



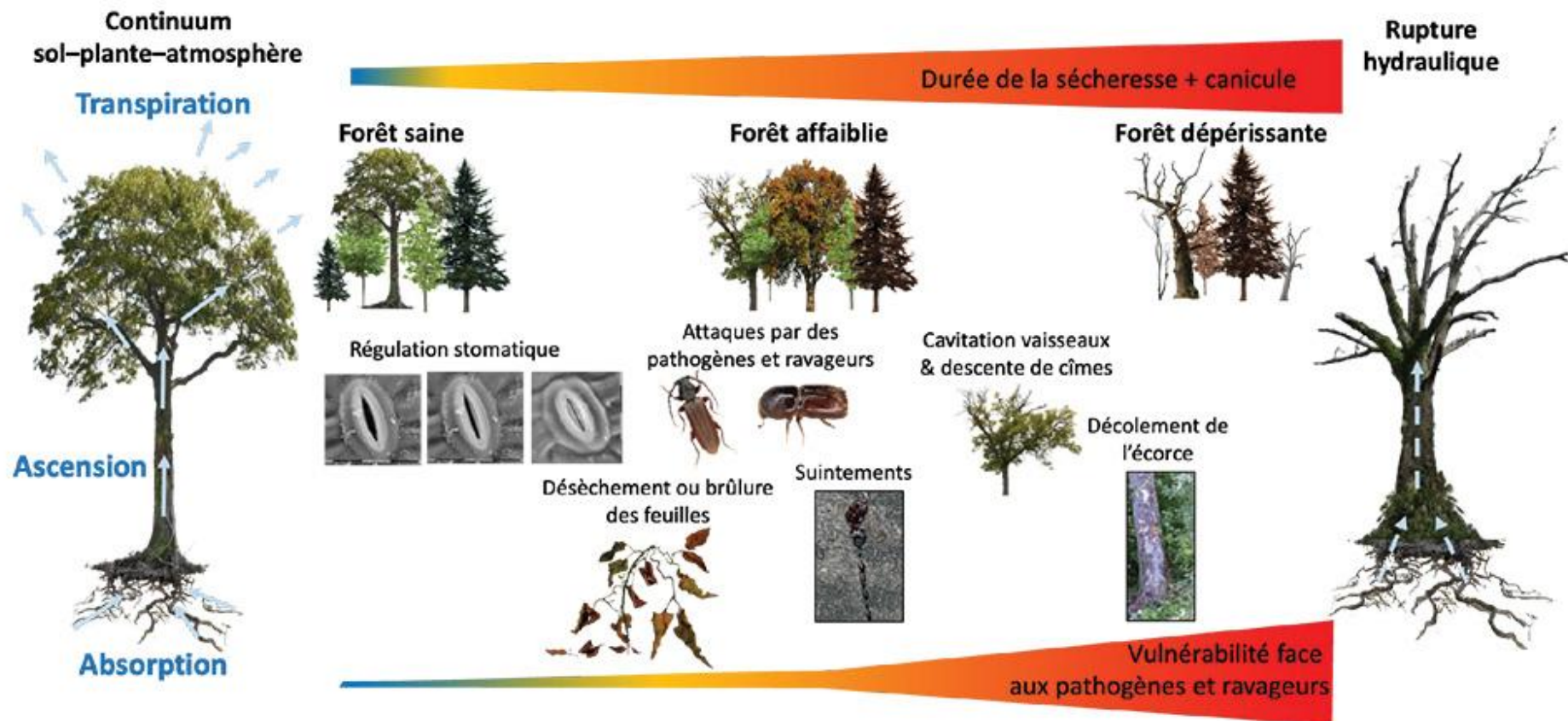
LA FORÊT EXPÉRIMENTALE DE L'UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

ETUDE DU DÉPÉRISSEMENT FORESTIER LORS DE SÉCHERESSES SÉVÈRES

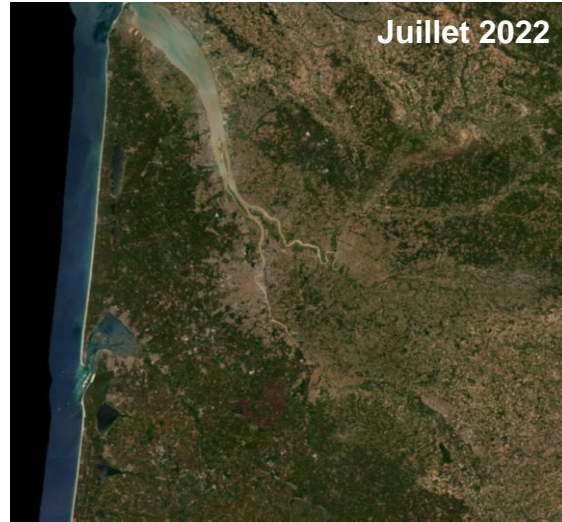
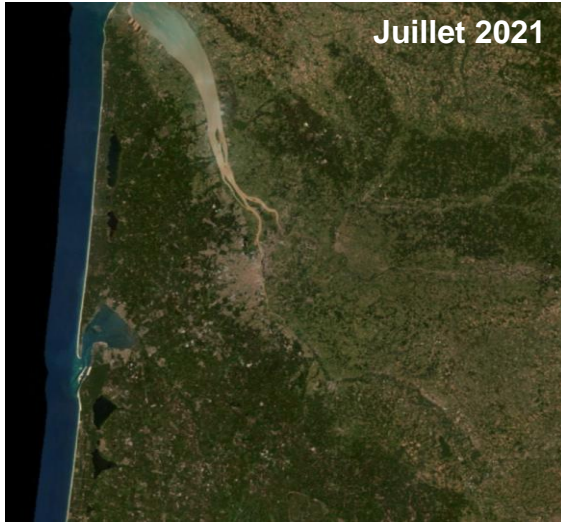
Déborah Corso
Post-doctorante, UMR BioGeCo, UBx/INRAE

deborah.corso@u-bordeaux.fr

Le dépérissement forestier, qu'est-ce que c'est ?



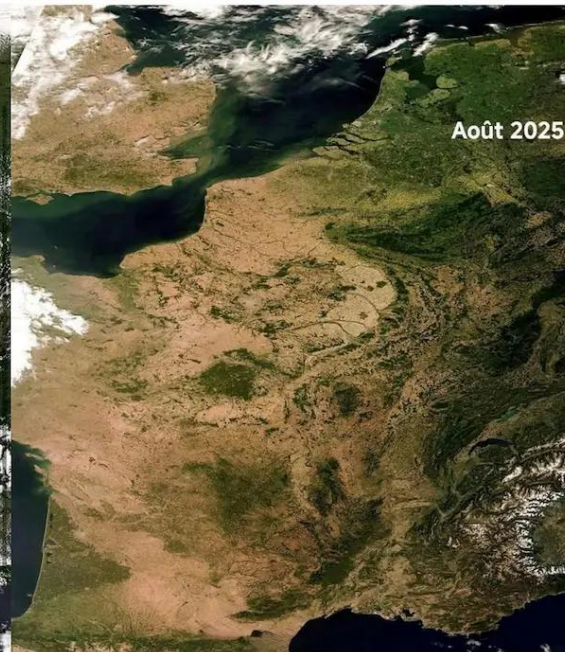
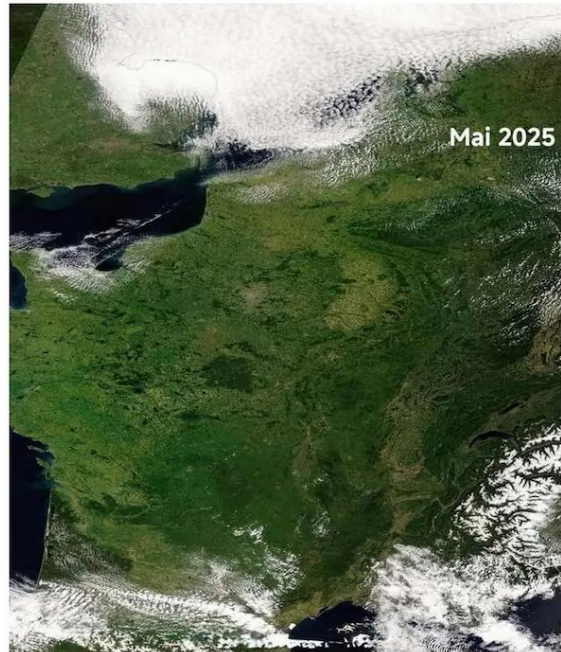
La sécheresse, l'une des causes majeures de dépérissement des écosystèmes forestiers



© Planet Labs PBC 2022



© S. Delzon

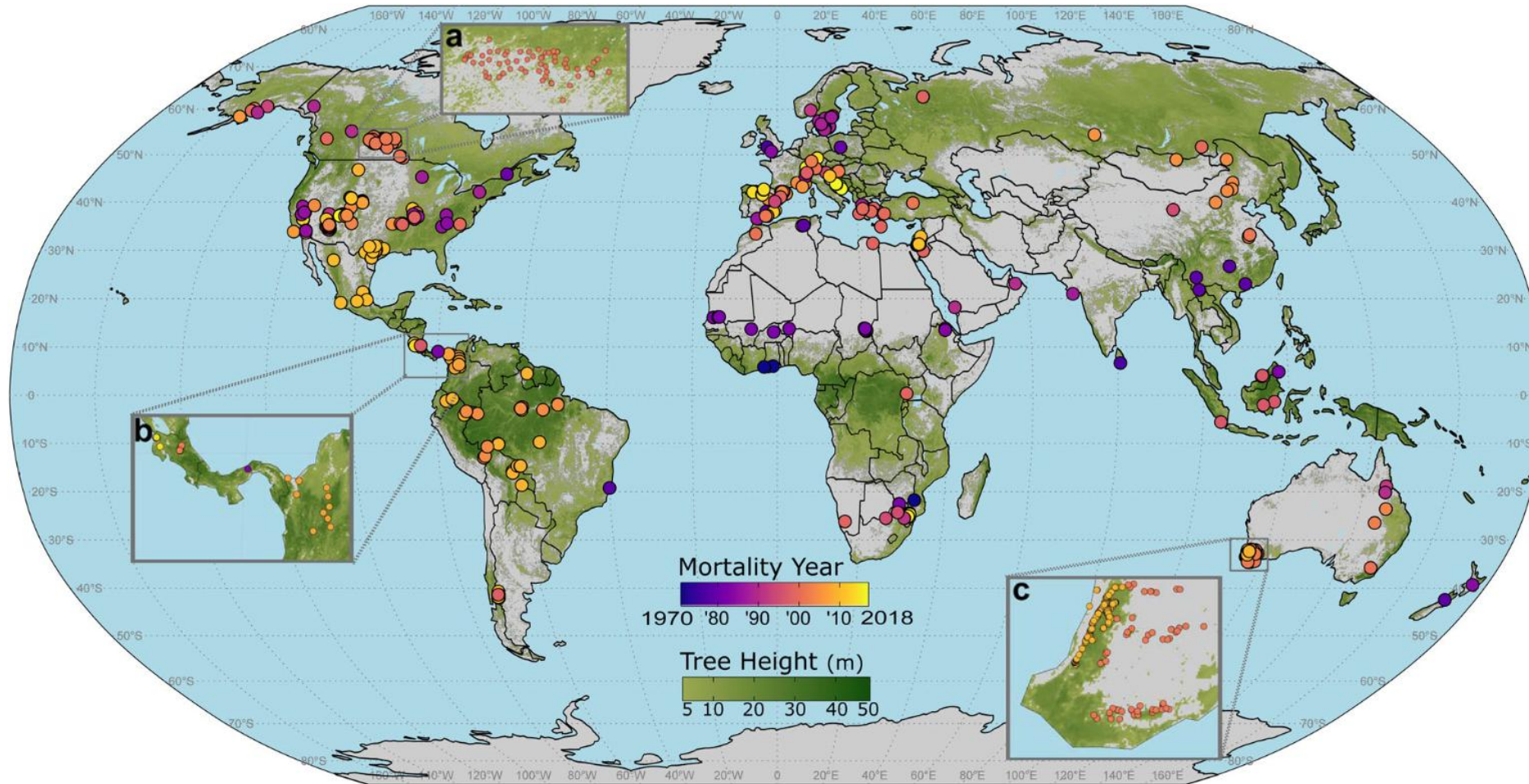


© meteo-paris.com



© S. Zaka

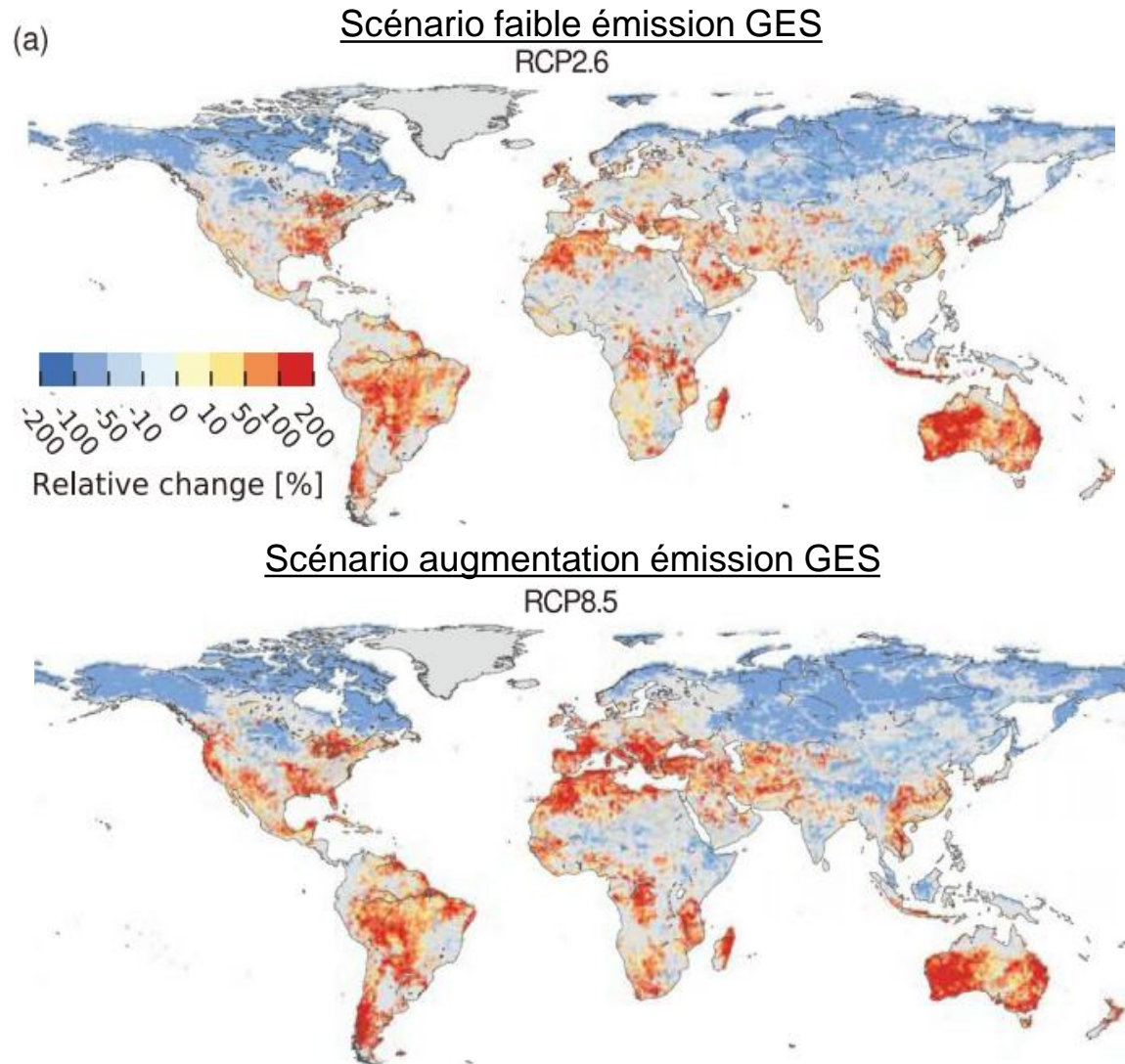
La mortalité forestière induite par la sécheresse s'observe partout sur le globe



Hammond et al. (2022)



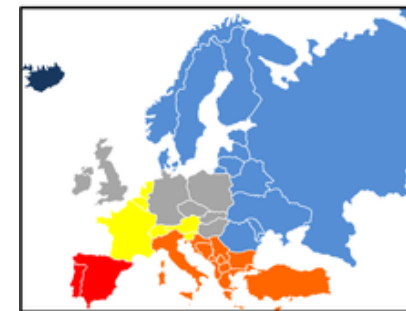
Les épisodes de sécheresses s'intensifient avec le changement climatique



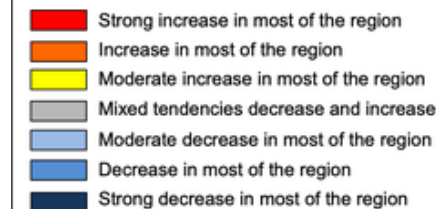
Satoh et al. (2022)

Droughts: annual trends

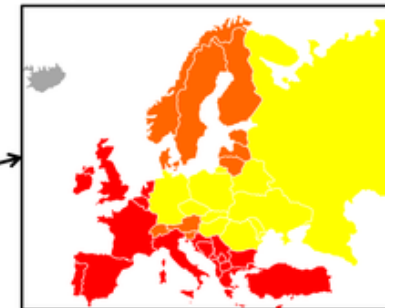
Observed trends 1951-2010



Drought frequency trends
(source: Spinoni et al., 2018)



Projected trends 2011-2100



Moderate scenario
of climate change

Projected trends 2011-2100



High-end scenario
of climate change

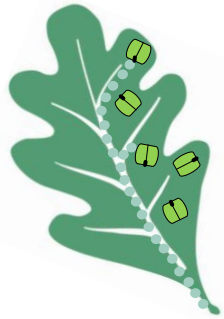
Spinoni et al. (2018)



Comment les arbres répondent aux sécheresses extrêmes ?

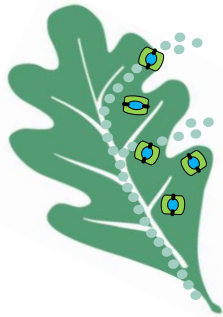
THEORIE ET MESURES EN LABORATOIRE

Fonctionnement hydraulique d'un arbre en conditions non stressantes



Stomates fermés
= ∅ transpiration

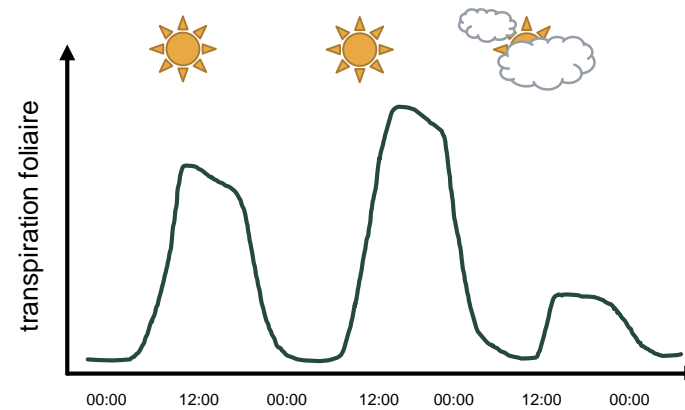
= relâchement de
la tension du
xylème



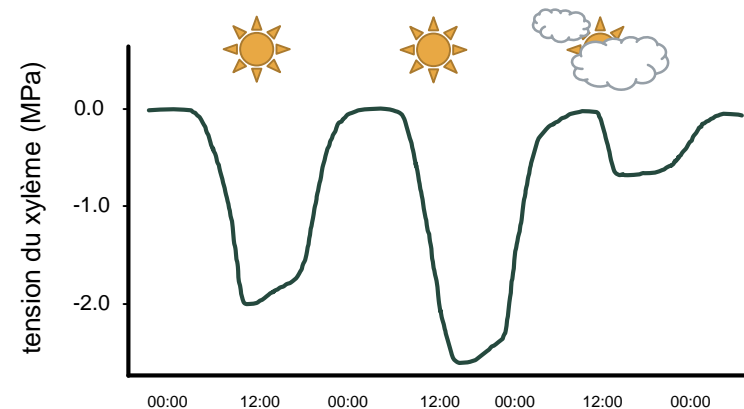
Stomates ouverts
= transpiration

= augmentation
de la tension
dans le xylème

transpiration foliaire



acheminement de l'eau sous tension



absorption racinaire

Fonctionnement hydraulique d'un arbre en conditions non stressantes

Le bon fonctionnement hydraulique d'un arbre assure sa **productivité**

transpiration foliaire

assimilation carbonée

régulation thermique

croissance et reproduction

acheminement de l'eau sous tension

assimilation azotée

absorption racinaire



Dysfonctionnement hydraulique lors d'un stress hydrique

Le bon fonctionnement hydraulique d'un arbre assure sa productivité

Lorsque les conditions deviennent stressantes, **les stomates se ferment** pour limiter la perte d'eau et l'augmentation de la tension du xylème.

- ② transpiration foliaire
- ② assimilation carbonée
- ② régulation thermique
- ② croissance et reproduction
- ② acheminement de l'eau sous tension

- ② assimilation azotée
- ② absorption racinaire



Dysfonctionnement hydraulique lors d'un stress hydrique

Le bon fonctionnement hydraulique d'un arbre assure sa productivité

Lorsque les conditions deviennent stressantes, les stomates se ferment.

Si le stress hydrique est prolongé, le seuil d'**embolie du xylème** est franchit et conduit à une perte de productivité voire à de la mortalité.

- transpiration foliaire
- assimilation carbonée
- régulation thermique
- croissance et reproduction
- acheminement de l'eau sous tension
- assimilation azotée
- absorption racinaire



Détermination de la résistance à l'embolie du système vasculaire

Technique optique



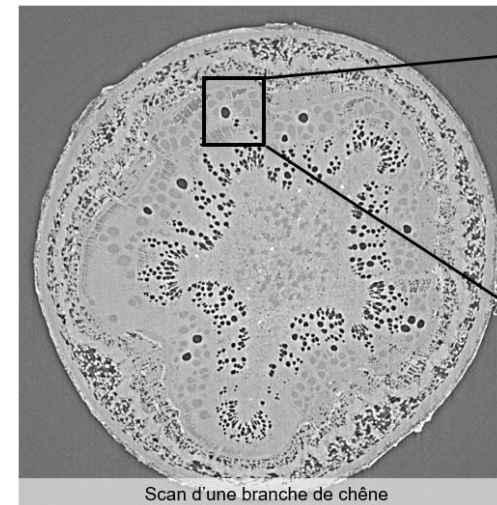
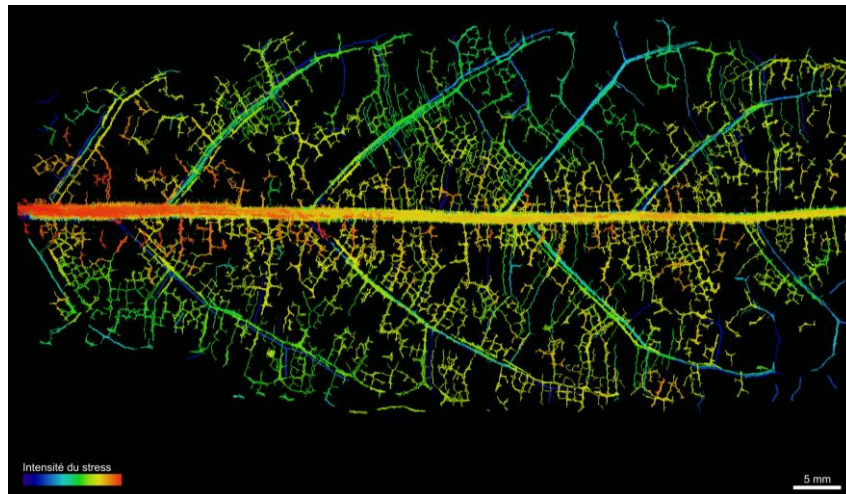
Microtomographie à rayons X



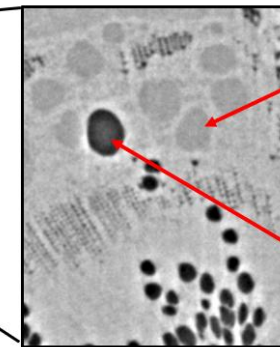
Branche de laurier installée sur le stage



Synchrotron SOLEIL (Saclay)



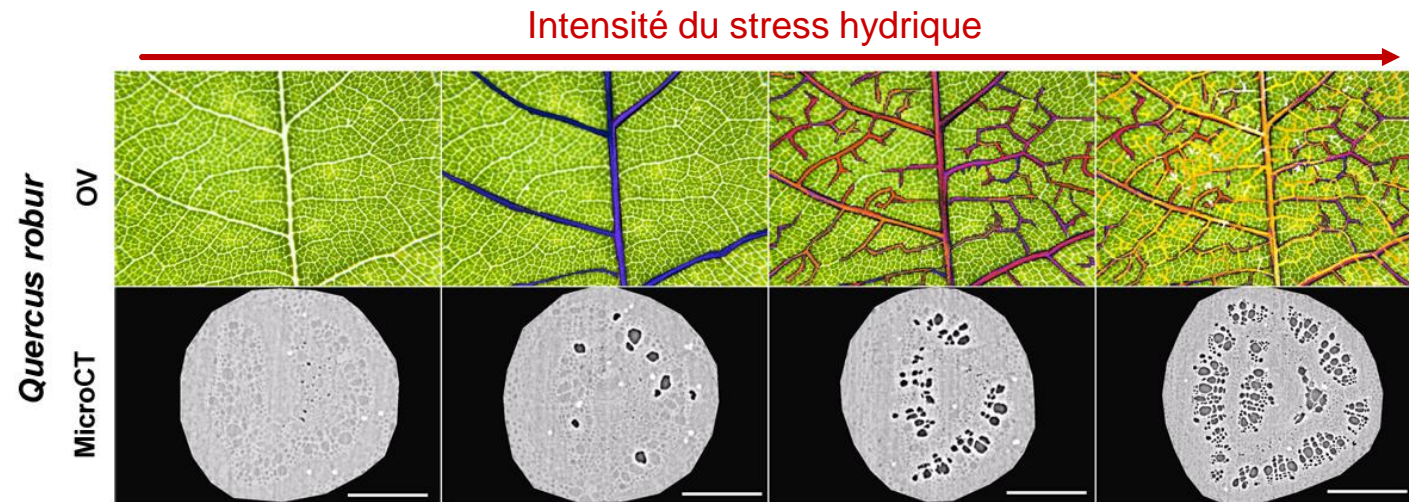
Scan d'une branche de chêne



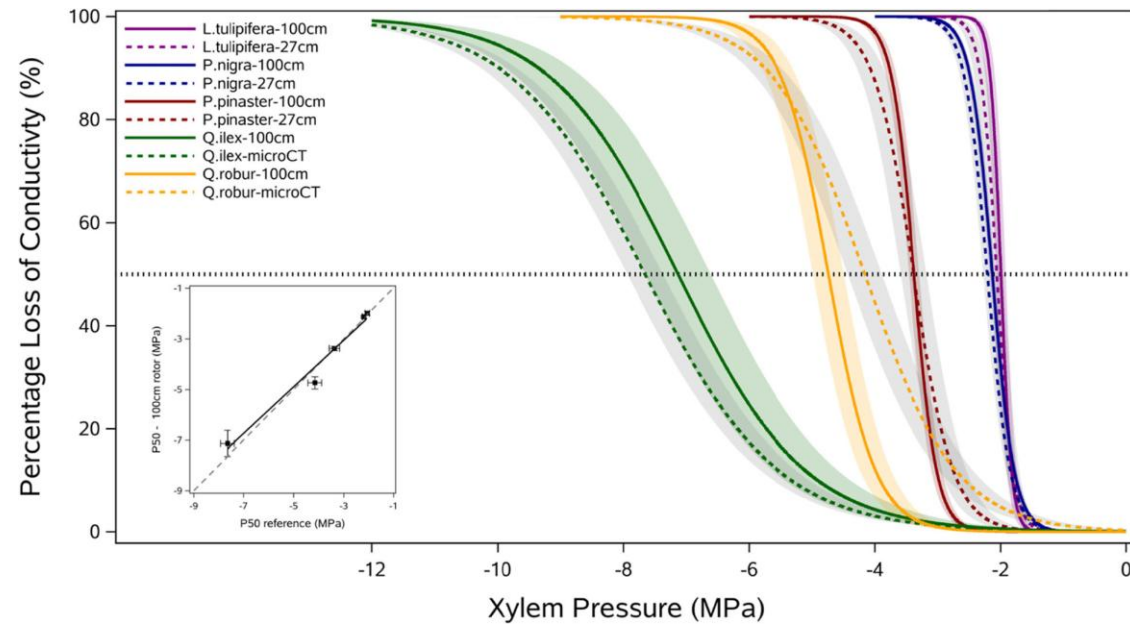
Vaisseau fonctionnel

Vaisseau embolisé

Détermination de la résistance à l'embolie du système vasculaire



Mishra *et al.* submitted



Burlett *et al.* (2022)



Comment les arbres répondent aux sécheresses extrêmes ?

OBSERVATIONS ET MONITORING *IN SITU*

Projet FORLand - Forêt expérimentale et transition agroécologique, des solutions fondées sur la forêt



Monitoring *in situ* de la réponse au changement climatique



Simulation du climat futur pour étudier l'adaptation à la sécheresses des essences forestières



Des solutions basées sur la forêt pour les grandes cultures et milieux urbains (stockage de carbone, rafraîchissement)

La forêt expérimentale de l'Université de Bordeaux



- Située sur le site de l'ancien Observatoire astronomique de Bordeaux (patrimoine historique français depuis 2010)
- Une **forêt urbaine et non gérée** de 9ha composée de chênes (dominants et/ou échappé de jardin), frênes, laurier (envahissant), robinier (invasive)



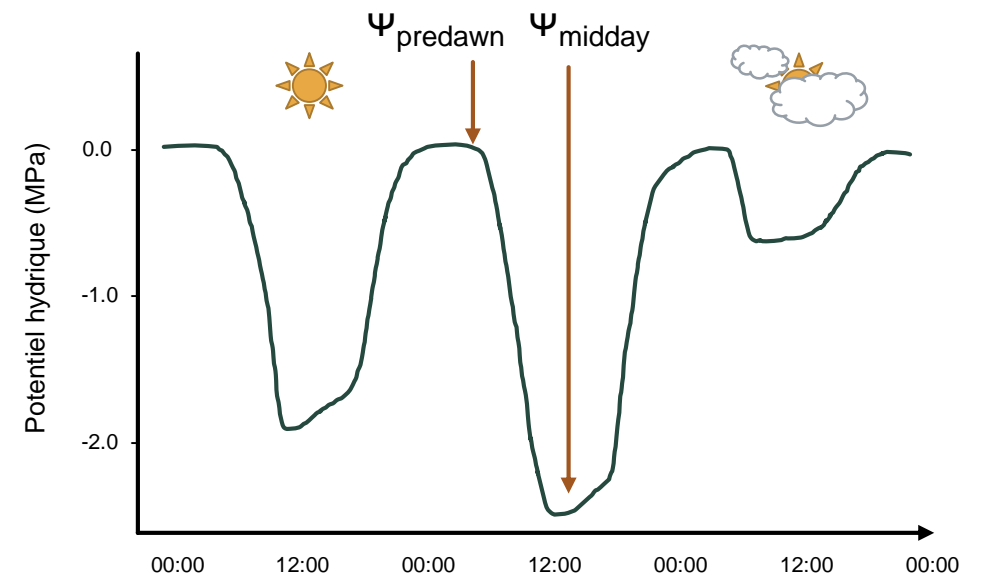
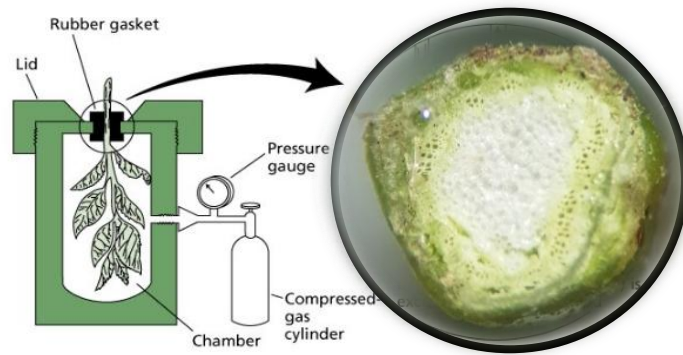
Monitoring de traits physiologiques pour étudier le dépérissement et la réponse aux sécheresses

→ suivi des variations du potentiel hydrique (Ψ)



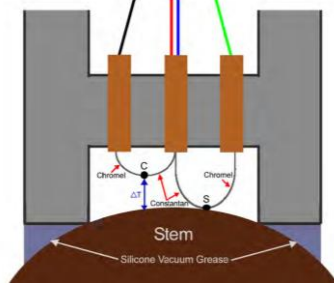
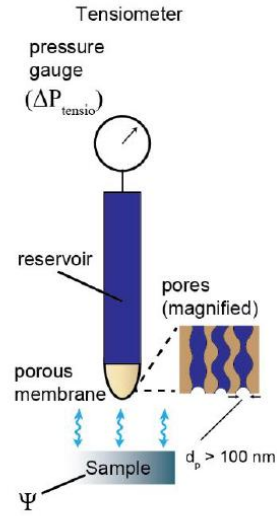
Suivi des variations du potentiel hydrique

Mesures ponctuelles sur feuilles à la chambre à pression de Scholander

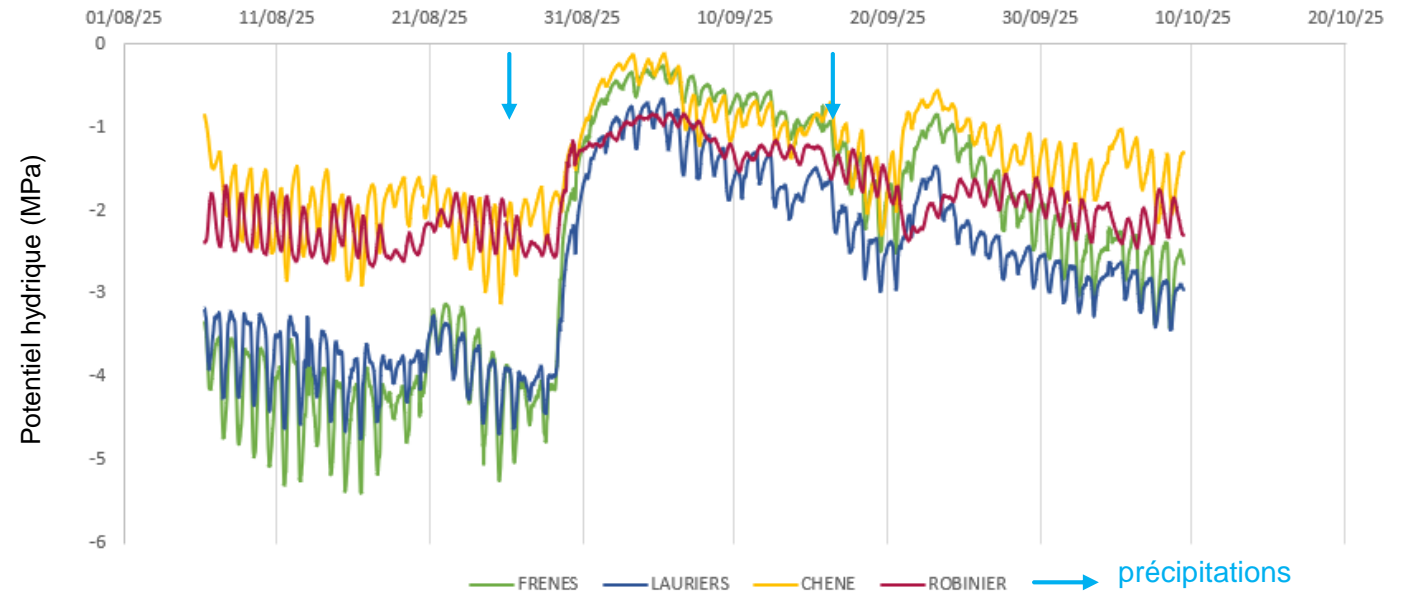


Suivi des variations du potentiel hydrique

Mesures en continu sur tronc et branches par microtensiomètre ou psychromètre

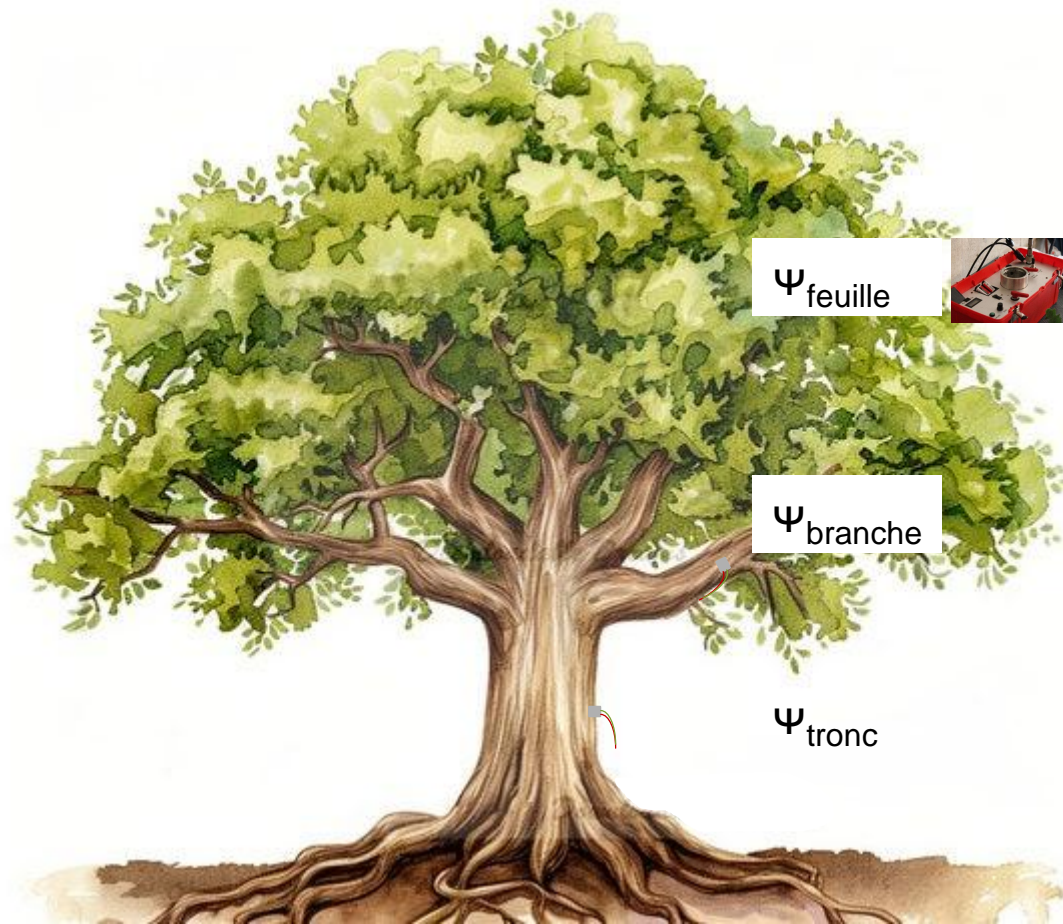


Suivi du potentiel hydrique moyen chez 4 espèces forestières

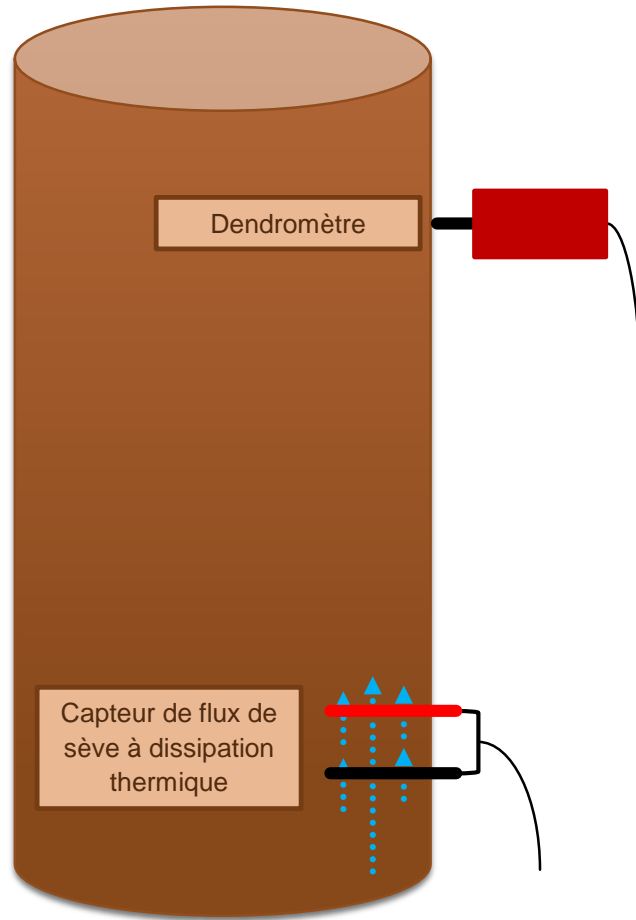


Monitoring de traits physiologiques pour étudier le dépérissement et la réponse aux sécheresses

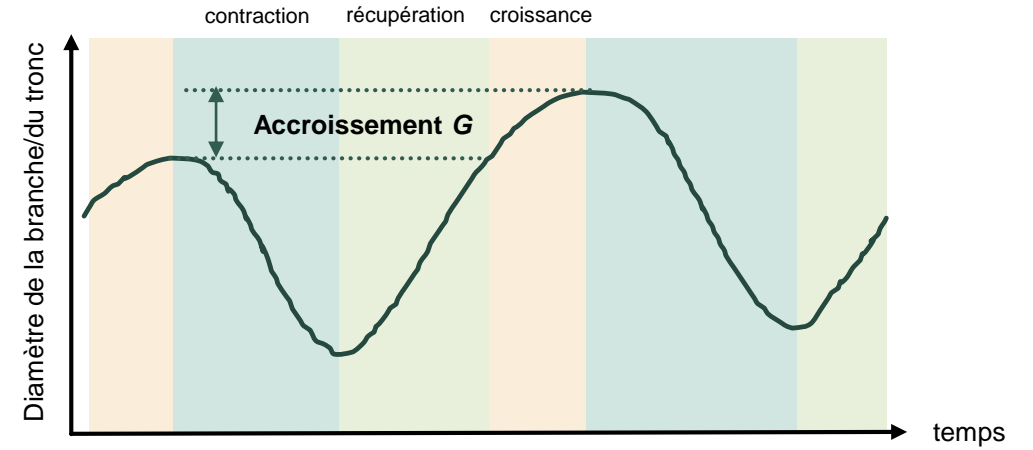
- suivi des variations du potentiel hydrique (Ψ)
- suivi de la croissance radiale et de la transpiration foliaire



Monitoring de la croissance et du flux de sève des arbres

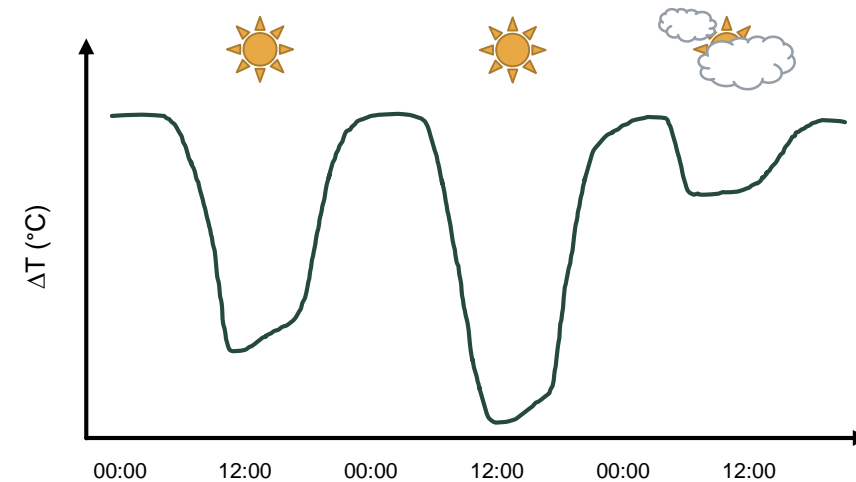


Variations journalières du diamètre et accroissement net (G)



adapté de Drew and Downes (2009)

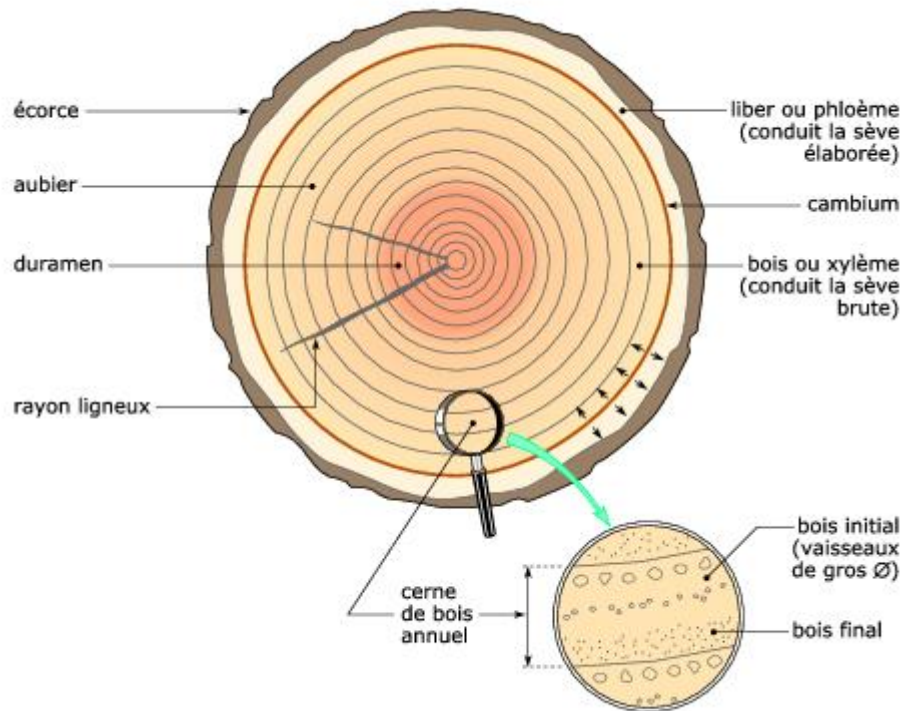
Variations de l'écart de température entre les 2 thermocouple du capteur de flux de sève (SFD)



Estimer la transpiration foliaire à partir des données de flux de sève

$$\begin{aligned} \text{Transpiration foliaire } (E) &= \text{flux de sève } (SFD) \times \text{surface d'aubier conductrice } (S_a) \\ &= \text{flux de sève } (SFD) \times \text{surface foliaire totale} \end{aligned}$$

Mesure de la surface d'aubier conductrice par carottage



Mesure du Leaf Area Index (LAI) par ceptomètre

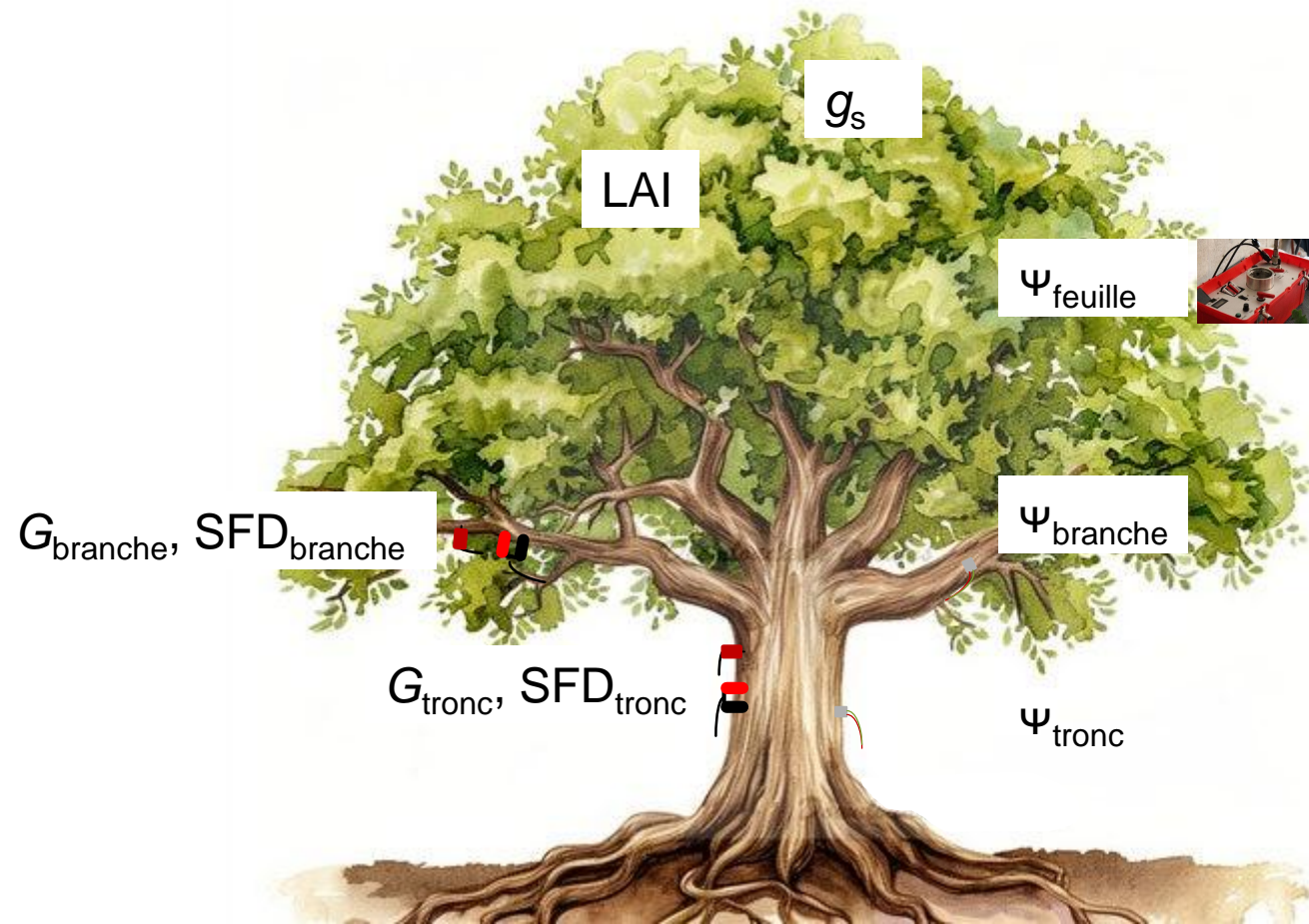


Et quand on peut accéder à la canopée, mesure de la conductance stomatique (g_s) instantanée

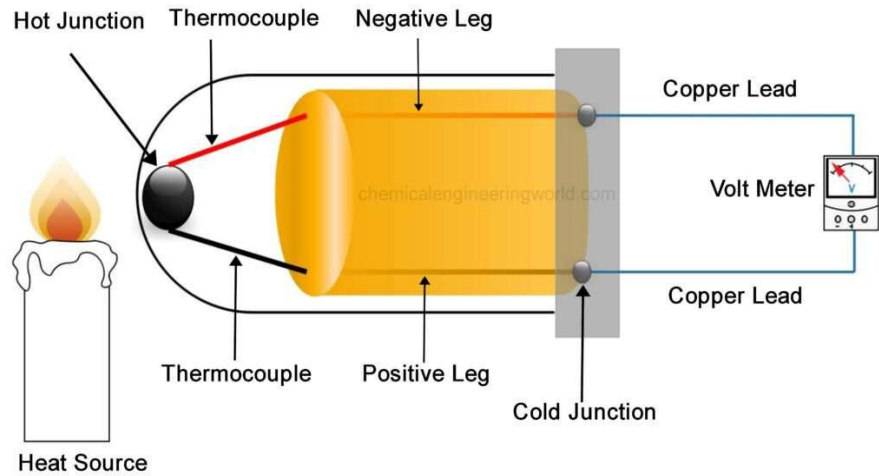


Monitoring de traits physiologiques pour étudier le dépérissement et la réponse aux sécheresses

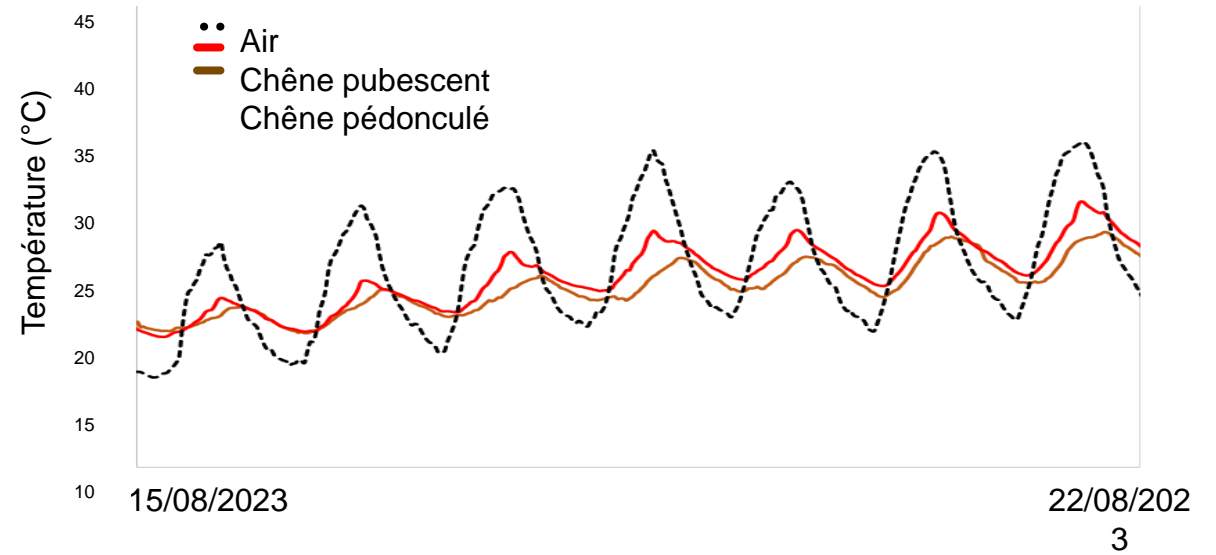
- suivi des variations du potentiel hydrique (Ψ)
- suivi de la croissance radiale et de la transpiration foliaire
- suivi de la régulation thermique de l'arbre



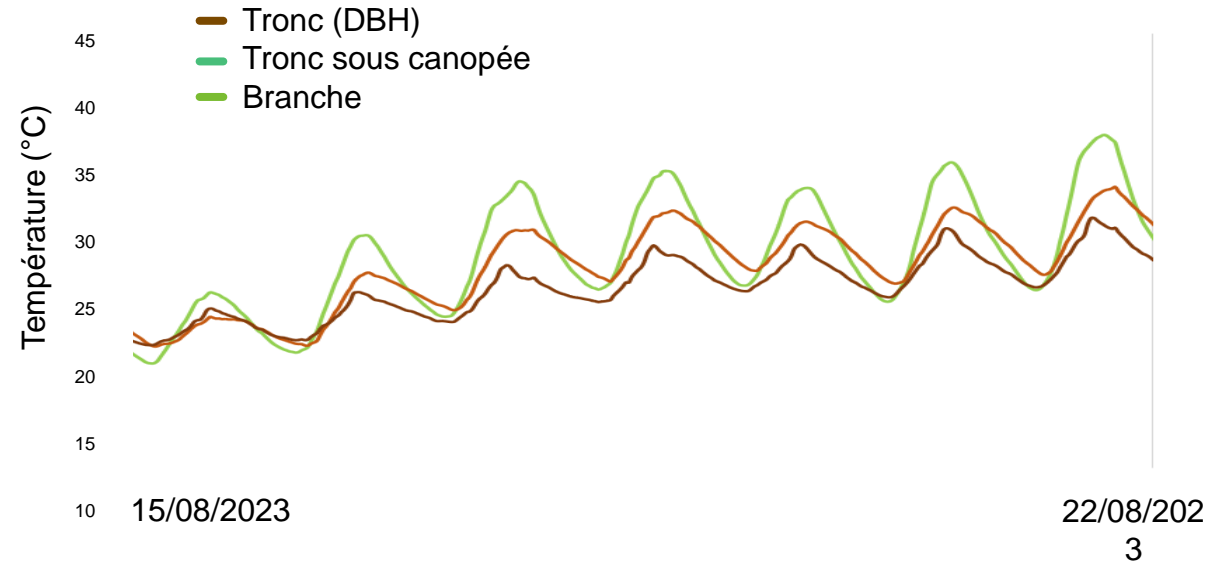
Suivi des variations de température du bois



Variations de température du bois chez deux espèces de chêne

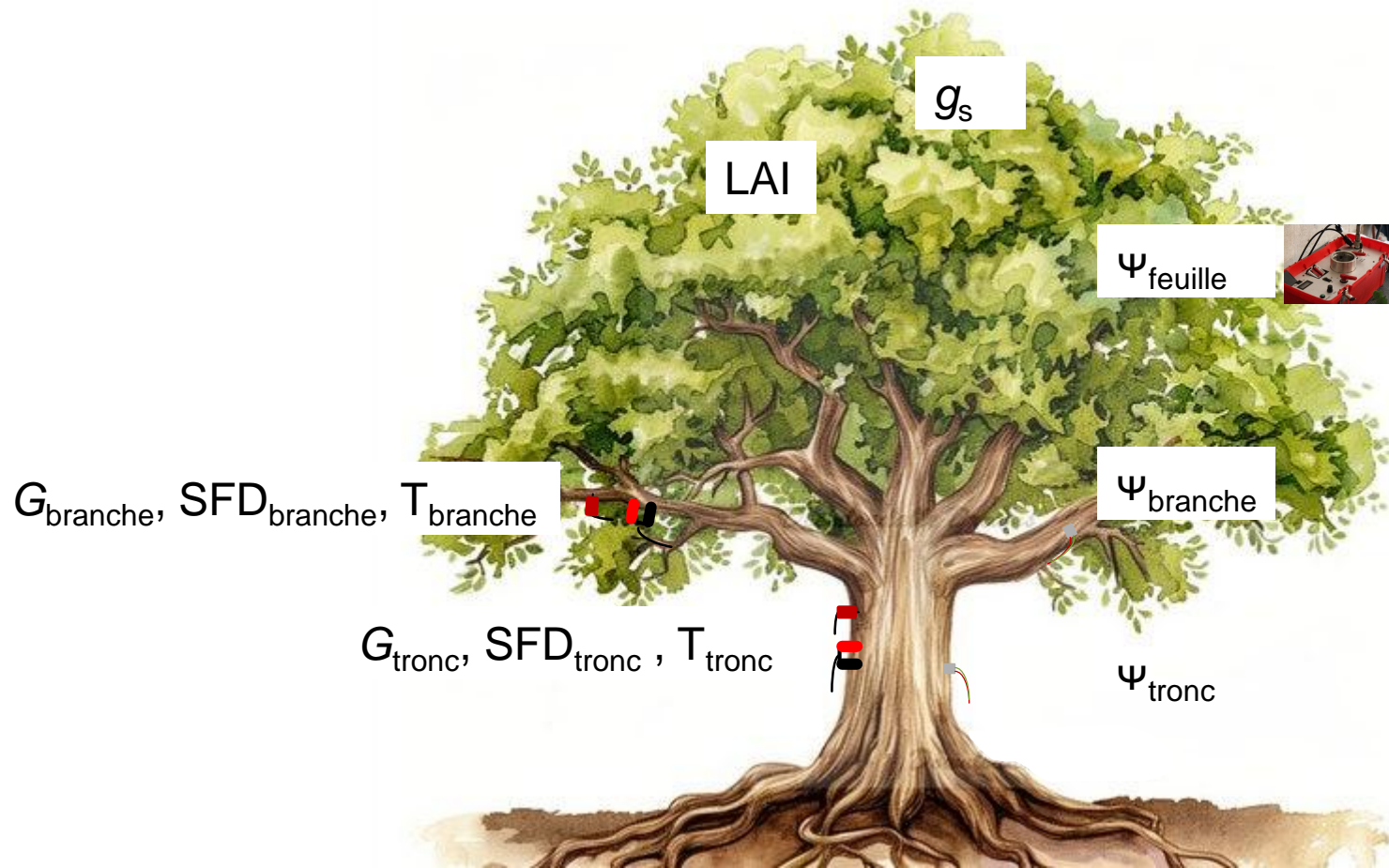


Variations de température du bois entre organes d'un chêne pubescent



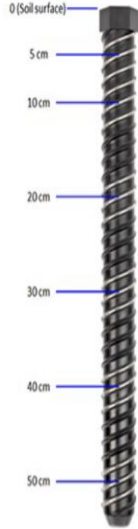
Monitoring de traits physiologiques pour étudier le dépérissement et la réponse aux sécheresses

- suivi des variations du potentiel hydrique (ψ)
 - suivi de la croissance radiale et de la transpiration foliaire
 - suivi de la régulation thermique de l'arbre
- } dépérissement des arbres
- caractérisation des conditions abiotiques dans l'air et dans le sol



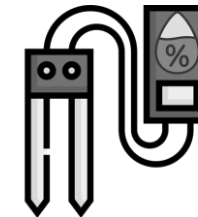
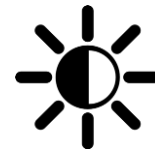
Variations des conditions abiotiques dans l'air et dans le sol

En forêt : température et humidité relative de l'air et du sol



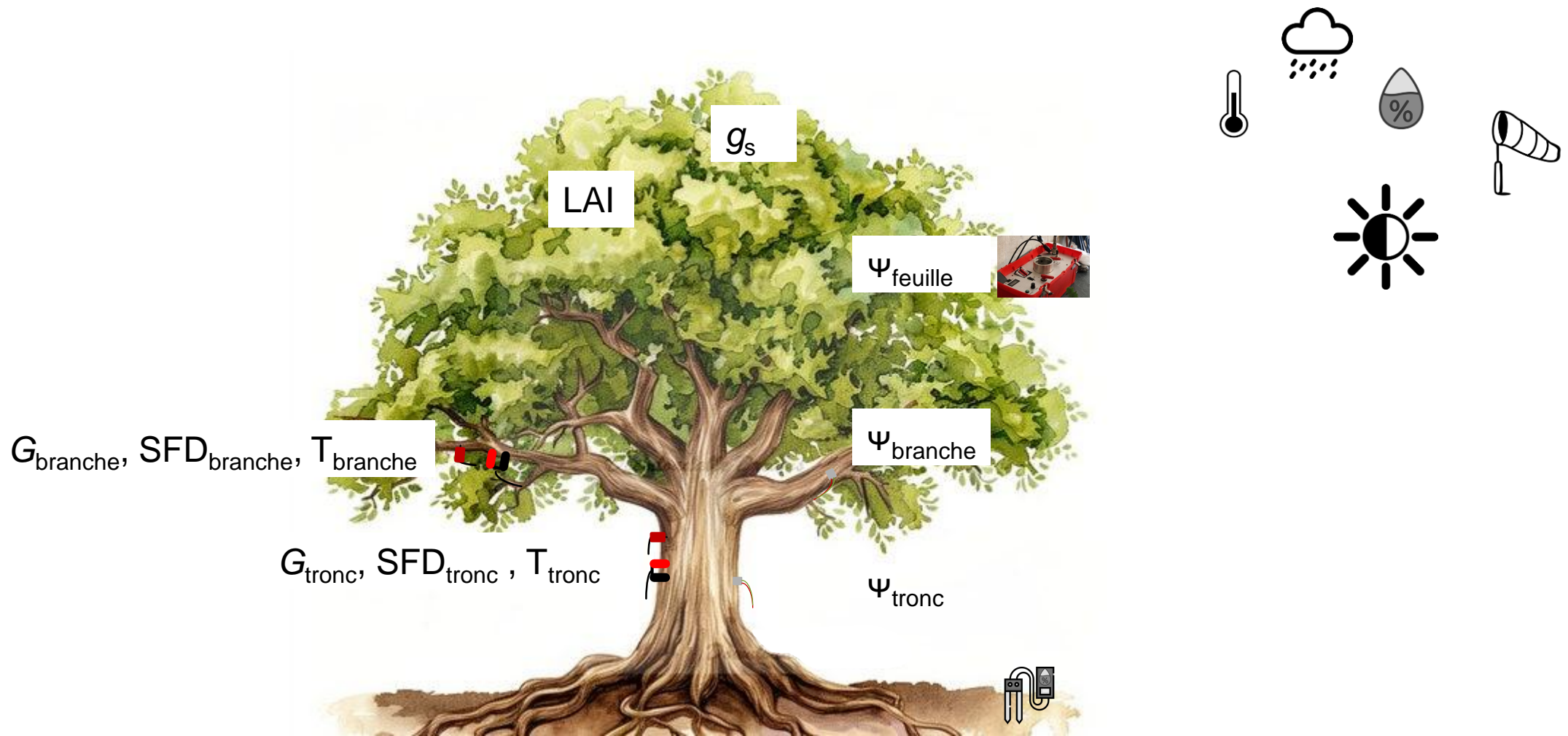
Sur le site : station météo (normes Météo France)

Température de l'air
Humidité relative de l'air
Précipitations
Vent
Ensoleillement
Humidité relative du sol

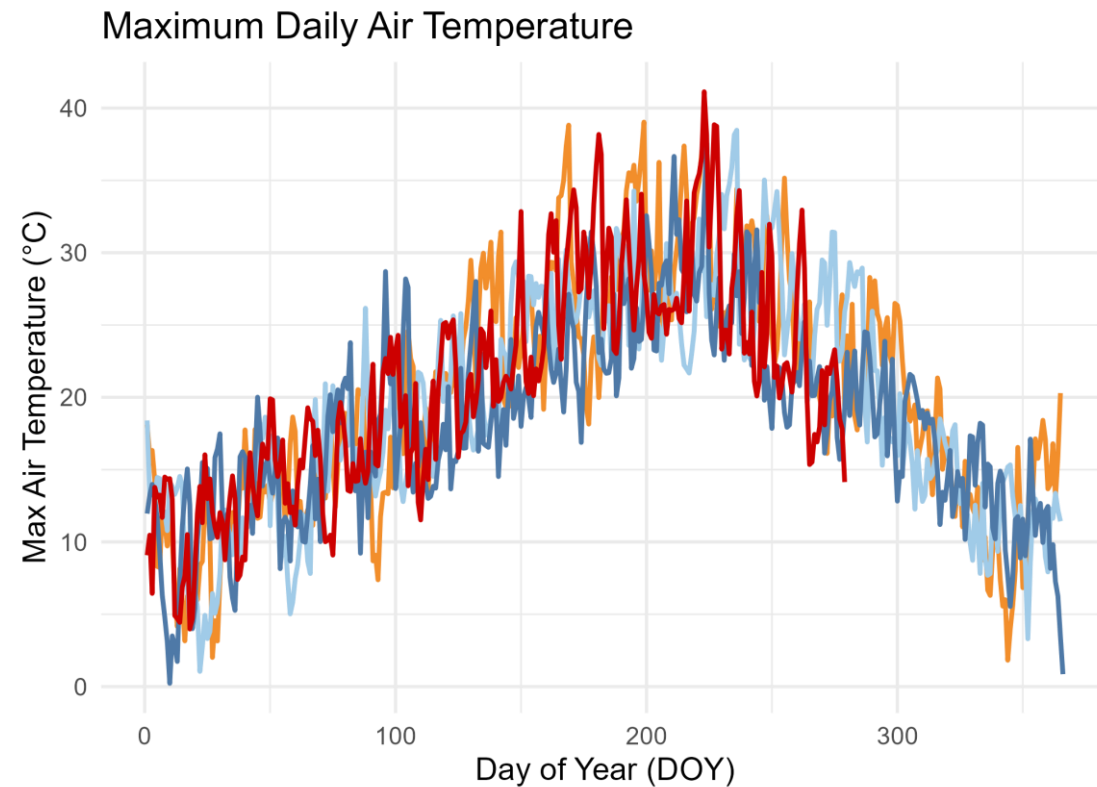
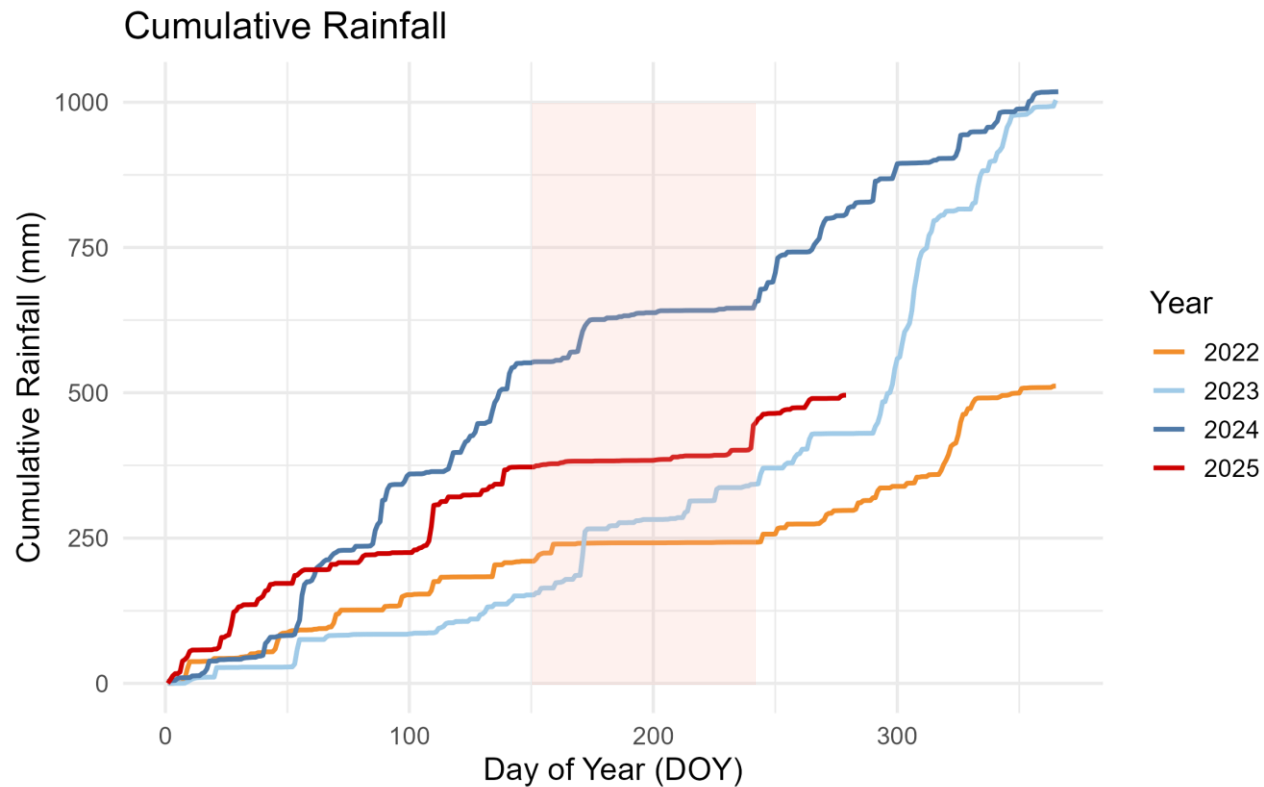


Monitoring de traits physiologiques pour étudier le dépérissement et la réponse aux sécheresses

- suivi des variations du potentiel hydrique (Ψ)
- suivi de la croissance radiale et de la transpiration foliaire
- suivi de la régulation thermique de l'arbre
- caractérisation des conditions abiotiques dans l'air et dans le sol



2025, une nouvelle année marquée par la sécheresse



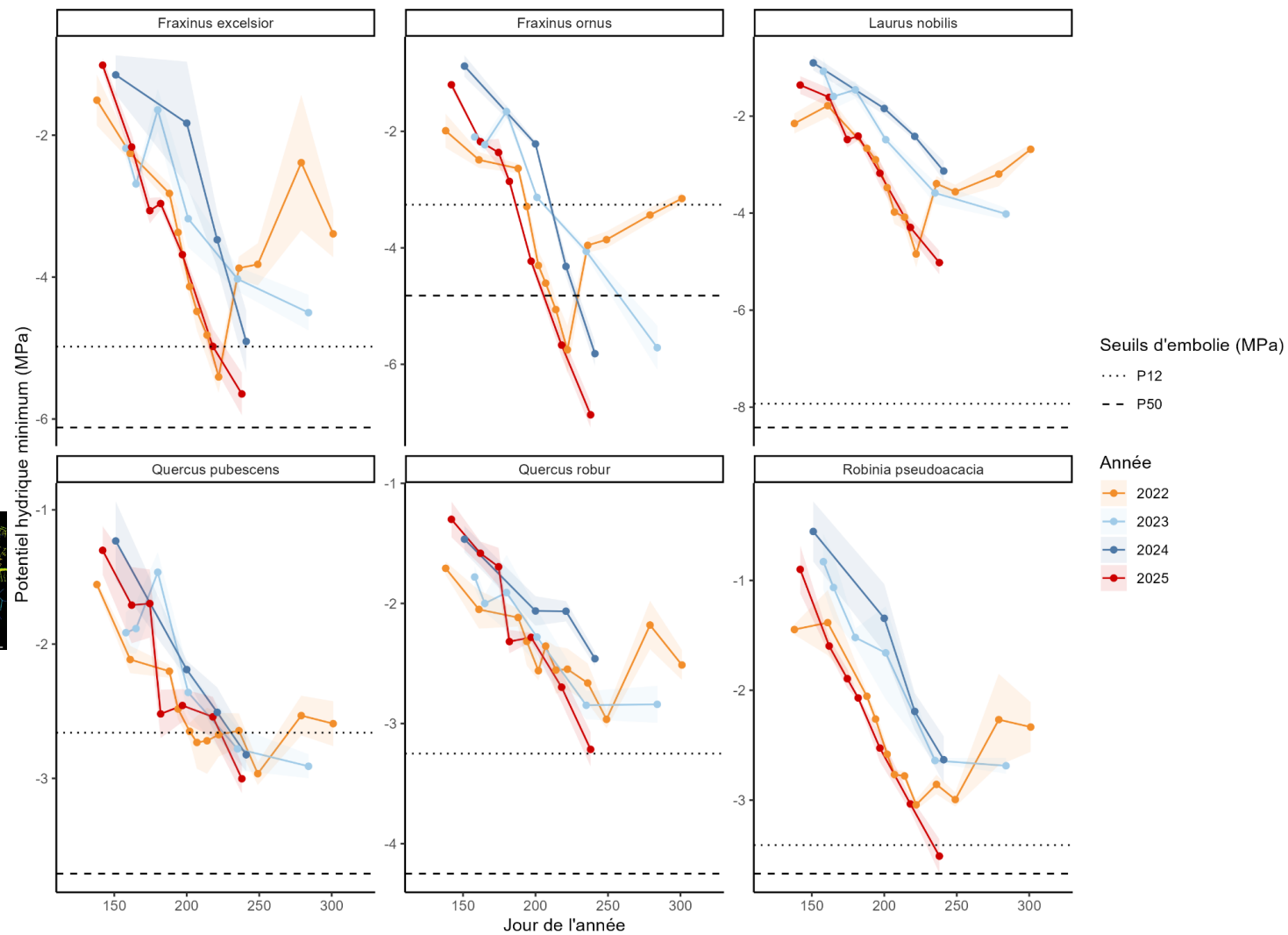
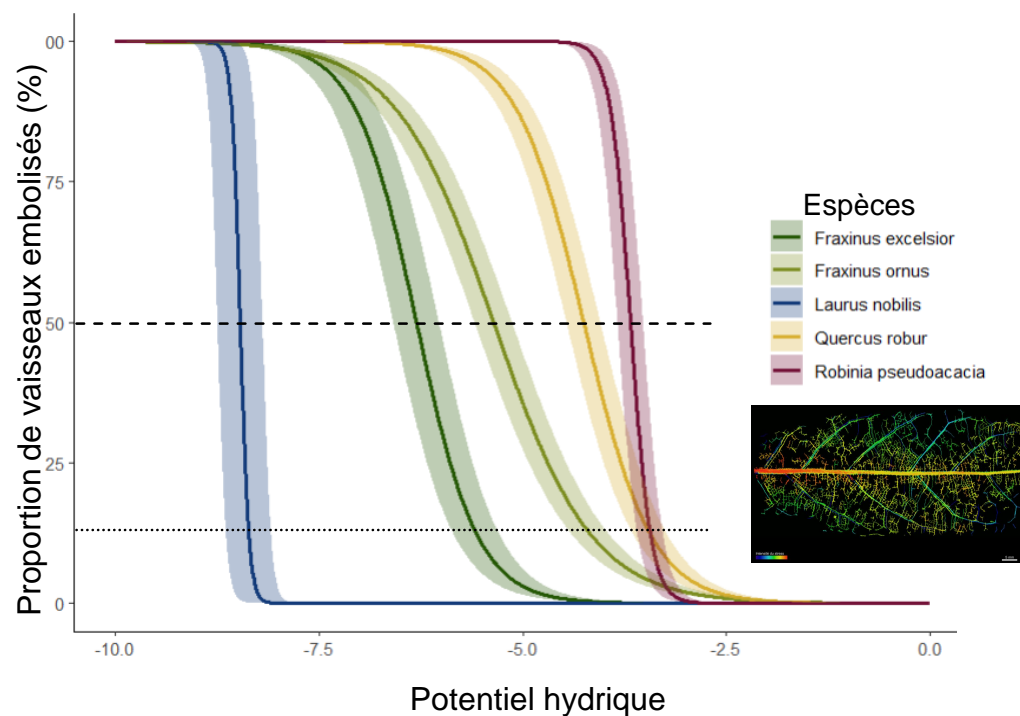
Précipitations Juin/Juillet/Août

Tendance 1990 – 2023 = 165.07 mm

2025 = 83.12mm (dont 53.73mm du 27/08 au 31/08)

Un stress hydrique record en 2025 : les seuils d'embolie foliaire ont été dépassés

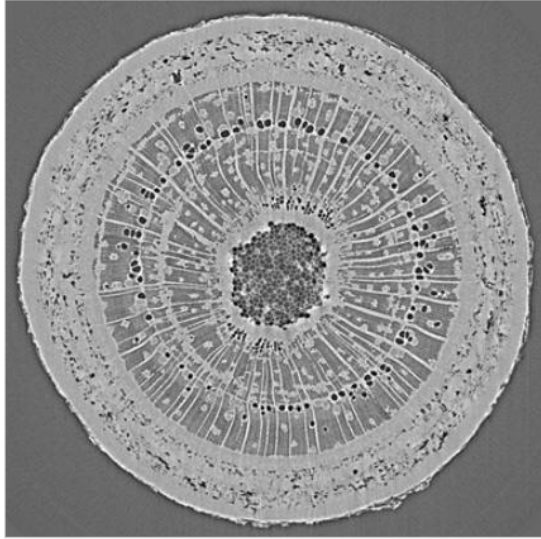
Courbes de vulnérabilité à l'embolie (OVT)



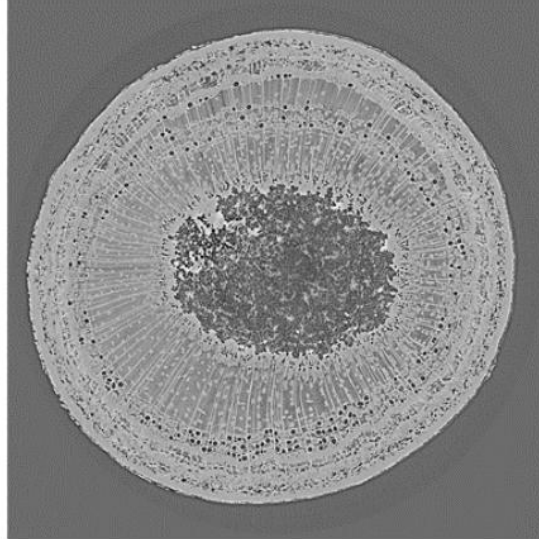
Une défaillance hydraulique de la tige systématique chez les frênes

Frêne
Fraxinus ornus

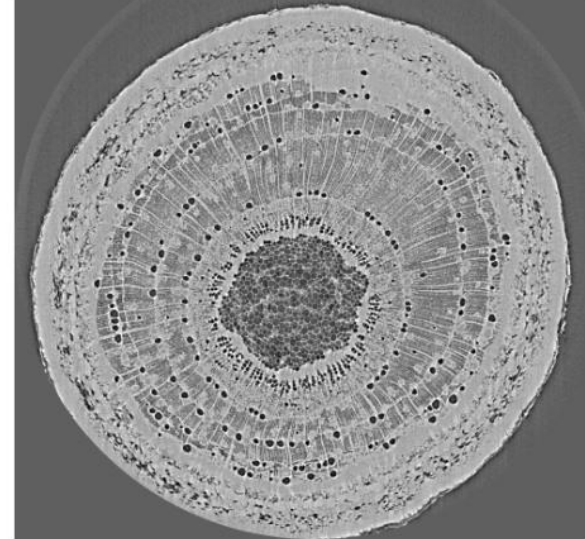
2022
PLC = 55%



2023
PLC = 68%



2025
PLC = 78%

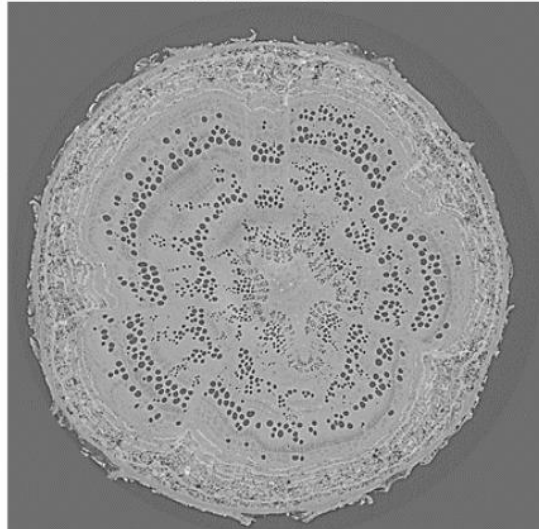


Chêne pédonculé
Quercus robur

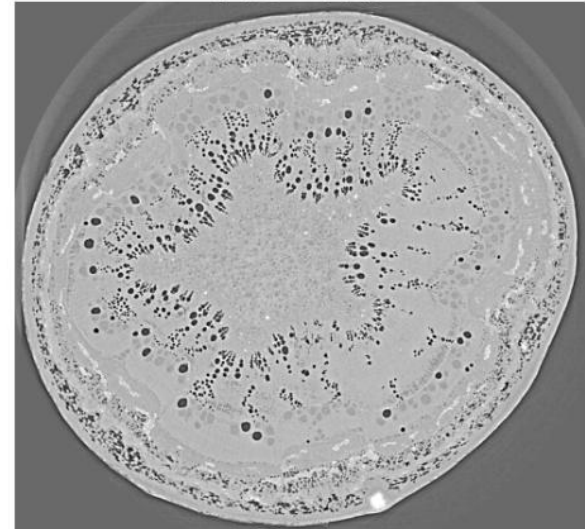
PLC = 6%



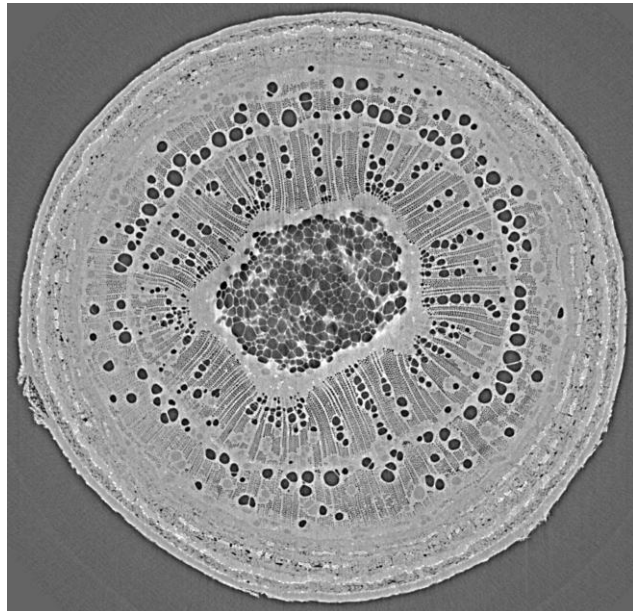
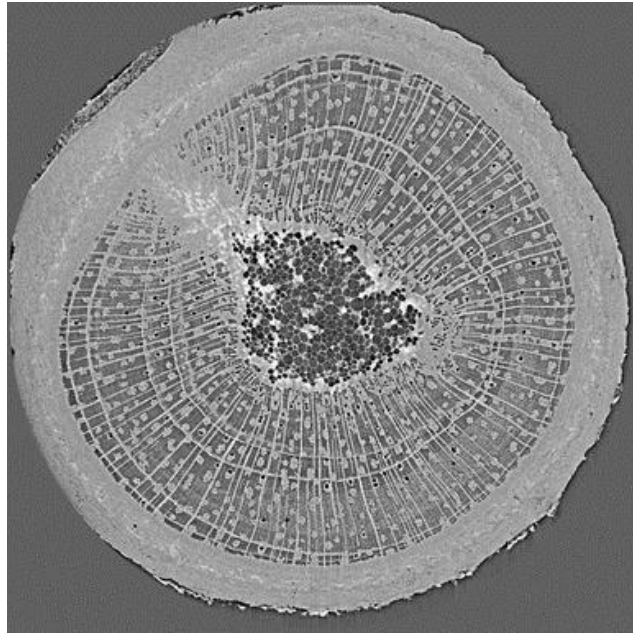
PLC = 7%



PLC = 10%

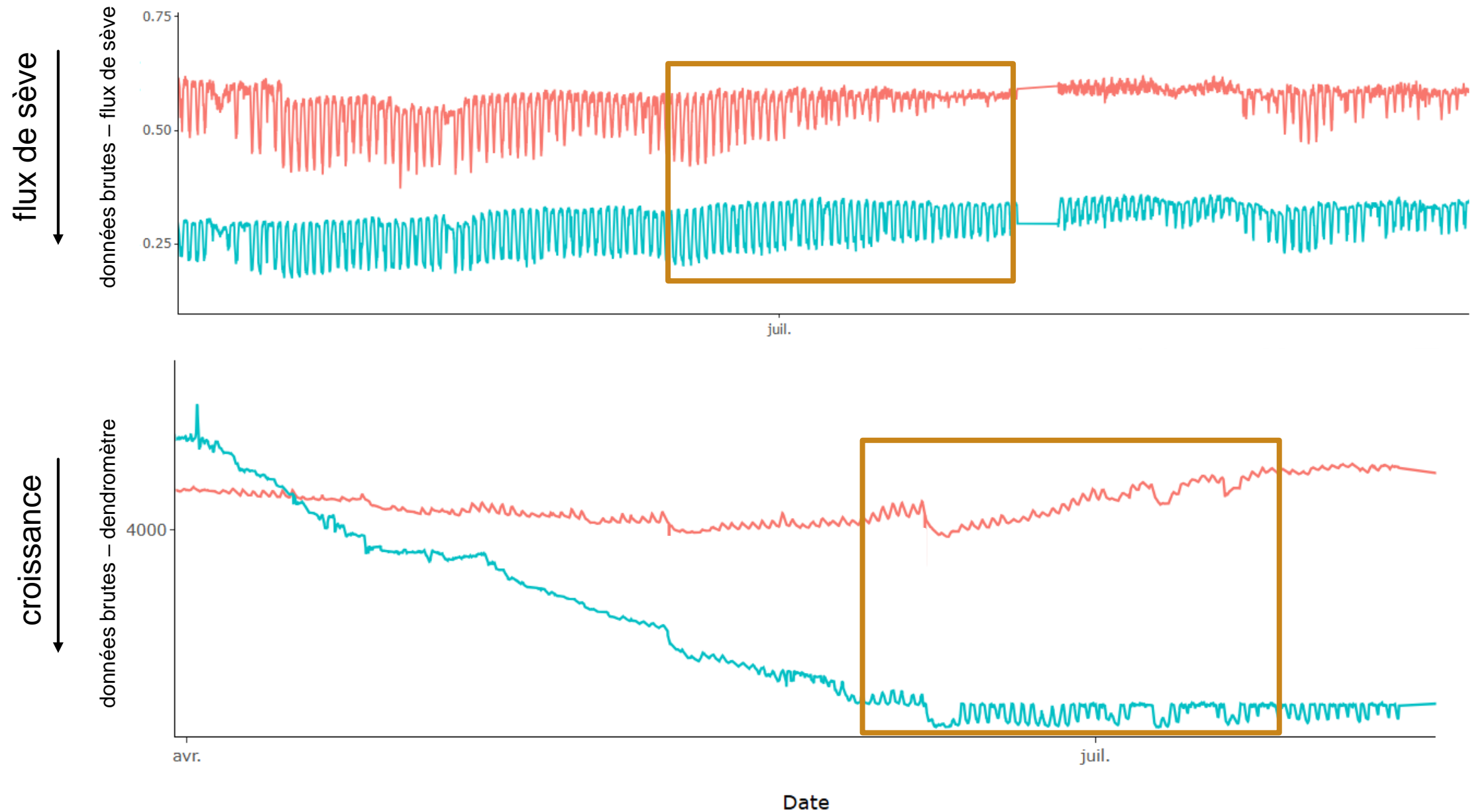


Des niveaux d'embolie native toujours élevés, année après année



Species	Embolie native		
	2022	2023	2025
<i>Fraxinus excelsior</i>	95%	62%	50%
<i>Fraxinus ornus</i>	55%	68%	78%
<i>Laurus nobilis</i>	10%	26%	37%
<i>Quercus pubescens</i>	18%	7.32	33%
<i>Quercus robur</i>	35%	26%	42%
<i>Robinia pseudoacacia</i>	77%	47%	93%

Un stress hydrique record en 2025 : les seuils d'embolie foliaire ont été dépassés





Comment les arbres répondent à la sécheresse ?

MANIPULATION DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES

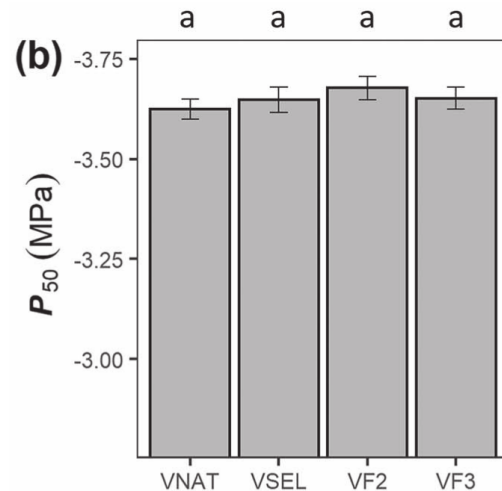
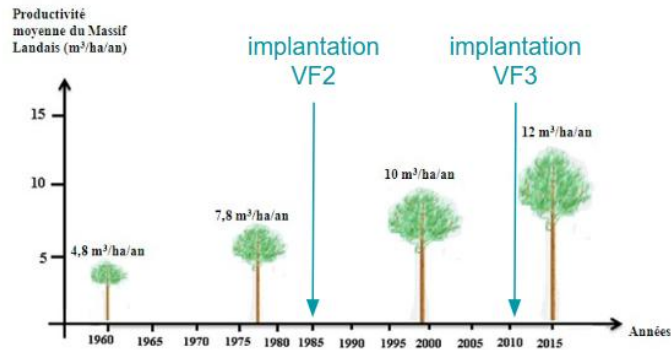


Variabilité de la résistance à l'embolie chez le pin maritime

Research paper

A safe breeding ground: genetically improved maritime pine for growth and stem form has more efficient but not more vulnerable xylem

YanJun Song^{1,3}, Xavier Paul Bouteiller¹, Maximilian Larter¹, Christophe Plomion¹, Fabrice Sin² and Sylvain Delzon¹



Résistance à l'embolie (P_{50}) de *Pinus pinaster*

$$P_{50} \text{ moyenne} = -3.82 \pm 0.32 \text{ MPa}$$

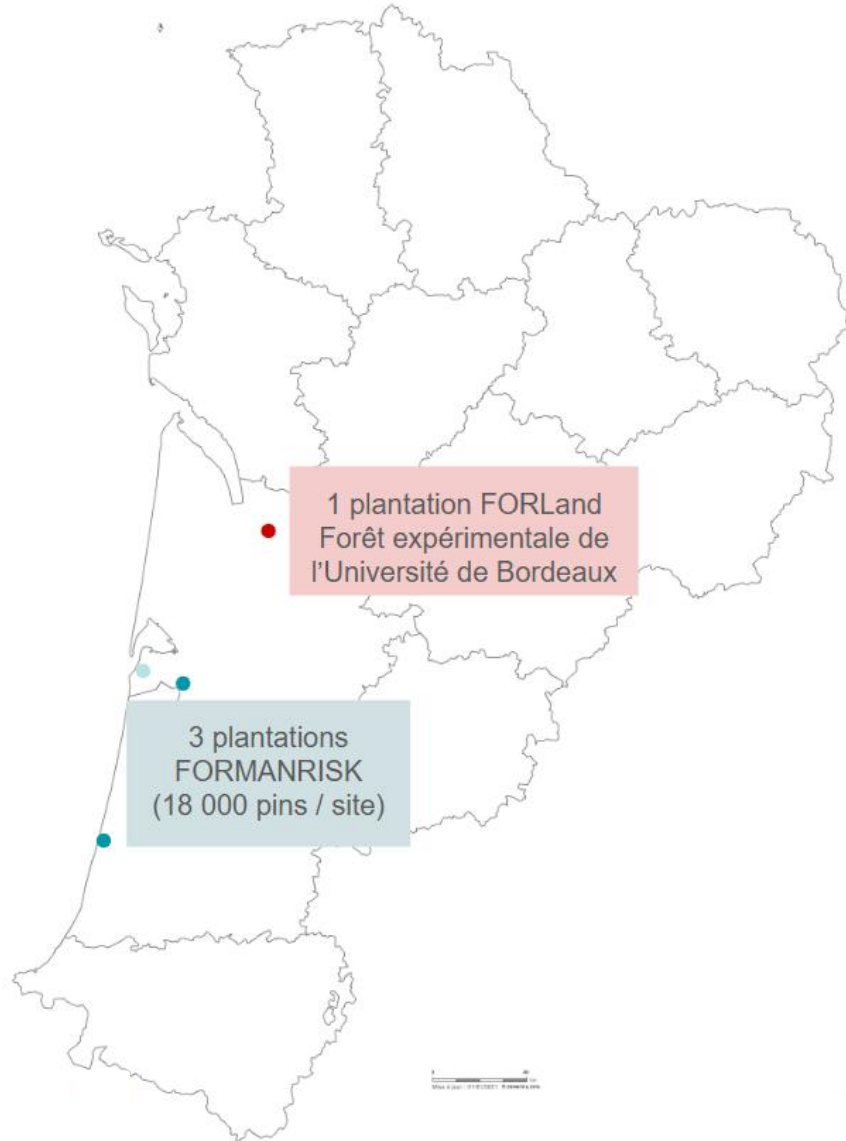
Deux provenances identifiées comme **plus résistantes à l'embolie** :

$$P_{50} \text{ (dune, Espagne)} = -4.05 \text{ MPa}$$

$$P_{50} \text{ (leiria, Portugal)} = -3.95 \text{ MPa}$$

Mise en place de tests de provenance en NA

4 common garden



9 provenances testées



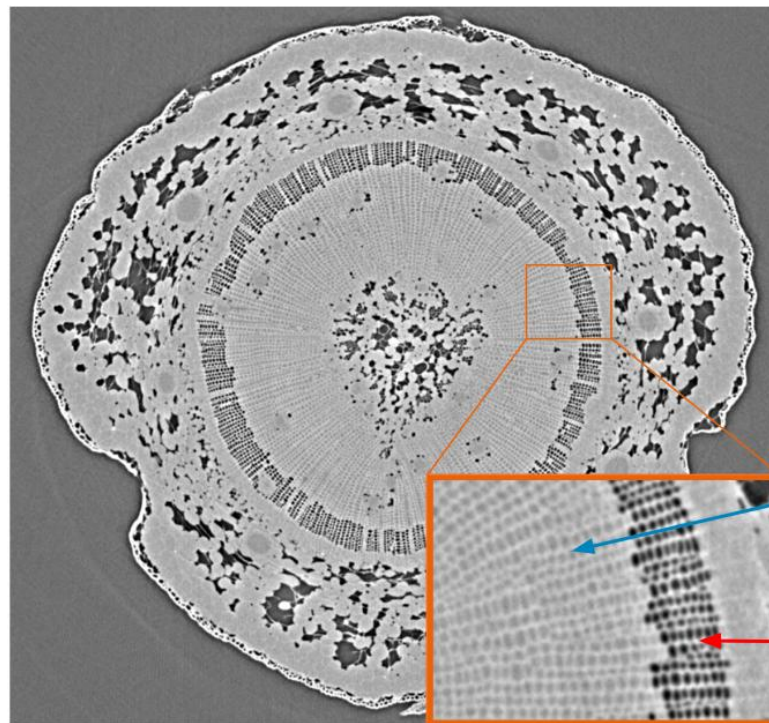
Succès de l'implantation des différentes provenances



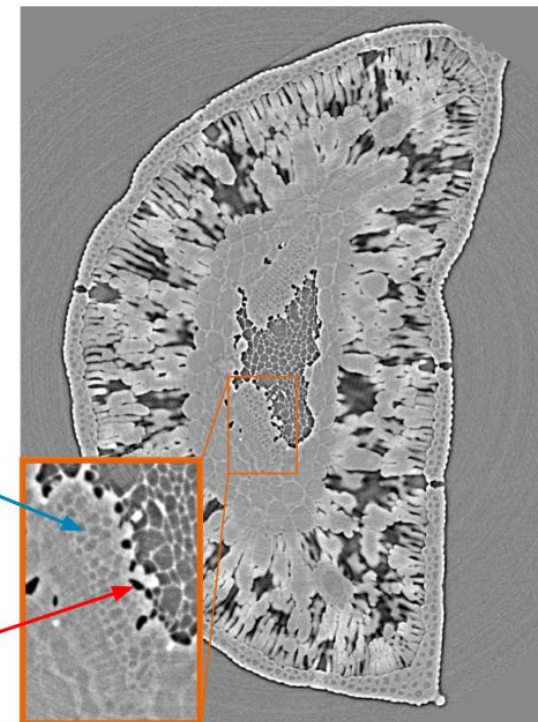
Prélèvement d'arbres à Lagnereau (12/2023)



Synchrotron SOLEIL (Paris Saclay, 12/2023)



Scan de tige de pin VF3

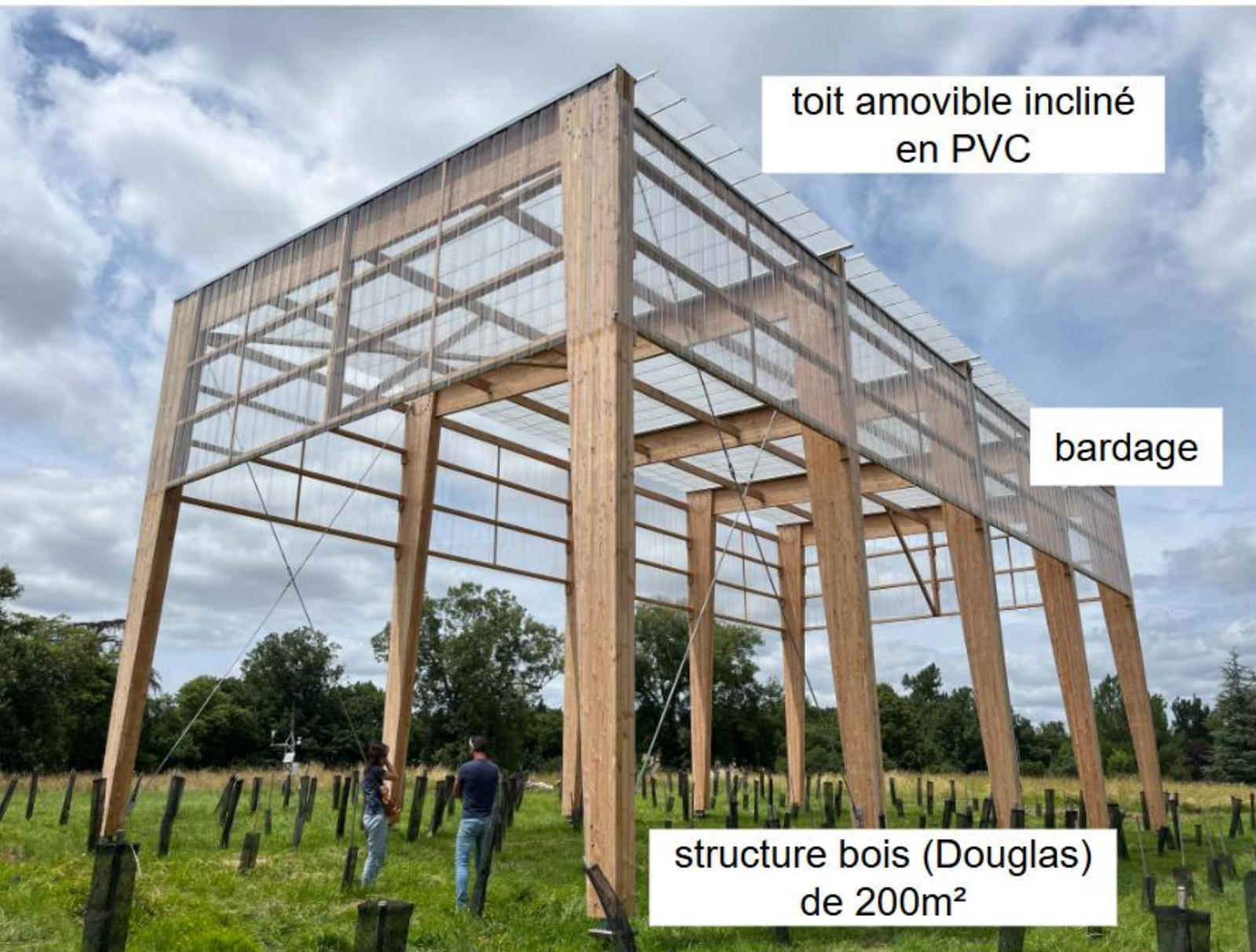


Scan d'aiguilles de pin d'Espagne

xylème
fonctionnel

xylème
embolisé

Simuler le climat futur pour mieux comprendre le dépérissement forestier : dispositif d'exclusion de pluie

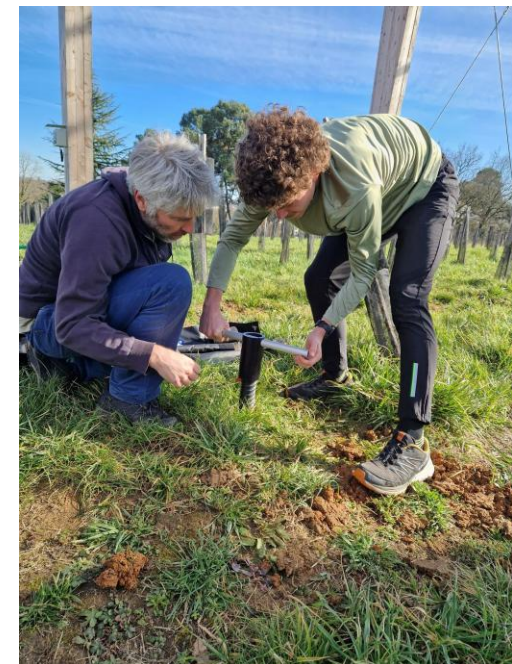
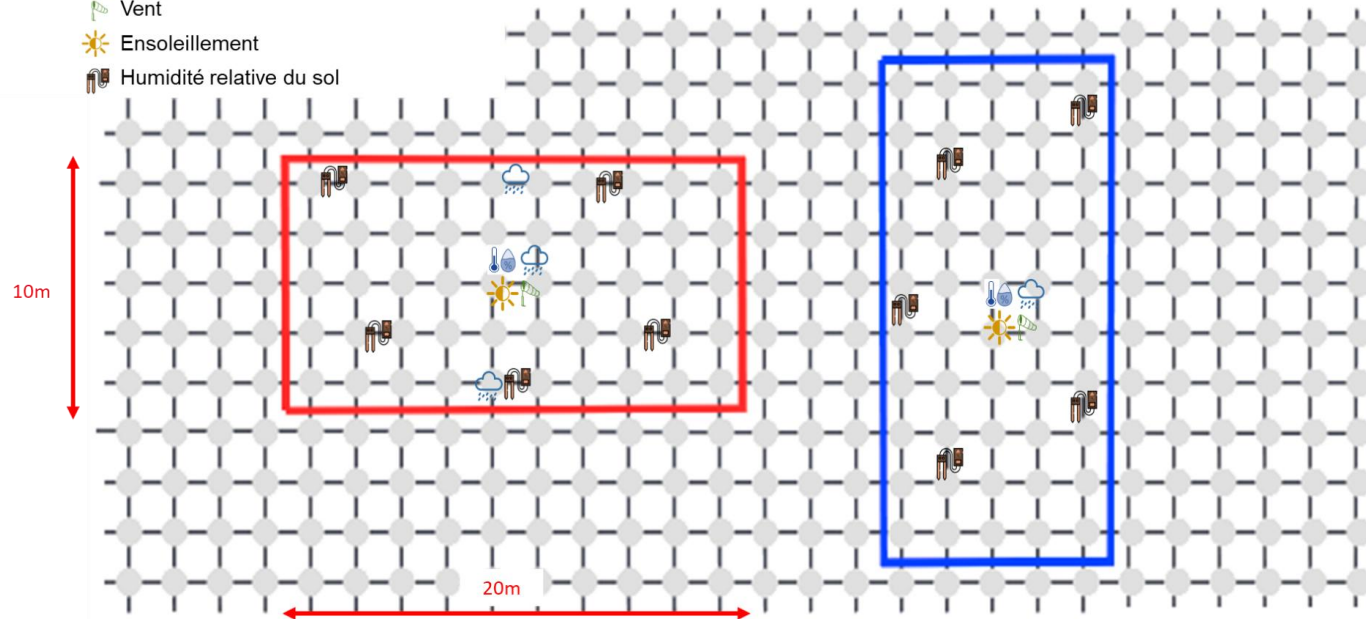
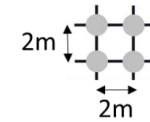


Mise en place d'un réseau de capteurs météorologiques

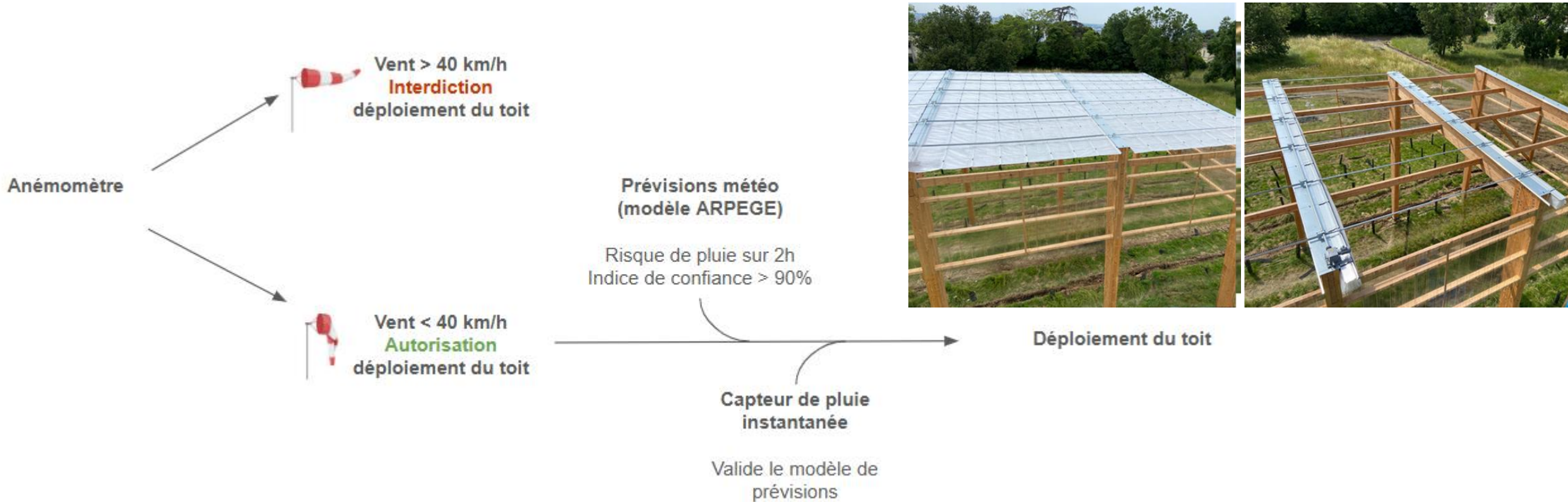
Plan d'installation des capteurs atmosphériques et de sol de la plantation de pin maritime

Suivi des conditions environnementales

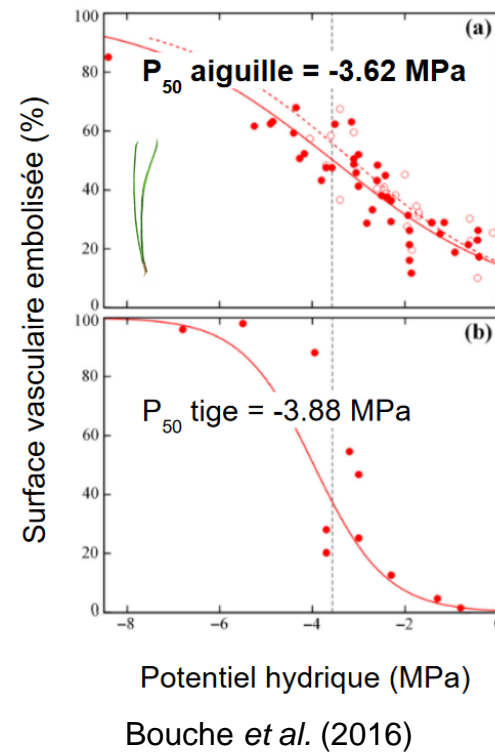
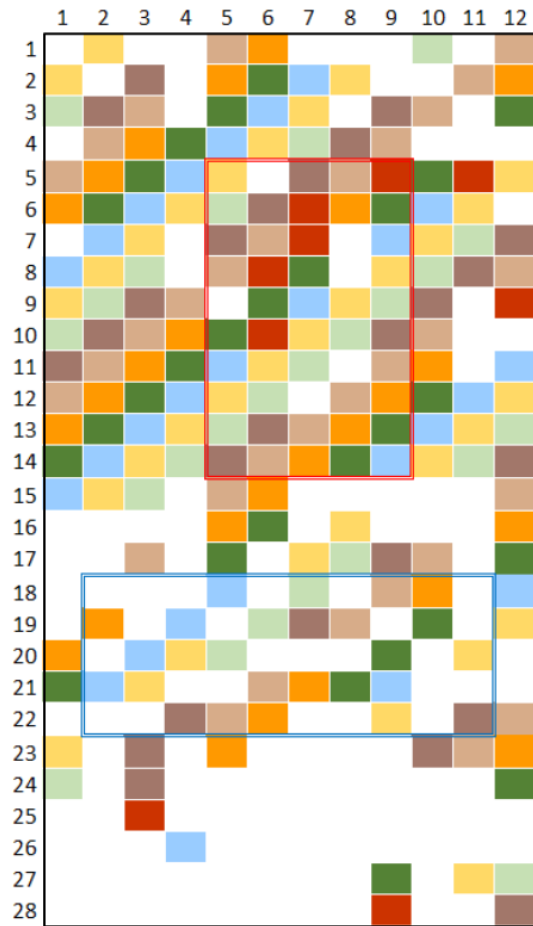
- 🌡️ Température et humidité relative de l'air
- ☁️ Précipitations
- 🌬️ Vent
- ☀️ Ensoleillement
- 🌿 Humidité relative du sol



Automatisation du toit amovible



Sécheresse 2025 : seuils d'embolie dépassés et mortalité juvénile



Mesures de potentiel hydrique - Été 2023 vs. 2025 :

