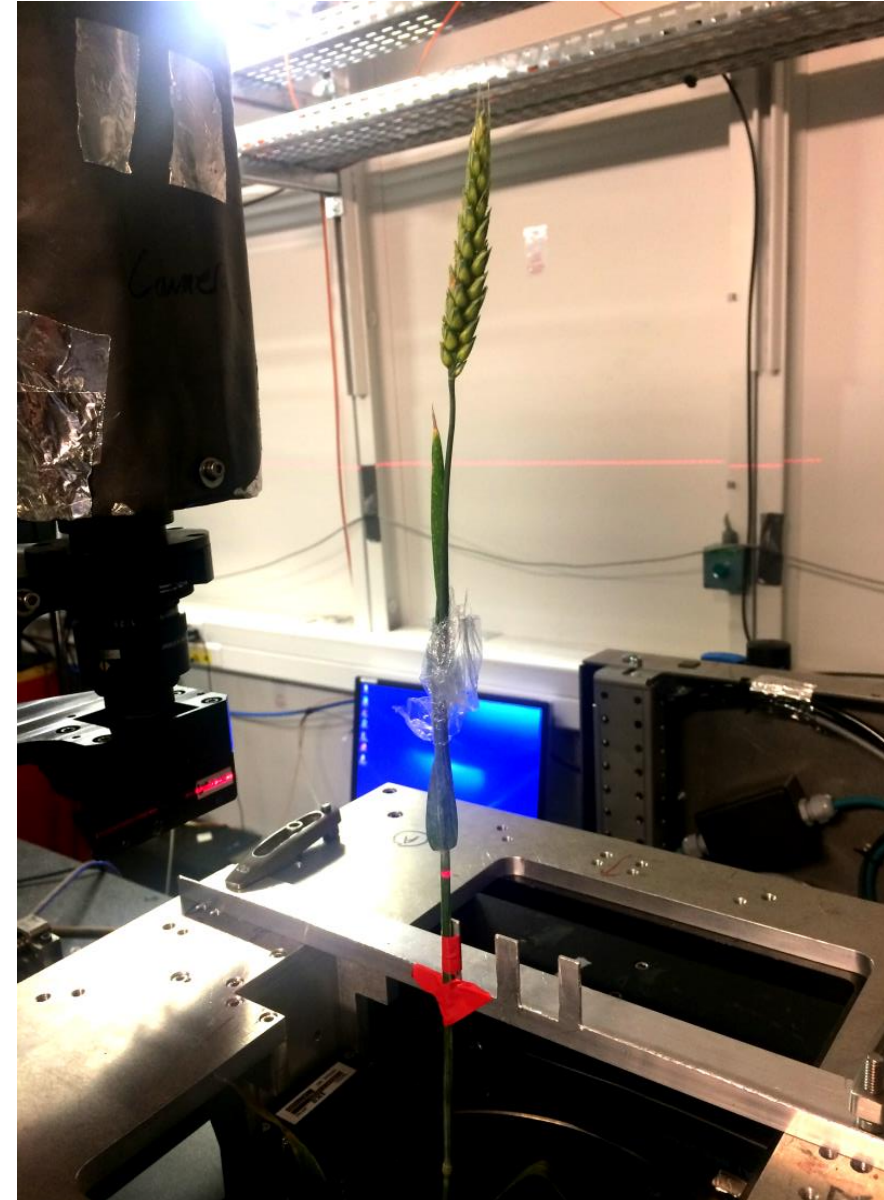
# Vulnérabilité à la cavitation du blé tendre, *Triticum aestivum*

## La microtomographie à rayons X

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



SOLEIL Synchrotron (Paris)

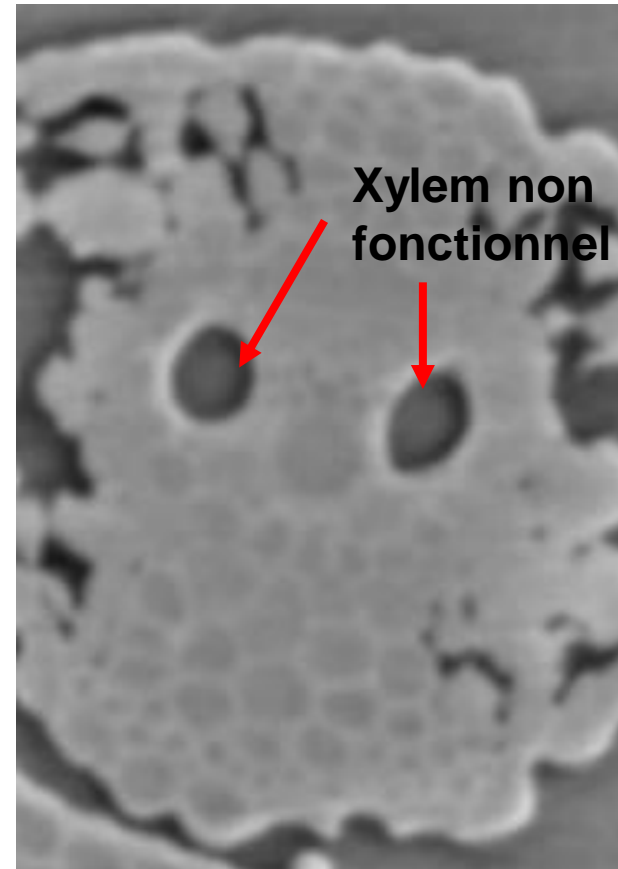
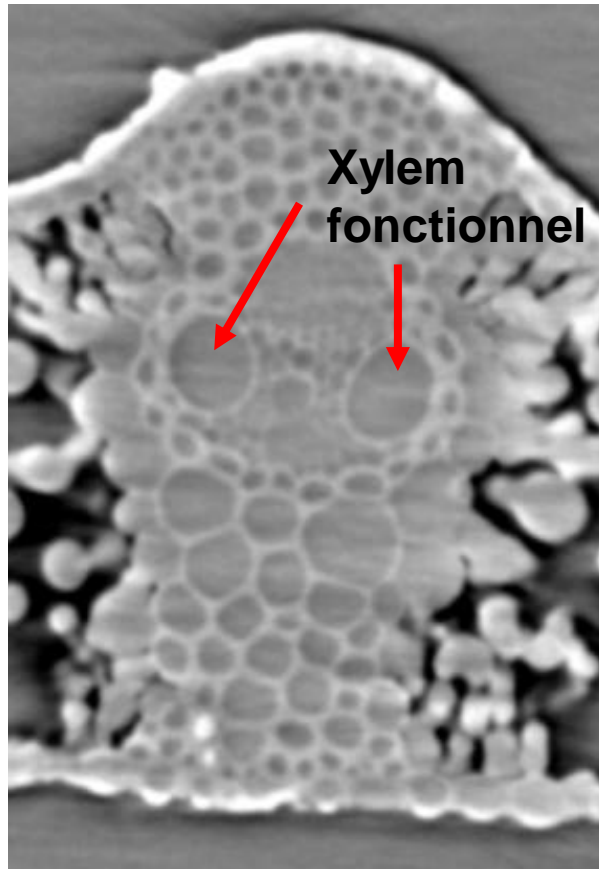


# Vulnérabilité à la cavitation du blé tendre, *Triticum aestivum*

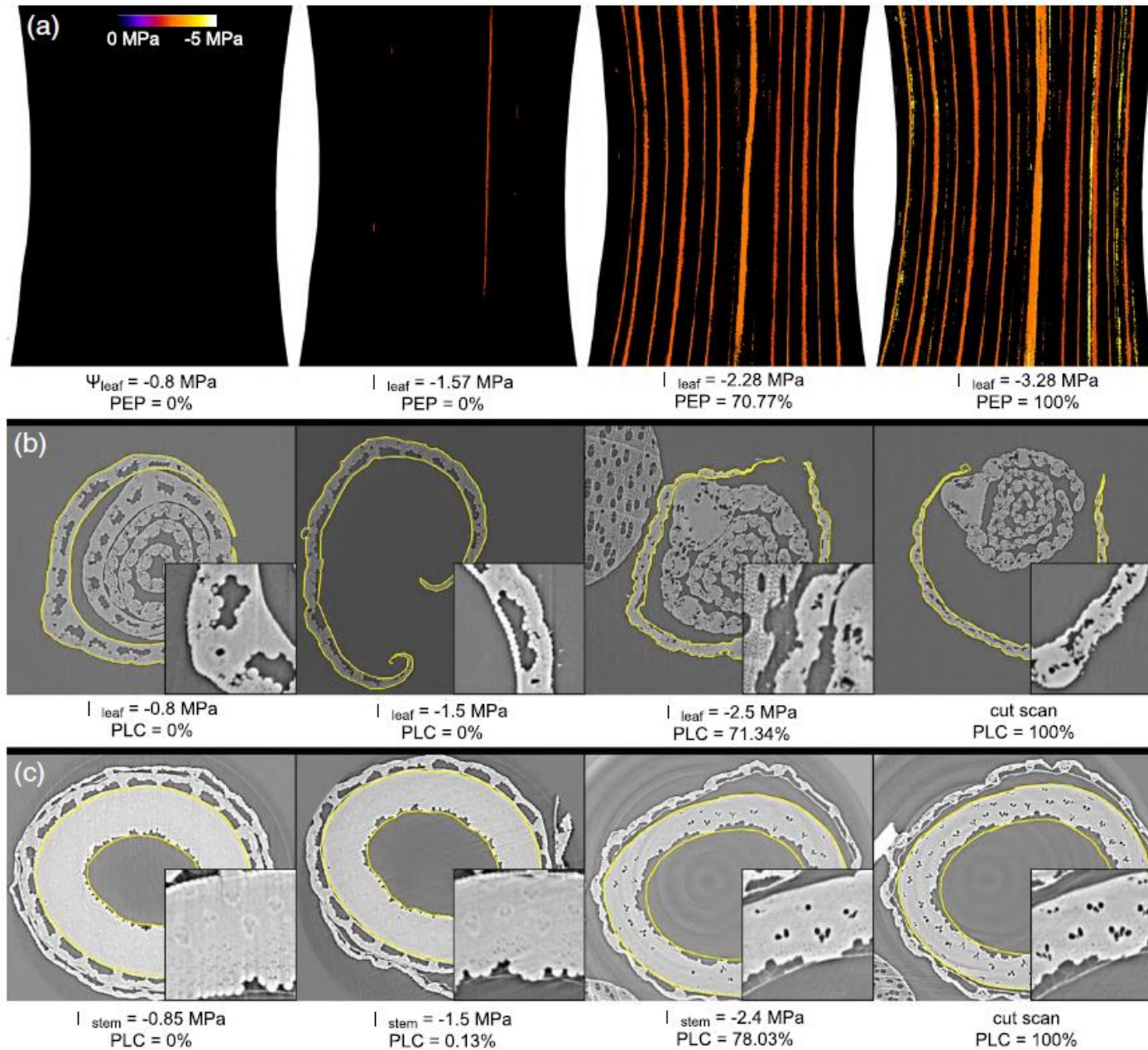
---

## La microtomographie à rayons X

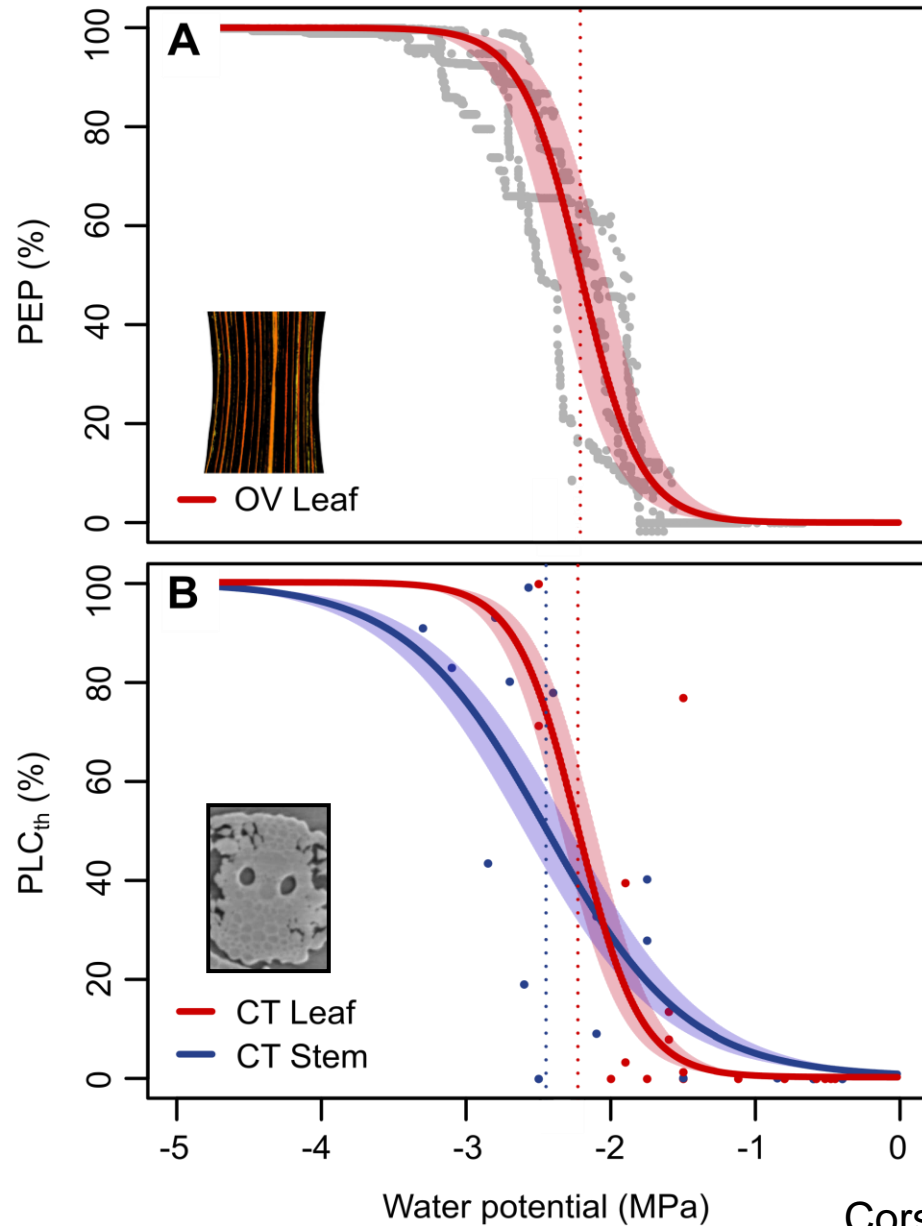
Utilise la différence de transmission des rayons X à travers l'eau et l'air pour observer les vaisseaux embolisés



# Vulnérabilité à la cavitation du blé tendre, *Triticum aestivum*



# Vulnérabilité à la cavitation du blé tendre, *Triticum aestivum*



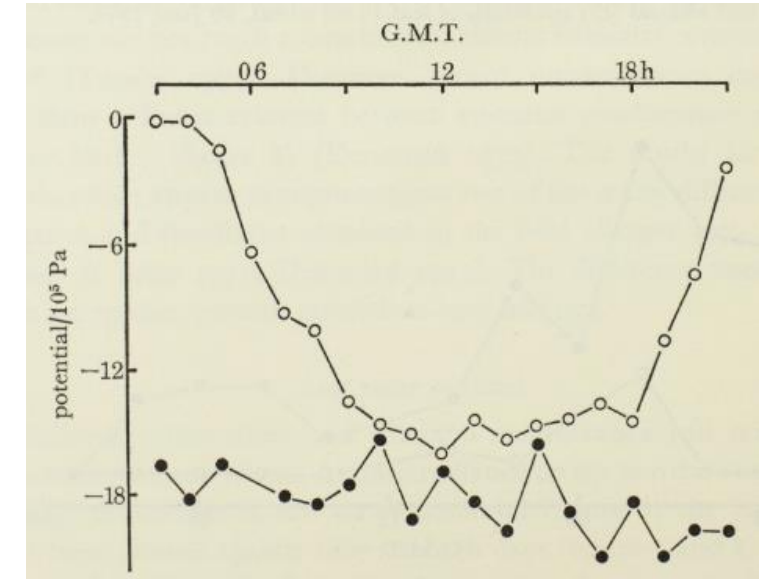
Quel est le risque de cavitation au champ ?

# Vulnérabilité à la cavitation du blé tendre, *Triticum aestivum*

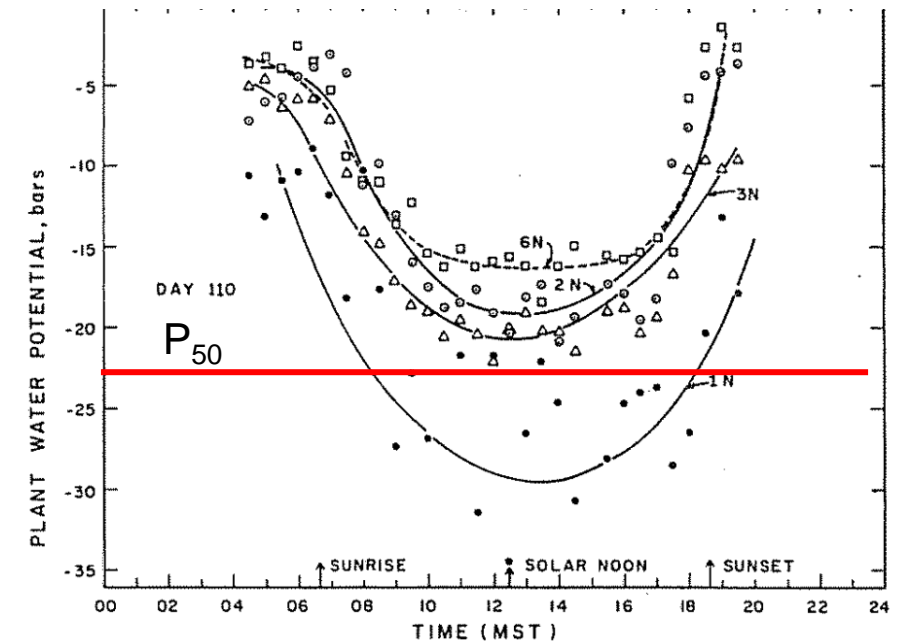
Quel est le risque de cavitation au champ ?

→ En conditions non stressantes : pas de cavitation

→ Lors d'une sécheresse: risque élevé de cavitation



Biscoe *et al.* (1976)

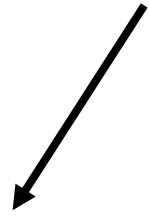


Erhler *et al.* (1978)

# Quelles ressources génétiques pour améliorer/maintenir la performance du blé tendre dans le climat futur ?



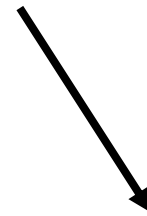
# Quelles ressources génétiques pour améliorer/maintenir la performance du blé tendre dans le climat futur ?



Développer des cultivars plus résistants à la sécheresse



**Common wheat**  
*Triticum aestivum*



Utiliser des ancêtres sauvages comme nouvelle source génétique



**Goatgrass**  
*Aegilops tauschii*

# Evaluation de la variabilité de la $P_{50}$ chez le blé



Optical technique setup



**Red wild einkorn**  
*Triticum urartu*

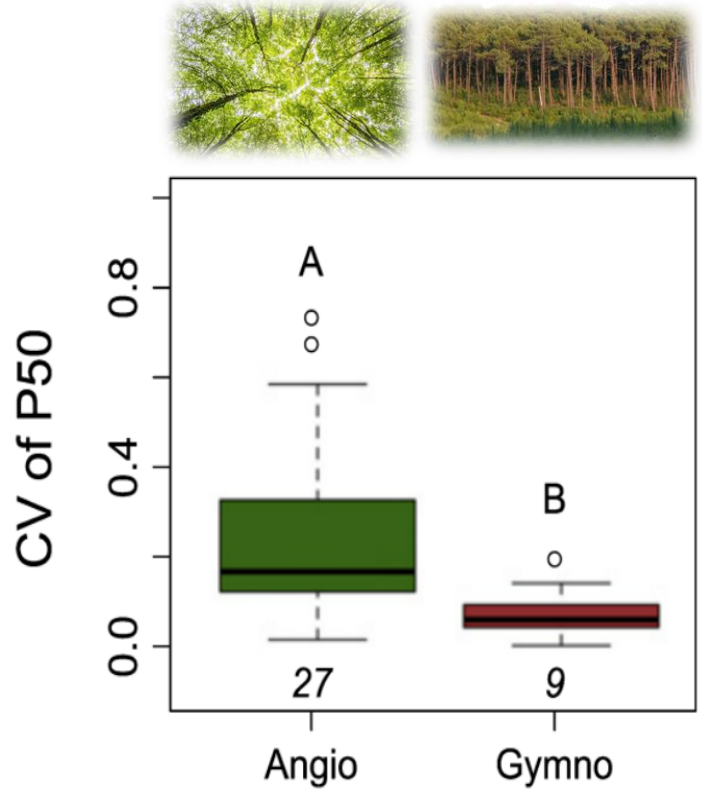


**Spelt**  
*Triticum spelta*

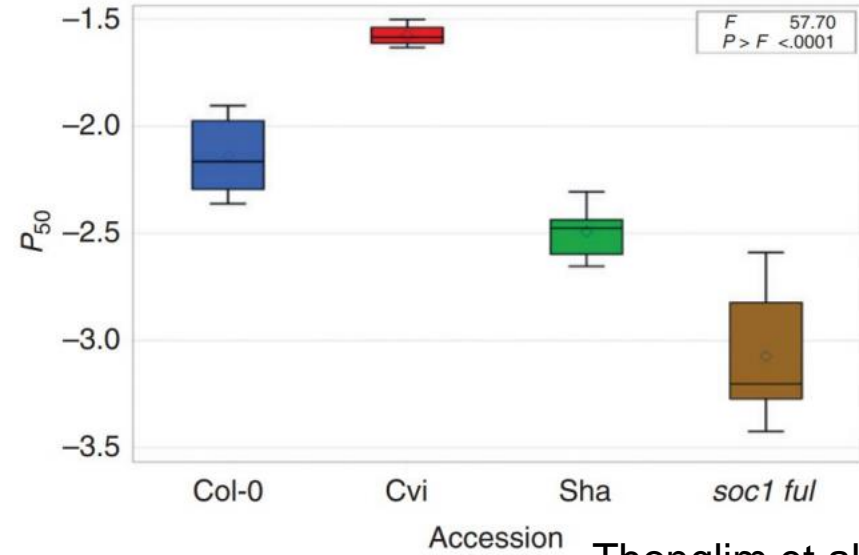


**Araratian wild emmer**  
*Triticum araraticum*

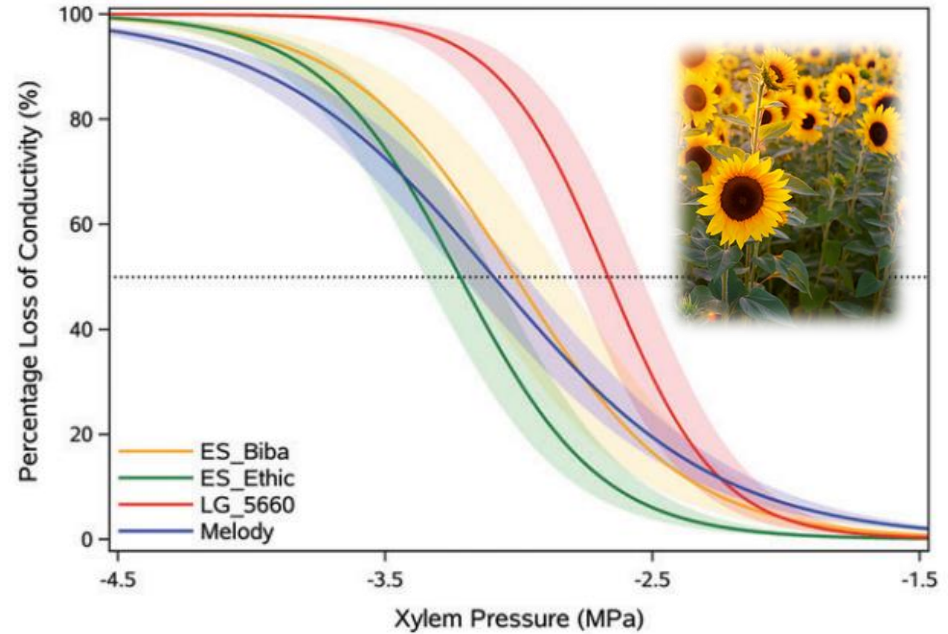
# Variabilité intraspécifique de la $P_{50}$



Anderegg (2014)

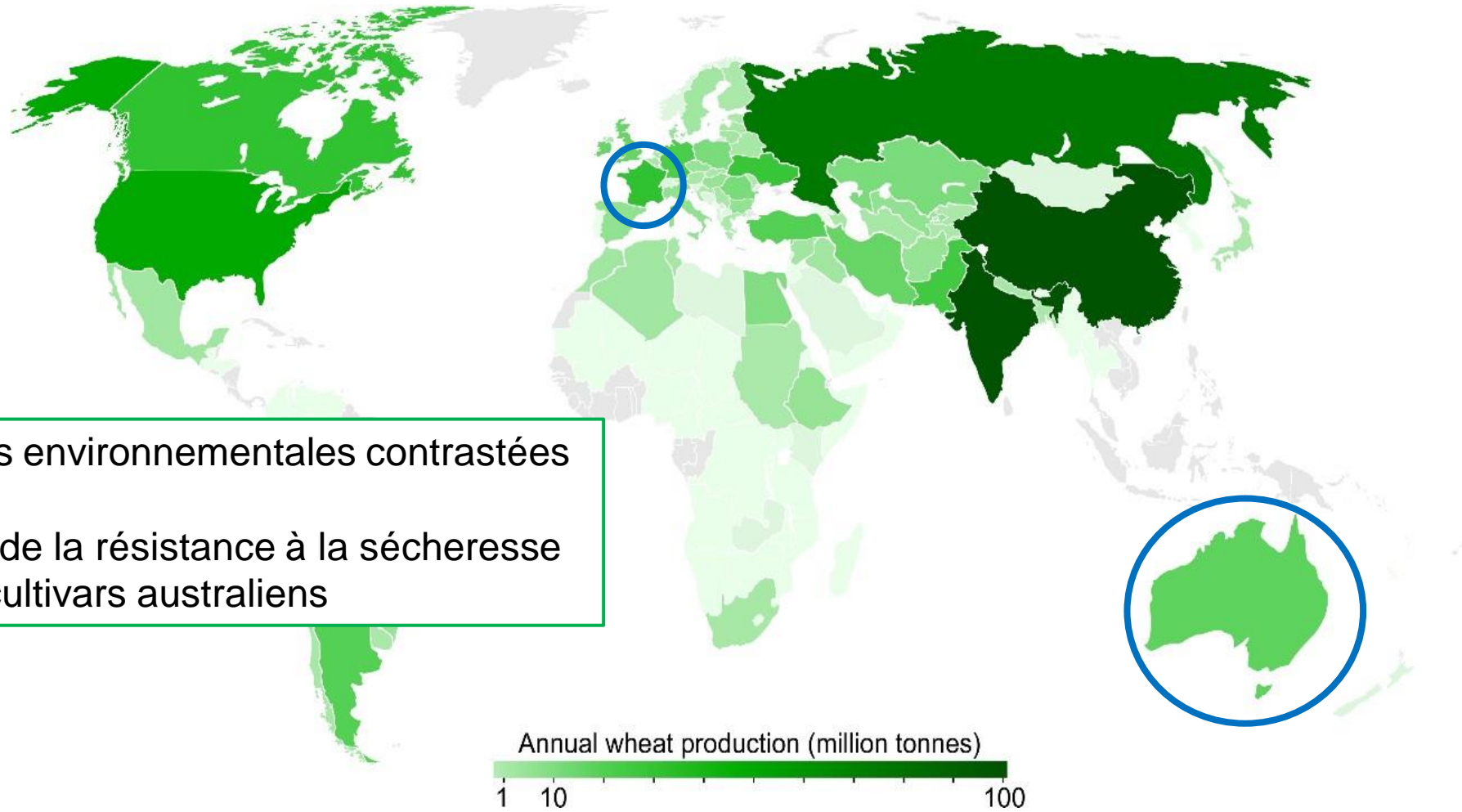


Thonglim et al. (2021)



Ahmad et al. (2017)

# Variabilité intraspécifique de la P<sub>50</sub>

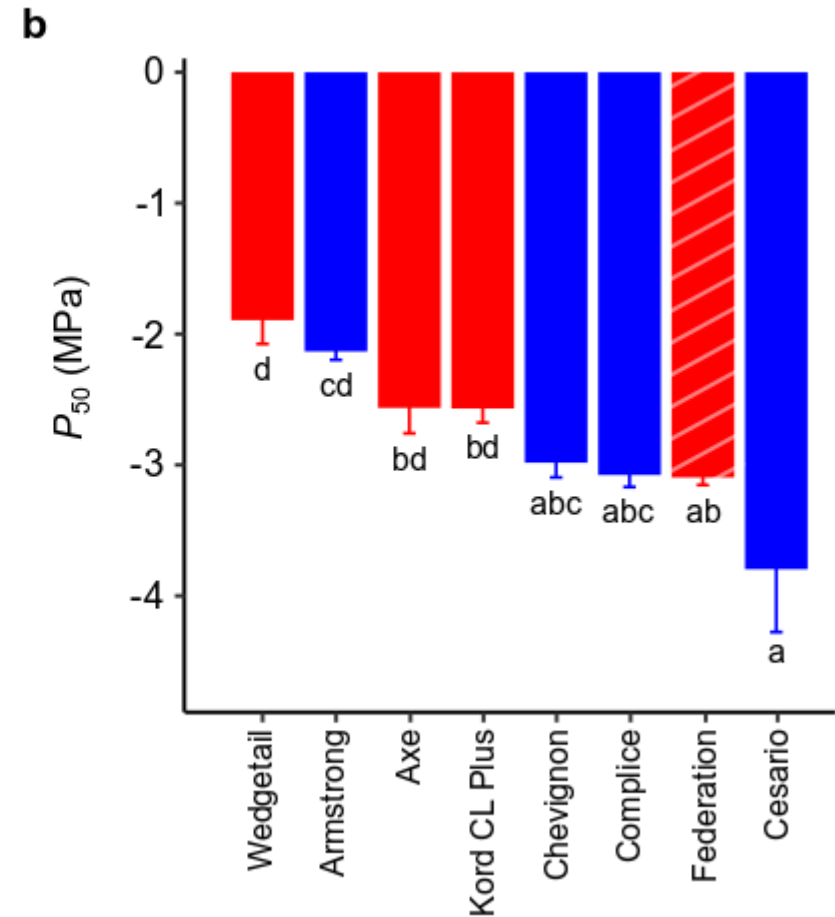
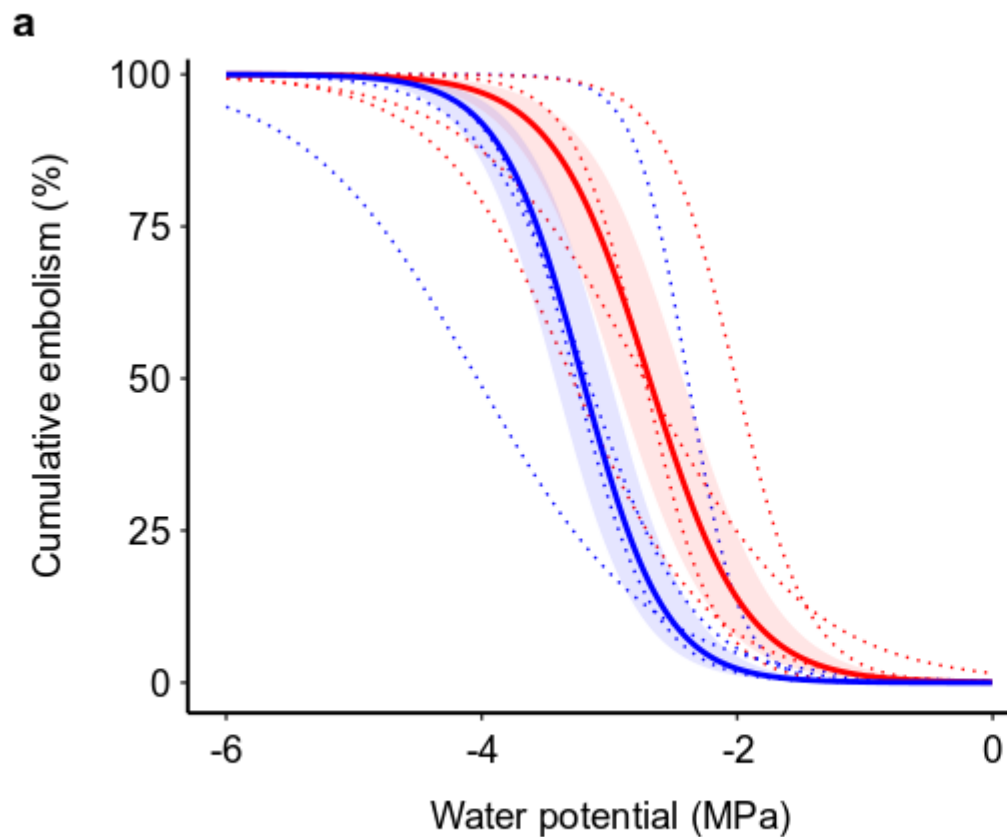


- Conditions environnementales contrastées
- Sélection de la résistance à la sécheresse chez les cultivars australiens

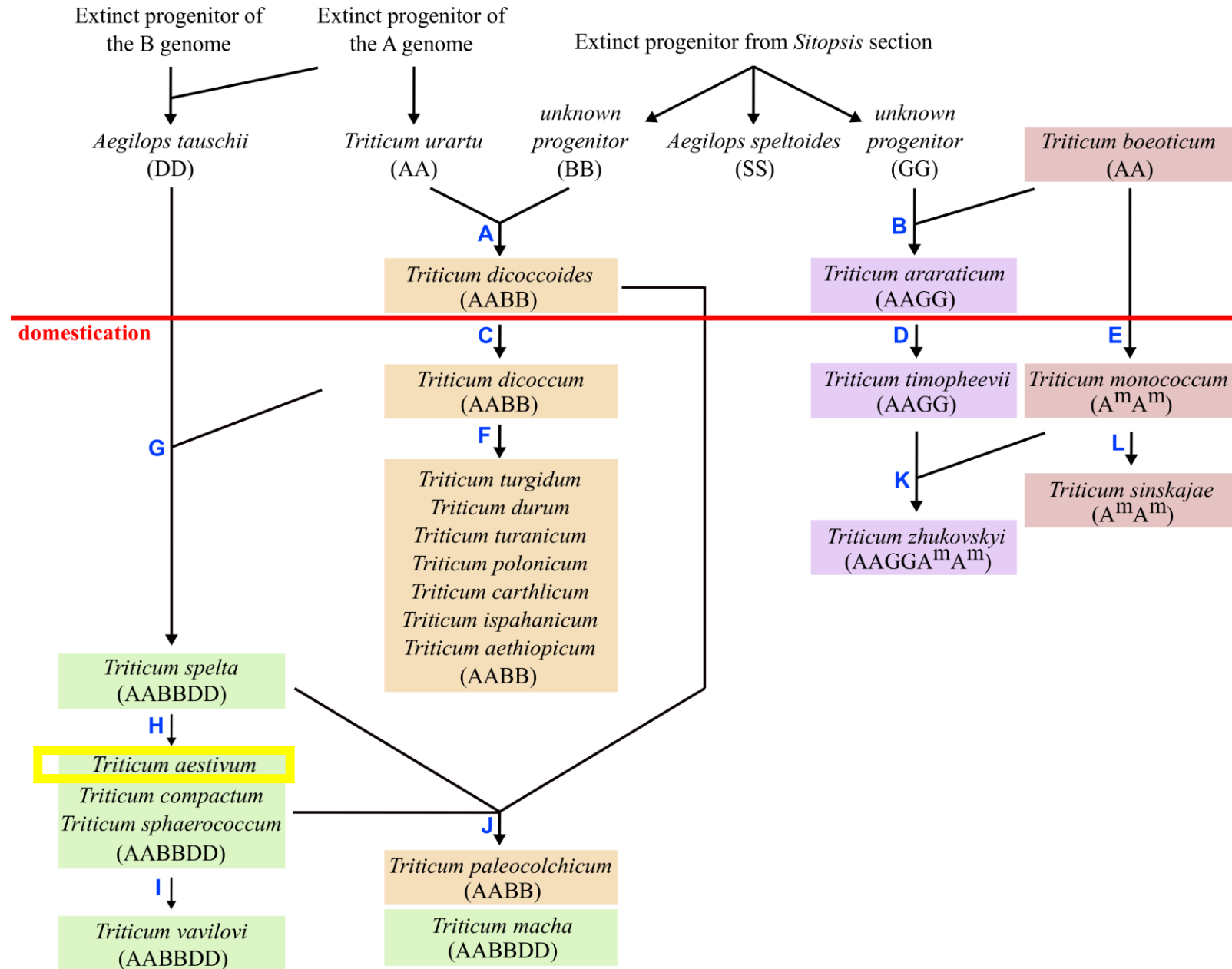
# Variabilité intraspécifique de la $P_{50}$

Importante variabilité de la  $P_{50}$  chez le blé tendre mais pas de sélection effective de la résistance du xylème à la sécheresse

France  
Australia

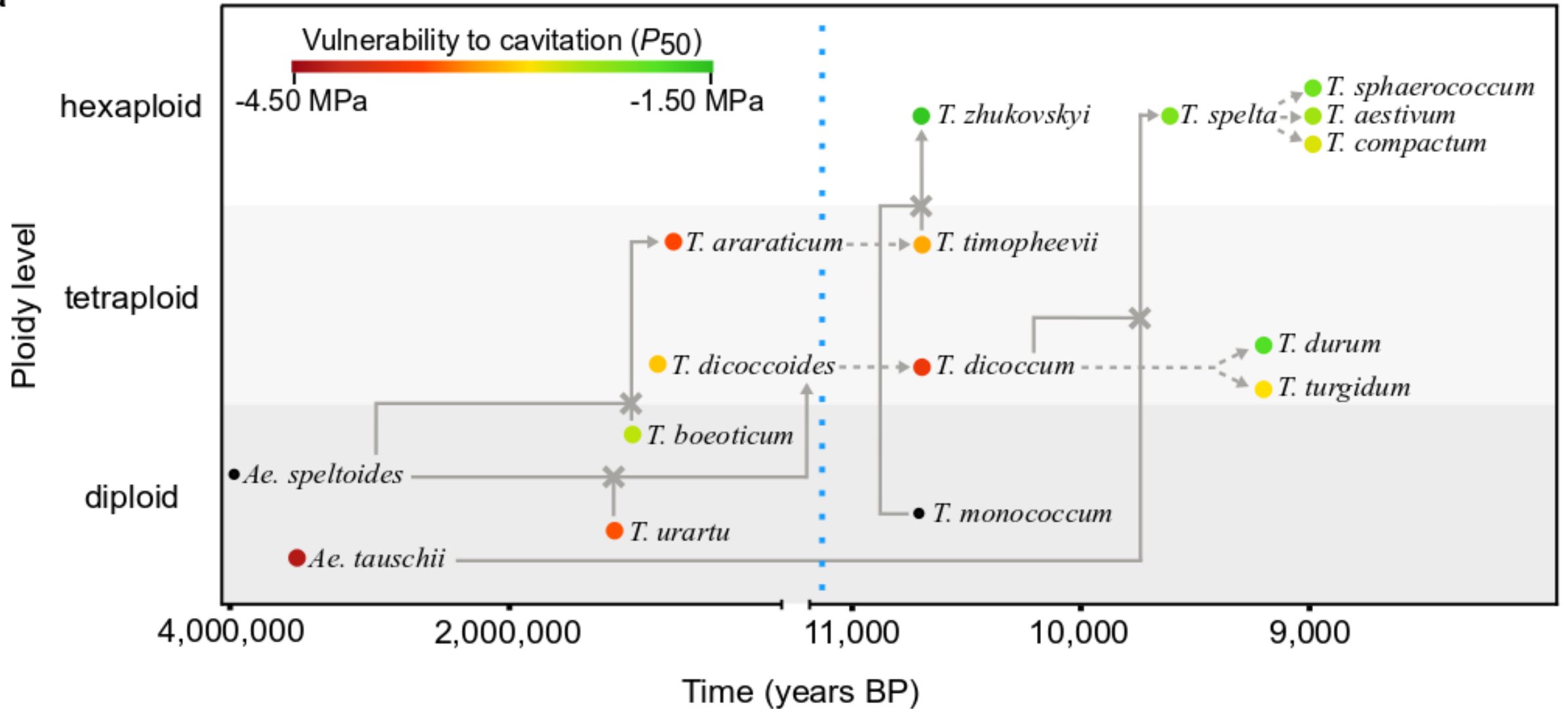


# L'histoire complexe du blé, *Triticum sp.*



# L'histoire complexe du blé, *Triticum sp.*

a



# Variabilité interspécifique de la $P_{50}$

---

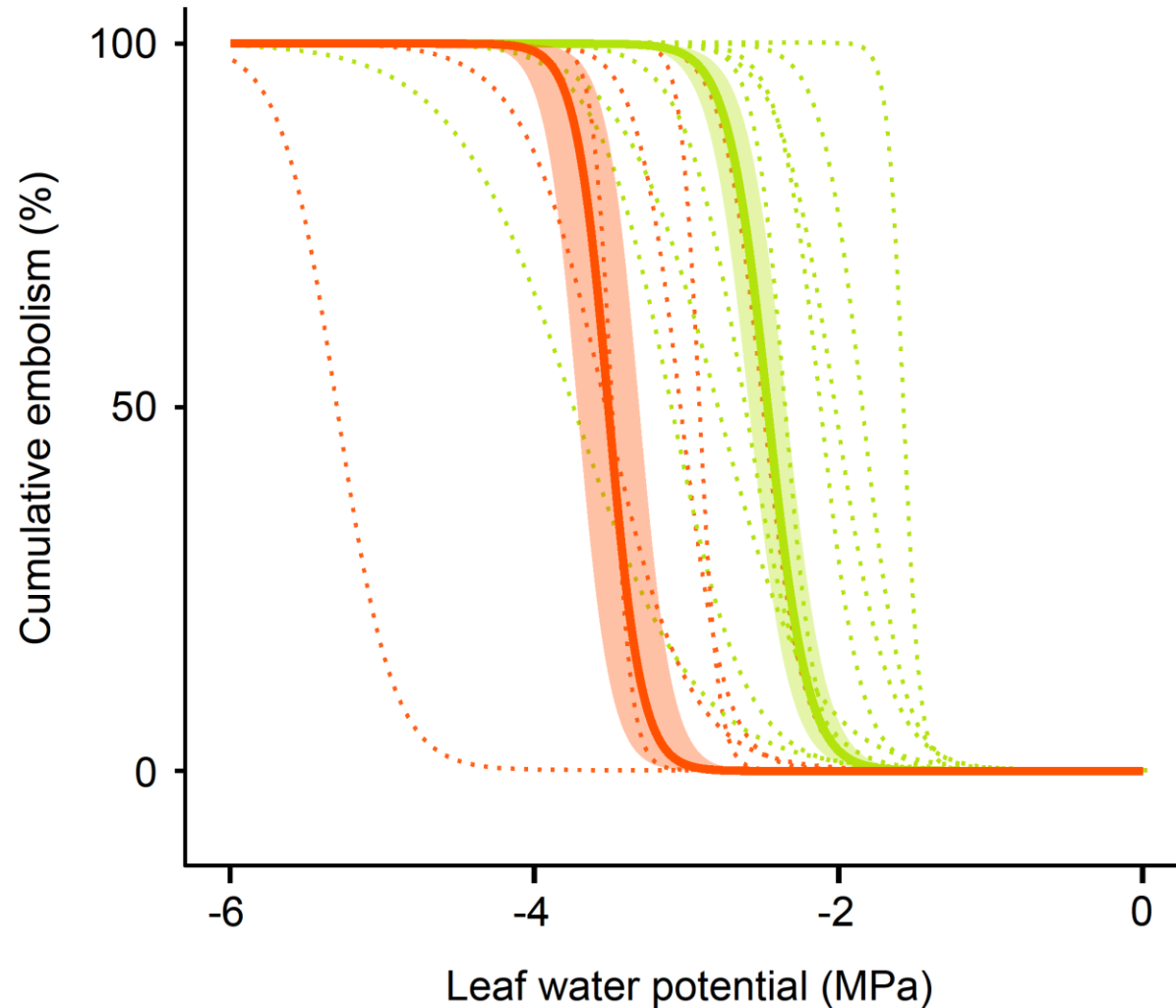
→ Effet de la domestication ?

→ Effet de la polyploïdisation ?



# Variabilité interspécifique de la $P_{50}$

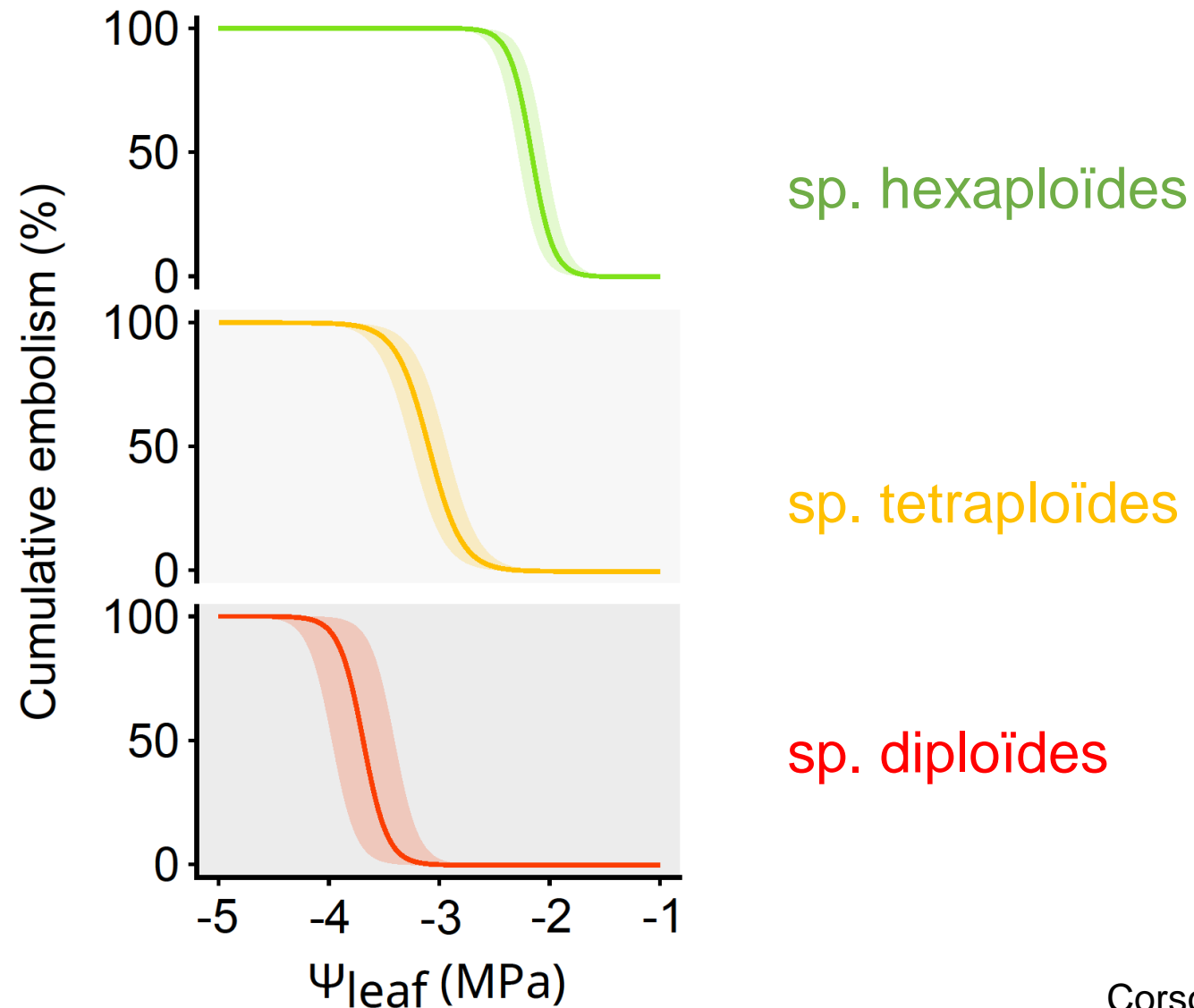
**Effet négatif de la domestication sur la résistance à la cavitation**  
Mais importante variabilité interspécifique de la  $P_{50}$  chez *Triticum*



Blés cultivés

Ancêtres sauvages

## Effet négatif de la polyploïdie sur la résistance à la cavitation



- Le xylème du **blé tendre est peu résistant à la cavitation**, ce qui peut expliquer les pertes de production observées lors de sécheresses. Dans le contexte du changement climatique, il devient donc essentiel d'identifier de nouvelles ressources génétiques pour augmenter la  $P_{50}$  de cette céréale majeure.
- Les **actions humaines** ont globalement eu un **effet négatif sur la résistance du xylème au stress hydrique**. A l'avenir, il sera essentiel de mieux comprendre comment les traits hydrauliques relatifs à la résistance à la sécheresse peuvent être sélectionnés.
- Il existe une **importante variabilité interspécifique de la  $P_{50}$  au sein de la phylogénie du blé**. En particulier, les ancêtres sauvages du blé ont développé un xylème bien plus résistants à la cavitation que leurs descendants cultivés.

# Merci pour votre écoute

[deborah.corso@u-bordeaux.fr](mailto:deborah.corso@u-bordeaux.fr)

