

# Estimer la vulnérabilité des forêts à la sécheresse avec le modèle *SurEau*

Julien Ruffault & Nicolas Martin

INRAE, URFM, Avignon

# Nos forêts dépérissent et brûlent...

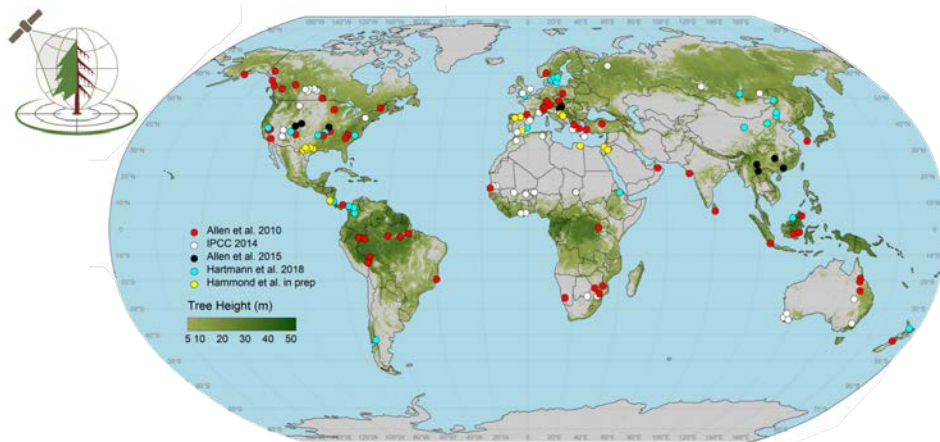


**Epicéas dans l'allier (2020)**

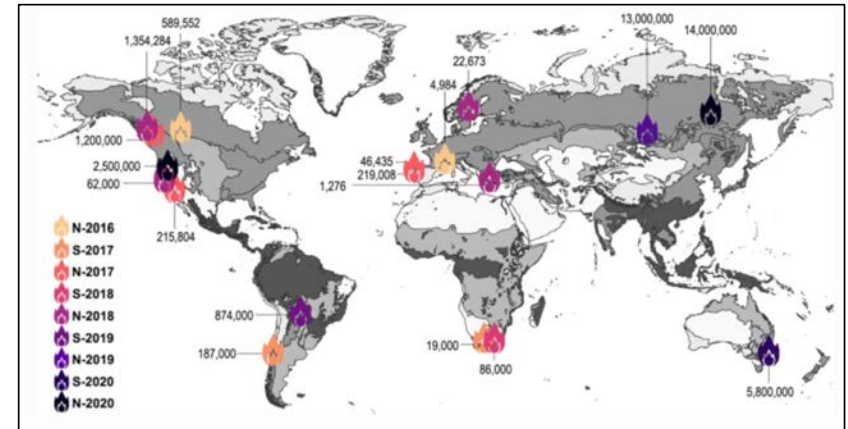


**Feu de forêt en Gironde « Landiras II » (2022)**

# Un phénomène global...



Tree mortality network (2023)



Duane *et al.* (2021)

# Quel apport de la modélisation ?

- Comment les arbres répondent-ils aux sécheresses et aux canicules ?

➡ Hydraulique des plantes (cf. Présentation de Nicolas Martin)

# Quel apport de la modélisation ?

- Comment les arbres répondent-ils aux sécheresses et aux canicules ?

➔ Hydraulique des plantes (cf. Présentation de Nicolas Martin)

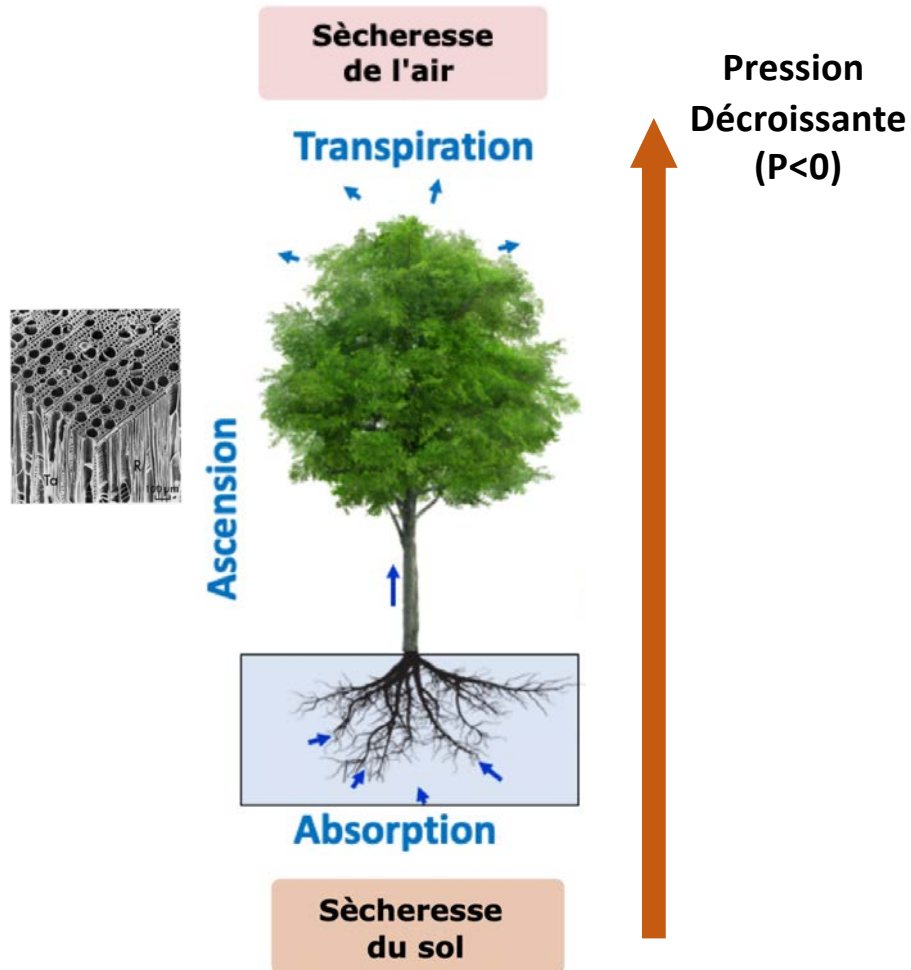
## Modélisation de l'hydraulique des arbres

- Quelles sont les espèces et régions les plus vulnérables ?
- Quel futur pour la gestion des forêts face aux changements climatiques ?

➔ Prédiction et prévisions à partir de modèles d'hydraulique

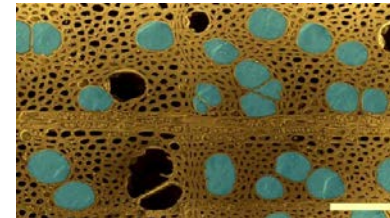


# Circulation de l'eau dans les arbres



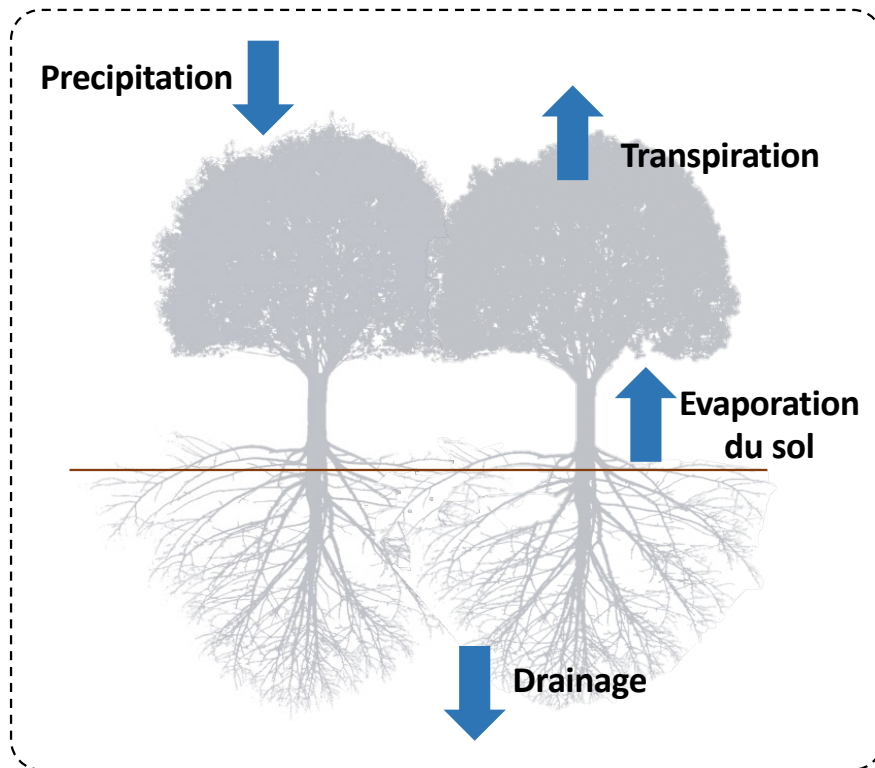
- La **transpiration** est le **moteur de la circulation** de l'eau dans l'arbre
- **Sève sous tension** dans les vaisseaux de l'aubier ( $P < 0$  MPa)
- La **tension augmente** en période de **sècheresse**

*Embolie gazeuse*



# SurEau : kesako ?

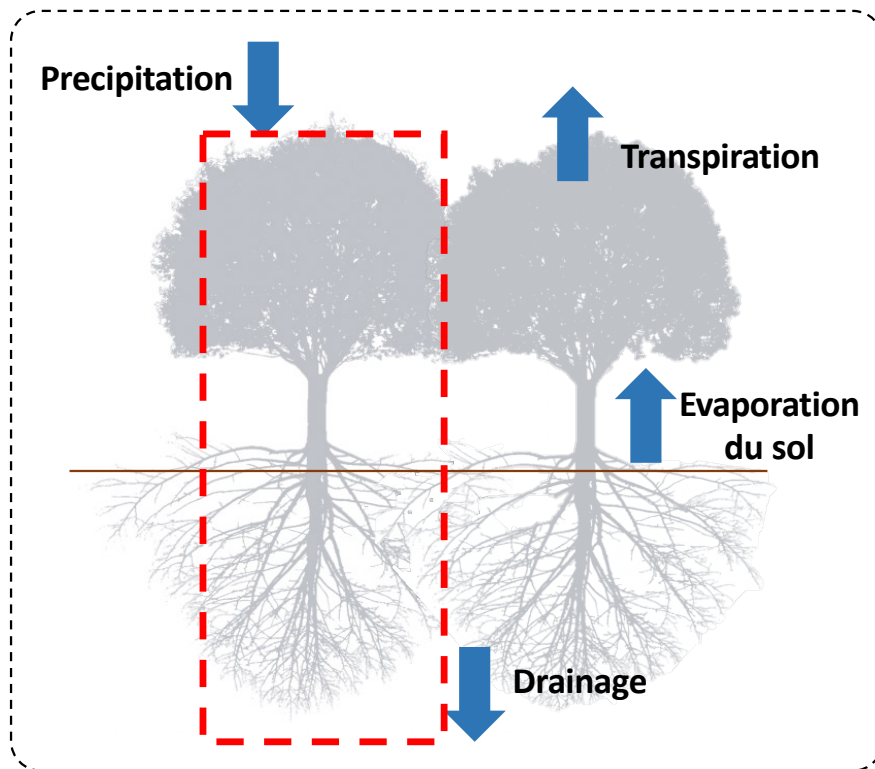
Un modèle mécaniste d'échanges sol-plante-atmosphère basé sur l'hydraulique des plantes



- *Sureau* est basé sur les modèles de bilan hydrique (type *Biljou*)
- Et intègre les flux d'eau dans l'arbre et la physiologie des espèces.

# SurEau : kesako ?

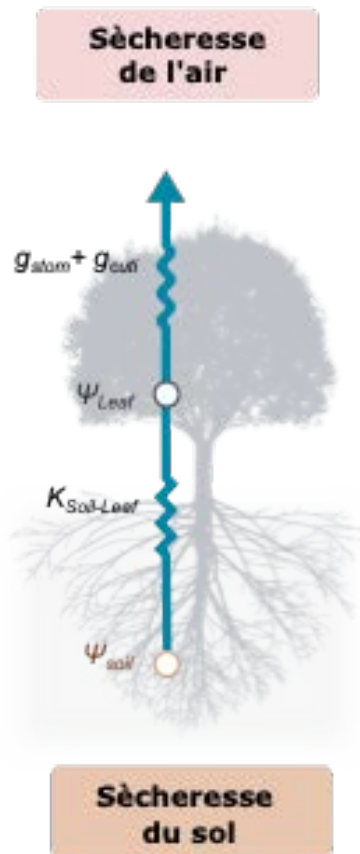
Un modèle mécaniste d'échanges sol-plante-atmosphère basé sur l'hydraulique des plantes



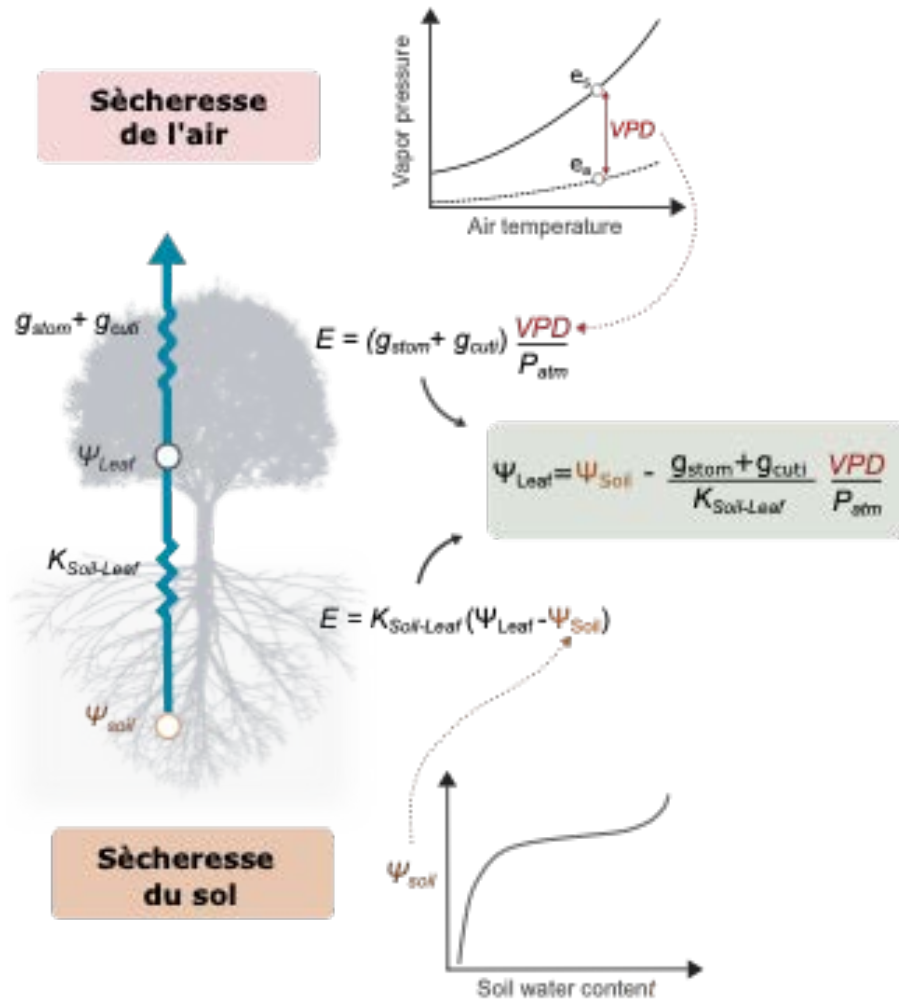
- *Sureau* est basé sur les modèles de bilan hydrique (type *Biljou*)
- Et intègre les flux d'eau dans l'arbre et la physiologie des espèces.



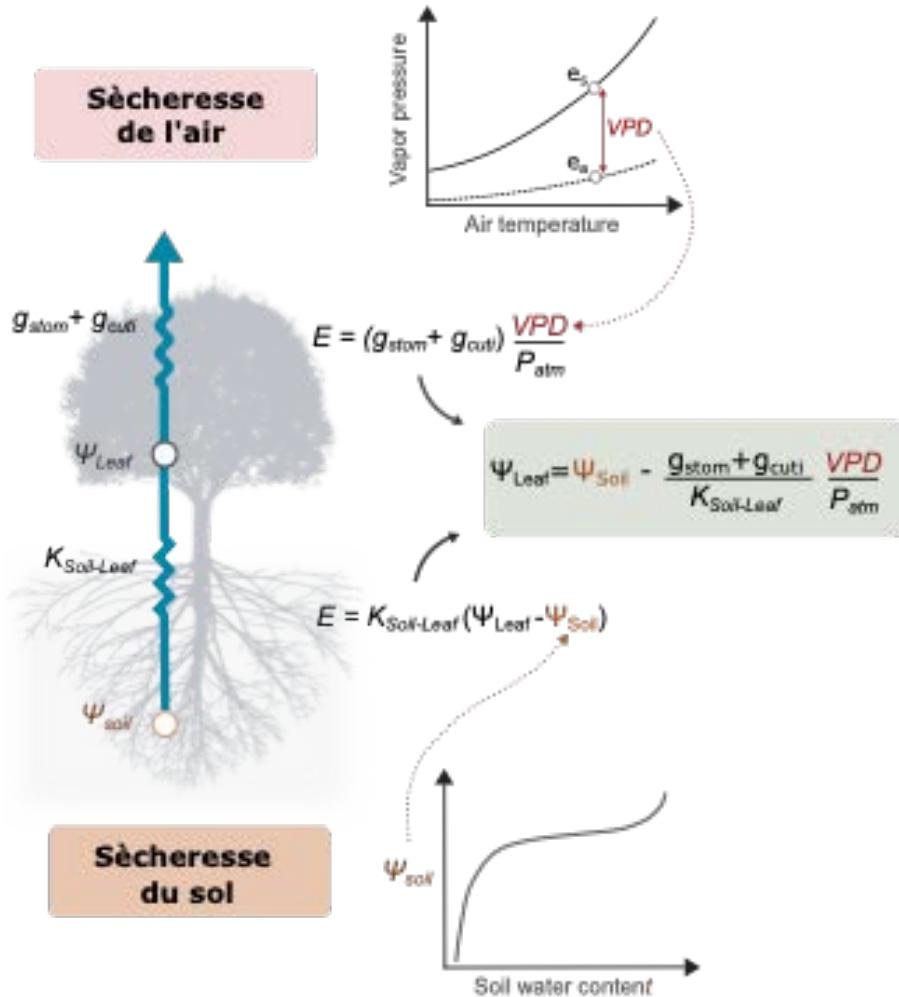
# SurEau : kesako ?



# SurEau : kesako ?

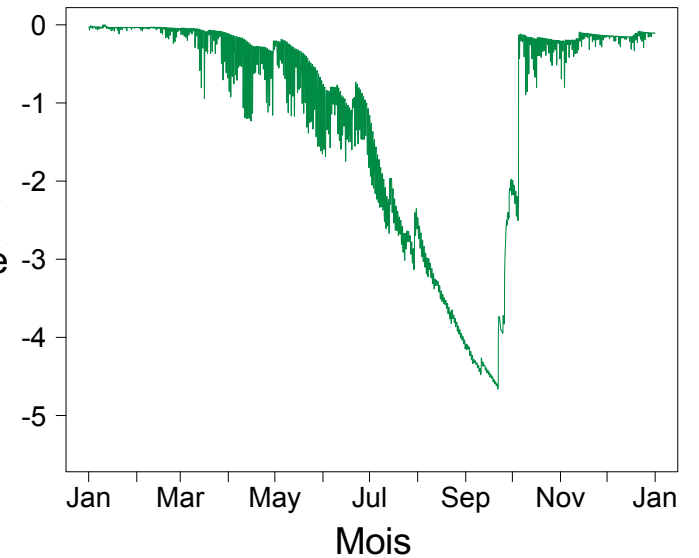


# SurEau : kesako ?



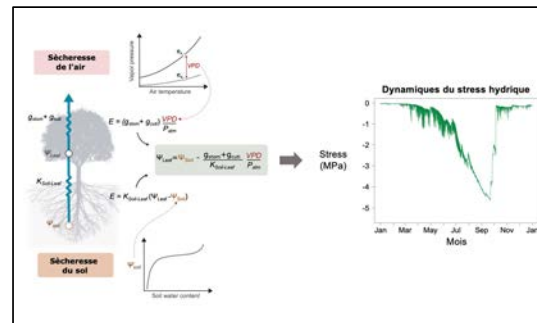
➔ Tension de l'eau dans l'arbre (MPa)

**Dynamiques du stress hydrique**



# SurEau : kesako ?

## SurEau



# SurEau : kesako ?

## Entrées

Climat  
journalier

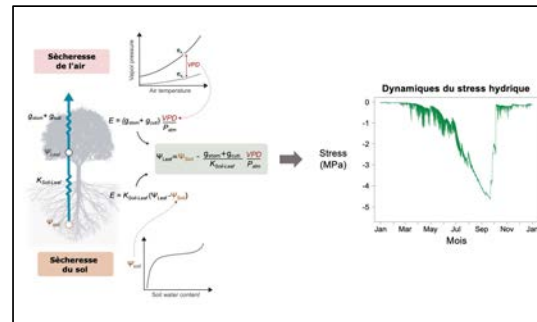
Surface  
foliaire

Réserve  
utile du sol

Caracteristiques  
physiologiques



## SurEau



# SurEau : kesako ?

## Entrées

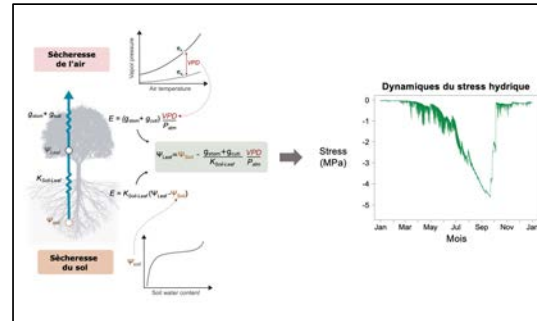
Climat journalier

Surface foliaire

Réserve utile du sol

Caracteristiques physiologiques

## SurEau



## Sorties (heure/jour)

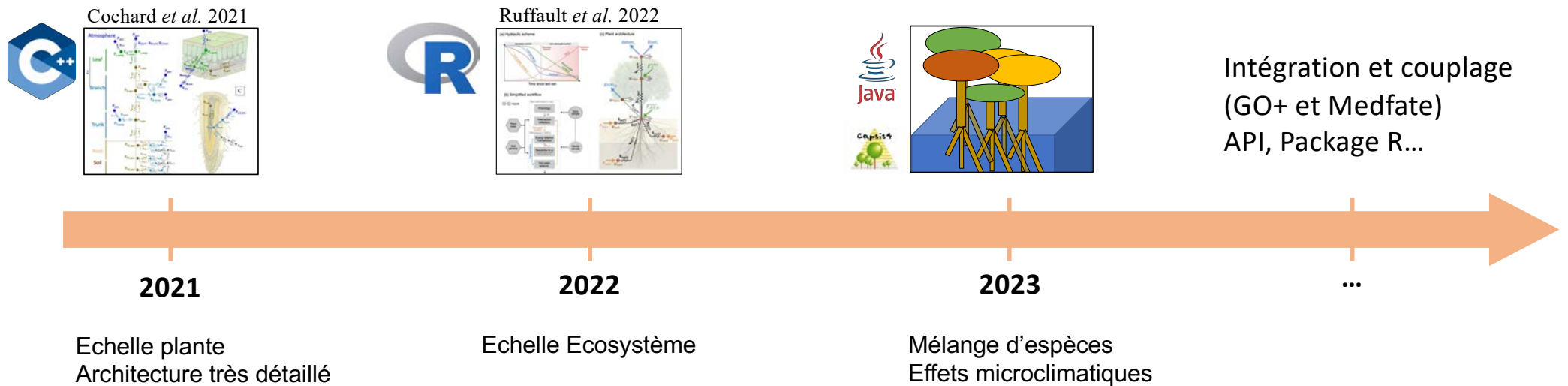
Transpiration

Stress hydrique des arbres

Stock d'eau dans les plantes

# SurEau : un environnement de modélisation

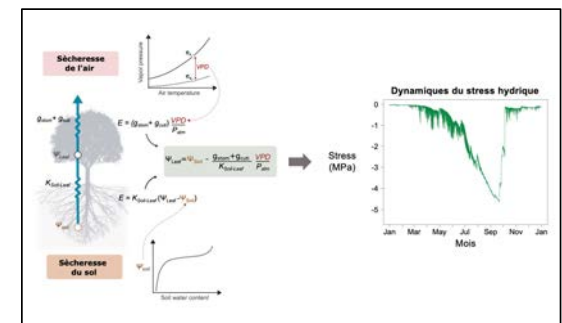
**Différentes versions et langages informatiques implémentés pour diversifier les applications et les utilisateurs**



# Exemples d'applications avec SurEau

1. Prédire le stress hydrique et le risque de **mortalité**
2. Prédire la **distribution** des espèces
3. Identifier les **écosystèmes** et **individus résistants** à la sécheresse
4. Evaluer l'effet du dessèchement sur le **risque incendie**

## SurEau





# 1. Stress hydrique et mortalité

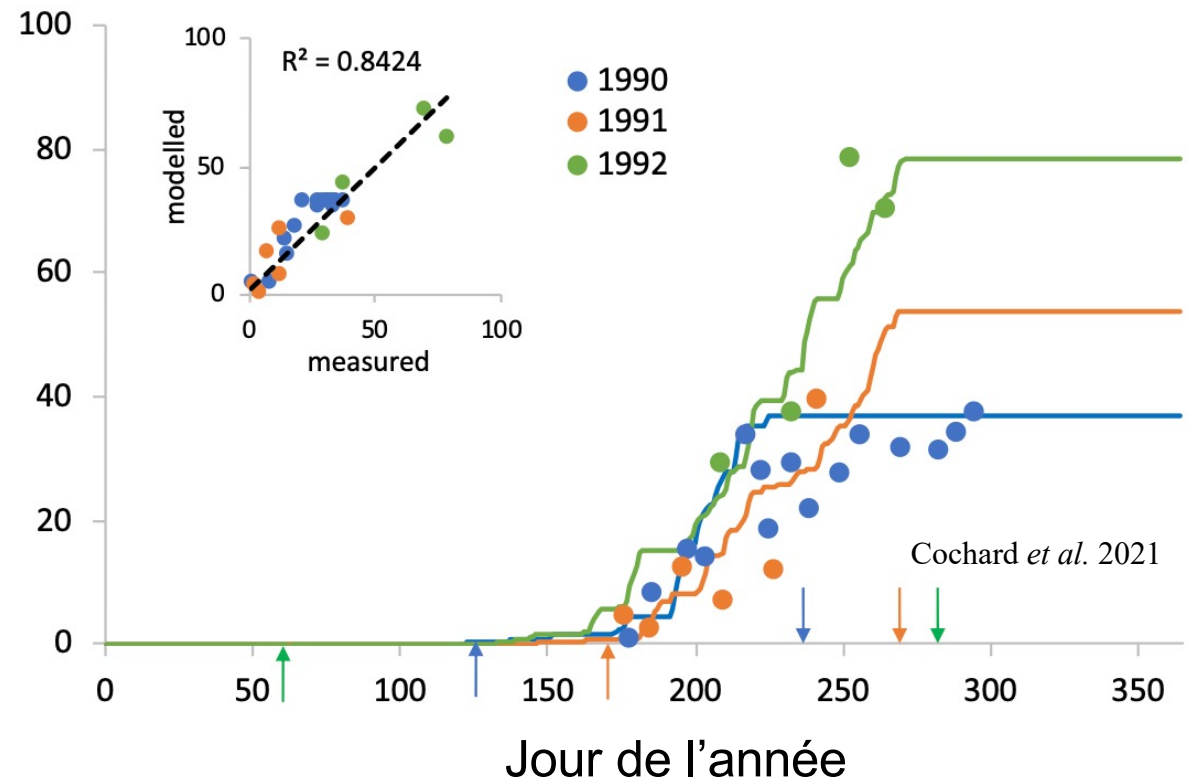


Dispositif d'exclusion  
des pluies (INRAE-Nancy)



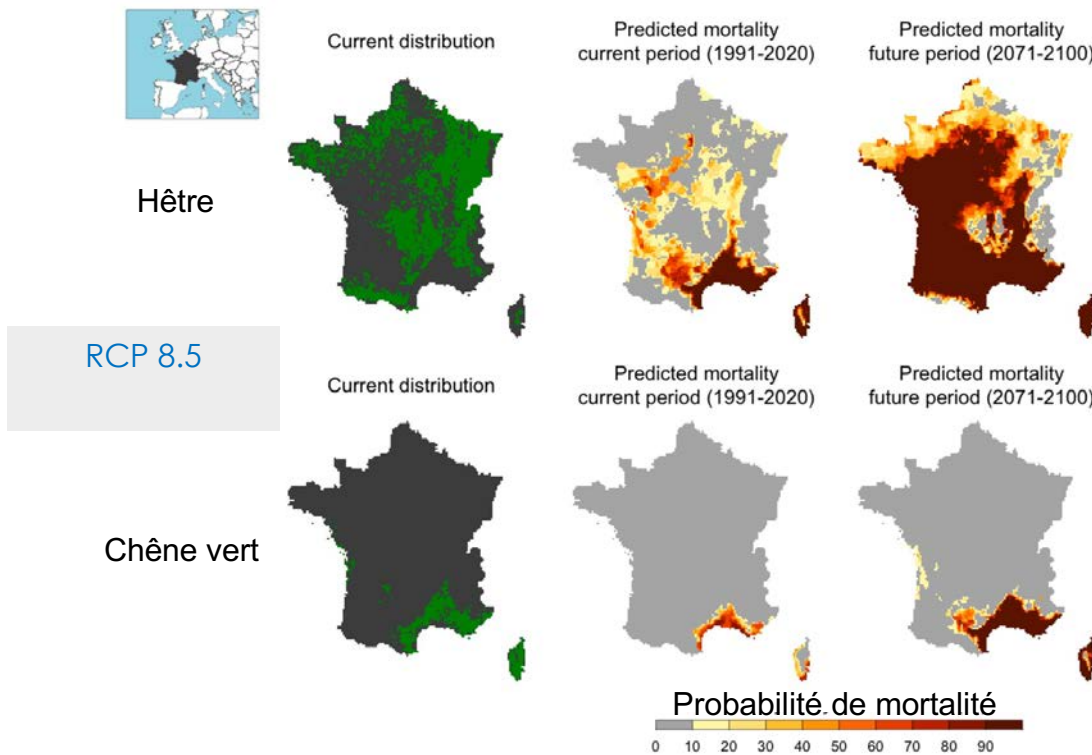
Chêne sessile

Embolie  
(%)  
*Risque de  
mortalité*



## 2. Prédire la distribution des espèces

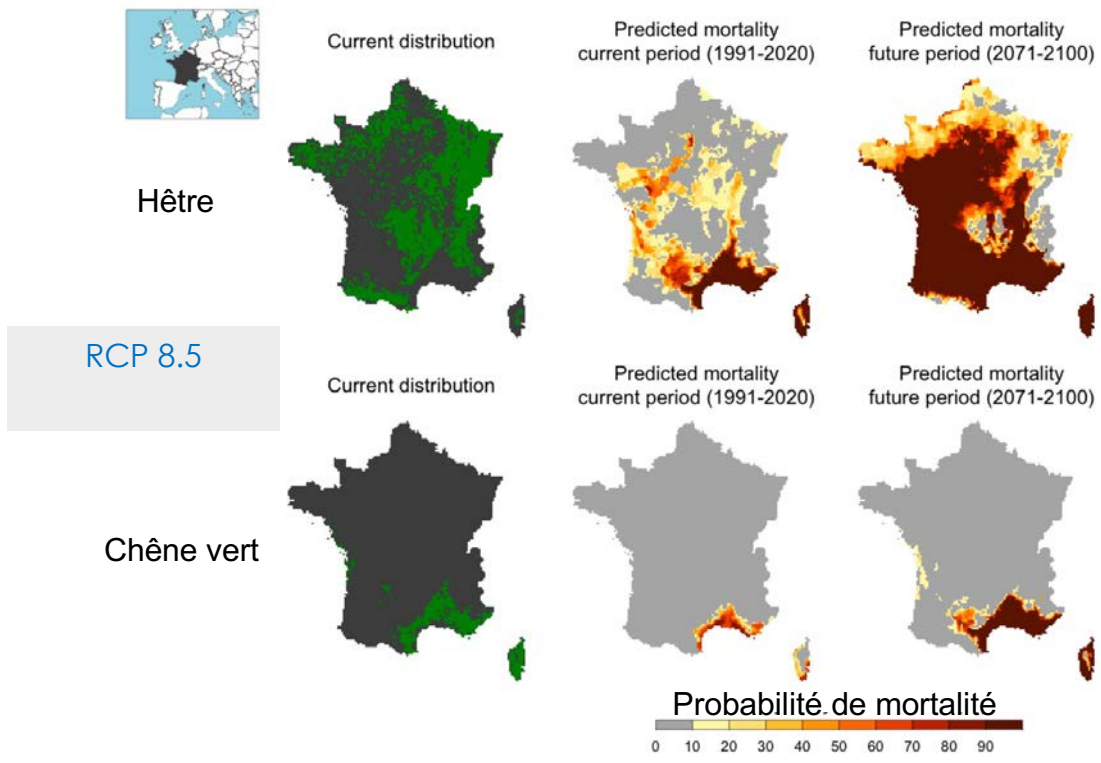
### Effets des changements climatique sur la distribution potentielle des espèces



Ruffault *et al.* 2022

## 2. Prédire la distribution des espèces

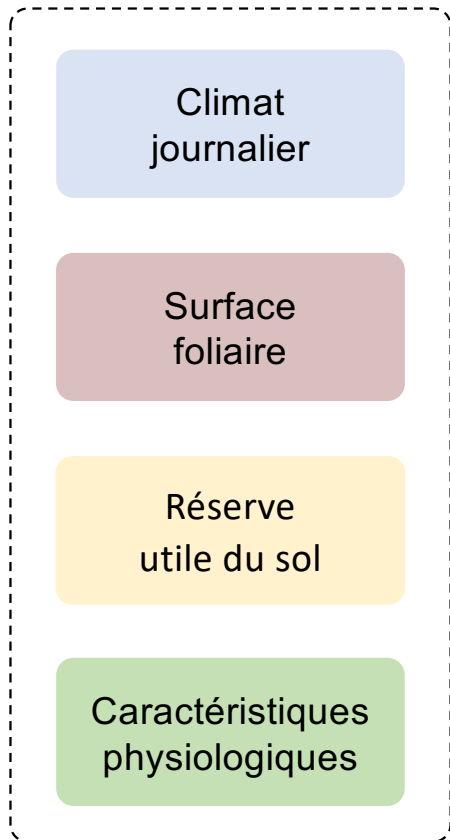
### Effets des changements climatique sur la distribution potentielle des espèces



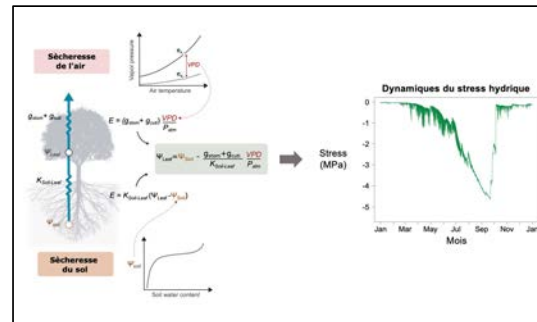
Travaux en cours sur les conditions stationnelles (notamment la réserve utile)

# 3. Identifier les écosystèmes et individus résistants

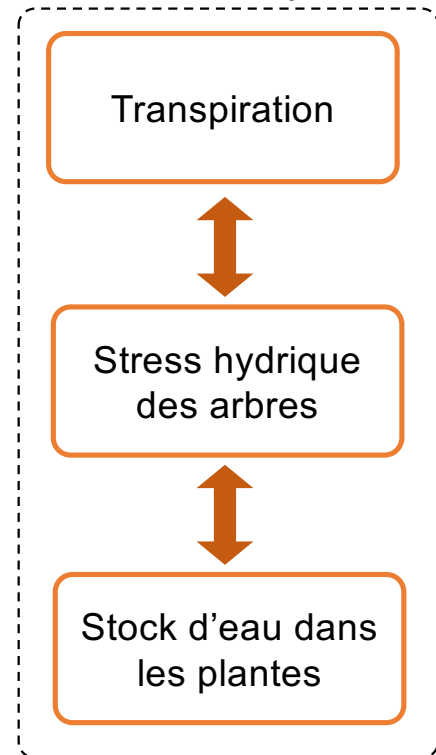
## Entrées



## SurEau

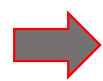
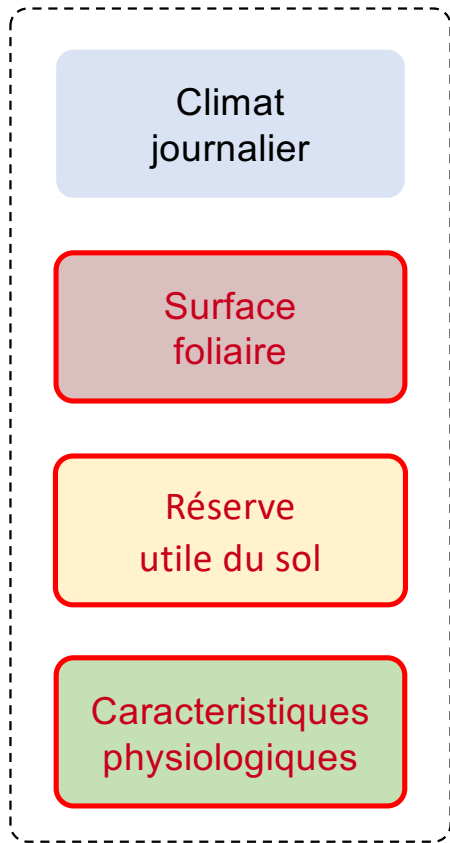


## Sorties (heure/jour)

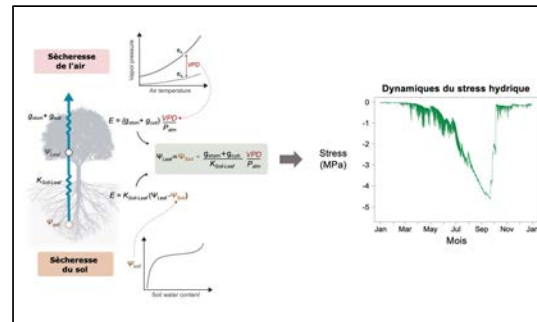


# 3. Identifier les écosystèmes et individus résistants

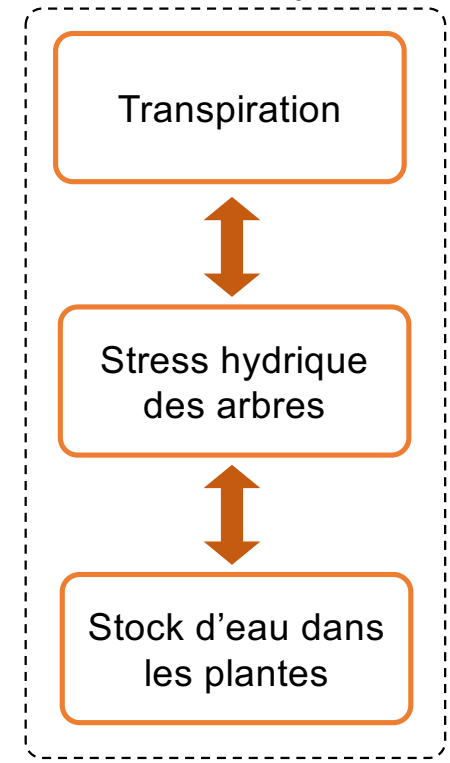
## Entrées



## SurEau



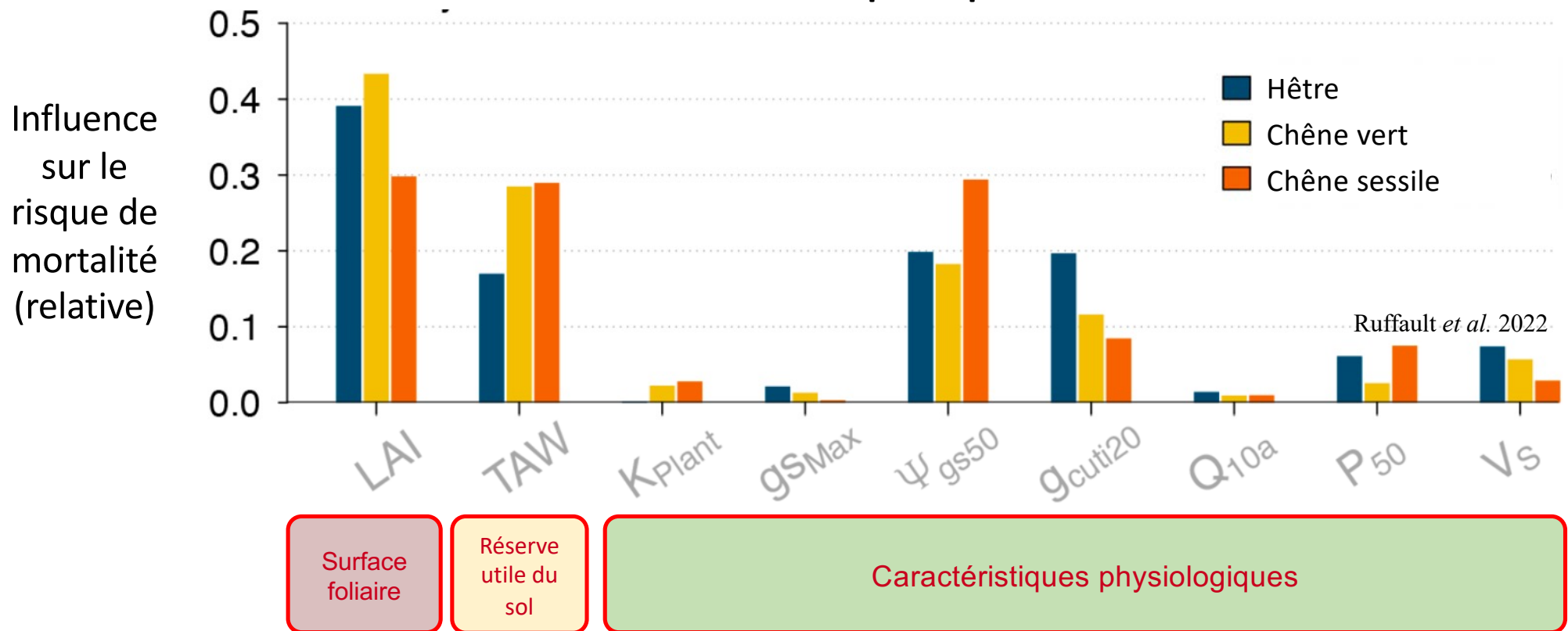
## Sorties (heure/jour)



Des millions de simulations

### 3. Identifier les écosystèmes et individus résistants

#### Identifier l'importance des conditions stationnelles et de la variabilité intraspécifique



### 3. Identifier les écosystèmes et individus résistants

**Prise en compte de la variabilité génétique et de la plasticité  
phénotypique des espèces**

Caractéristiques  
physiologiques

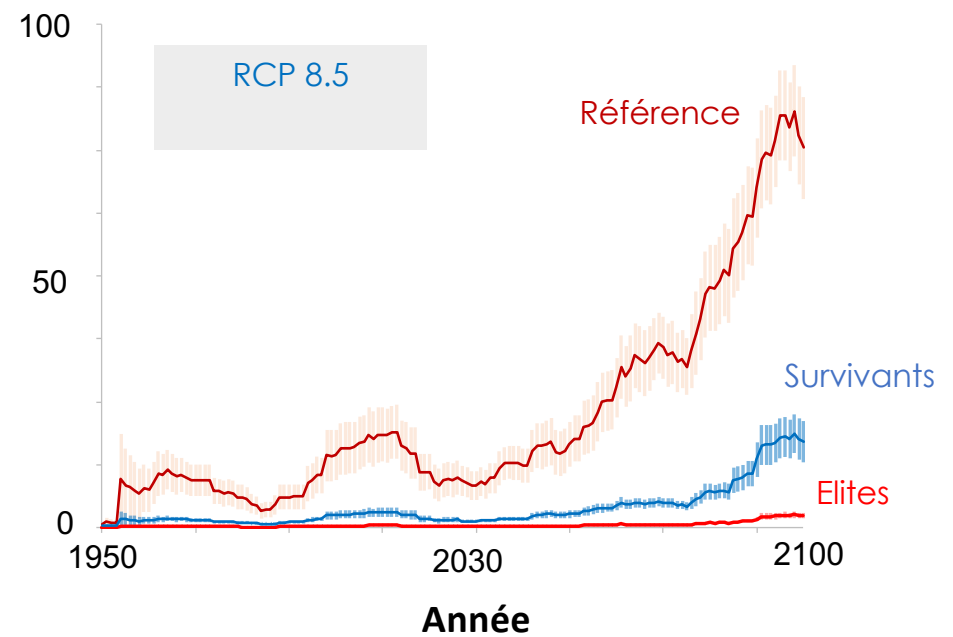
### 3. Identifier les écosystèmes et individus résistants

Prise en compte de la variabilité génétique et de la plasticité phénotypique des espèces

Caractéristiques physiologiques



Cavitation (%)





## 4. Dessèchement des arbres et risque incendie

**Prédire la teneur en eau et la mortalité du feuillage**



*Vague de chaleur, Puéchabon, 2019*

## 4. Dessèchement des arbres et risque incendie

**Prédire la teneur en eau et la mortalité du feuillage**



*Vague de chaleur, Puéchabon, 2019*



## 4. Dessèchement des arbres et risque incendie

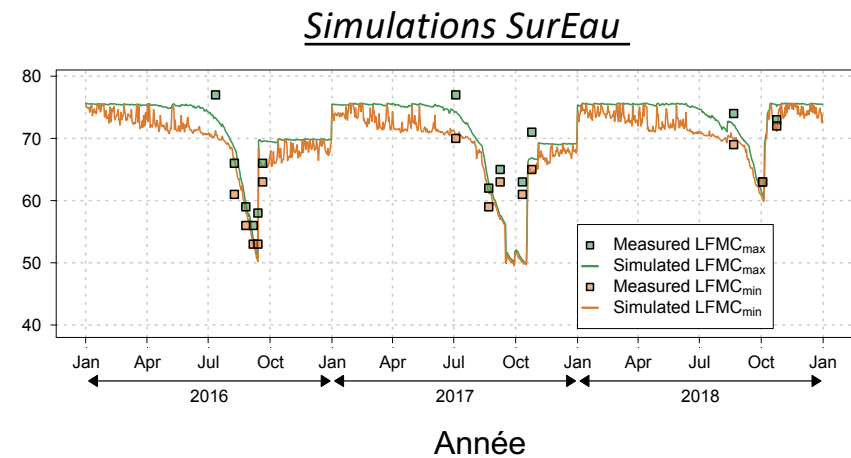
### Prédire la teneur en eau et la mortalité du feuillage



*Vague de chaleur, Puéchabon, 2019*



Contenu  
en eau  
(%)



Ruffault *et al.* 2023

## 4. Dessèchement des arbres et risque incendie

### Prédire la teneur en eau et la mortalité du feuillage



*Vague de chaleur, Puéchabon, 2019*



- Comprendre les dynamiques de dessèchement
- Améliorer la prévision du risque incendie

# Conclusions

- Intérêt de la modélisation basée sur l'hydraulique des plantes
- *SurEau* est un outil en développement déjà utile pour diverses applications
- Autres utilisations possibles pour la recherche et la gestion opérationnelle face aux changements climatiques



# Merci

## Références bibliographiques

- **Cochard *et al.* (2021)** SurEau: a mechanistic model of plant water relations under extreme drought. *Annals of Forest Science*, 78(2), 1-23
- **Martin-StPaul *et al.* (2017)** Plant resistance to drought depends on timely stomatal closure. *Ecology Letters*, 20 (11), 1437-1447
- **Ruffault *et al.* (2022)** SurEau-Ecos v2.0: a trait-based plant hydraulics model for simulations of plant water status and drought-induced mortality at the ecosystem level. *Geoscientific Model Development*, 15(14), 5593-5626.
- **Ruffault *et al.* (2023)**. Plant hydraulic modelling of leaf and canopy fuel moisture content reveals increasing vulnerability of a Mediterranean forest to wildfires under extreme drought. *New Phytologist*, 237 (4), 1256-1269

