

## Effect of the reduction of leaf area on the sensitivity of trees to drought (REDSURF)

*François COURBET (INRA-URFM), Nicolas MARTIN-St PAUL (INRA-URFM) and Jean LADIER (ONF) in collaboration with Guillaume SIMIONI (INRA-URFM) and Claude DOUSSAN (INRA-EMMAH)*

The aim of the REDSURF project was to advance knowledge on the effect of silvicultural interventions on the adaptation of forest stands to climate change.

### Methods:

Two species have been studied: the silver fir (Aude), and the Atlas cedar (Gard).

Two experimental systems, one per species, were used to detect the effects of silvicultural interventions on drought tolerance through health status, diameter growth, and ecophysiological behavior characteristics. The environment (soil + subsoil by electrical conductivity measurements, climate) and the development of vegetation (undergrowth and stand) were characterized.

At the same time, water balance and functioning models (BILJOU© and Sureau) were used to evaluate the stress sensitivity of trees and stands according to the intensity of thinning. Uncertainties regarding the leaf area and useful soil reserve, at which models are sensitive, remain strong.

### Results:

The electrical resistivity measurements of the substratum show that cedars take water well beyond the soil layer, up to 5 m.

In the fir the thinning did not have a positive effect on the evolution of the foliar deficit. The cambial necrosis noted on cedars appeared preferentially in years with a more favorable water balance and on the most conducive zones.

A mixed effects model was used to model the effect of different variables, including the interaction between density and climate (or annual component) on annual measured basal area increments of cedars. For 5 years after thinning, there is a positive effect of thinning on the growth-climate relationship, which is significant between extreme densities (10 and 40 m<sup>2</sup>/ha). This effect subsequently fades.

Leaf water potential measurements (an index of water stress) in 2017 show that cedars in thinned plots undergo less water stress 25 years after thinning, despite undergrowth development. We also found a modest acclimatization of cedar drought resistance in the high-density plot (1,200 trees/ha), compared to high-thinned patches (400 trees/ha).

Simulations carried out over the period 1995-2015 showed that thinning reduces water stress and the risk of hydraulic failure (which can lead to decline), particularly in the cedar system.

In 2017, Sureau reproduced the difference in water potential between treatments after thinning 1,200 and 400 cedars/ha.

In addition, the simulations (1960-2100) suggest that under climate change, in the absence of thinning, the trees could experience cavitation rates that are all the greater as the change is more severe. Thinning would greatly reduce the risk of cavitation.

The drafting of an educational reference base, presenting the main ecophysiological indicators and operating models currently in use, is currently under way.

# REDSURF

Effet de la réduction de la surface foliaire sur la  
sensibilité des arbres à la sécheresse.  
Approches empirique et fonctionnelle.

F. Courbet, N. Martin, G. Simioni (INRA-URFM)  
C. Doussan (INRA-EMMAH)  
J. Ladier (ONF)

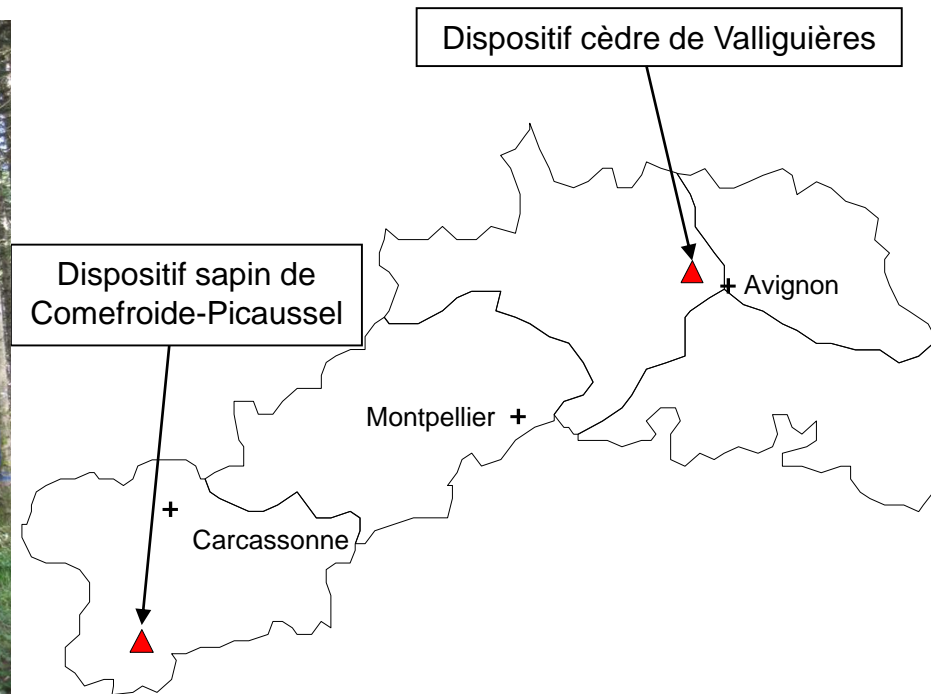


# CONTEXTE, OBJECTIFS & MÉTHODES

- ❖ Deux mesures adaptatives possibles pour les peuplements en place:
  - ✓ substitution d'espèces menacées par des espèces ou provenances plus adaptées
  - ✓ **améliorer** les conditions environnementales en particulier **le bilan hydrique par le contrôle du couvert (RÉDUCTION de la SURFACE foliaire)**
- ❖ **REDSURF**, un projet de recherche pour :
  - ✓ Étudier l'effet des interventions sylvicoles (éclaircies et élagage) sur la sensibilité des arbres à la sécheresse
  - ✓ Évaluer une série d'indicateurs d'adaptation intégrant ces effets
  - ✓ Transmettre connaissances, indicateurs, méthodes fonctionnelles pour évaluer la réaction des arbres au changement climatique
- ❖ **MÉTHODES**
  - ✓ Expérimentale en observant la sensibilité du cèdre et du sapin au climat dans différentes situations de concurrence contrastées...
  - ✓ et utilisant les modèles fonctionnels pour tester l'effet des éclaircies sous climat actuel et futur (BILJOU©, Sureau)

# Approche expérimentale : les dispositifs

- ❖ un dispositif sylvicole cèdre de l'Atlas (éclaircie + élagage).
- ❖ un dispositif sylvicole sapin dans une sapinière déperissante expérimentant une réduction de 50% de la surface terrière à titre préventif



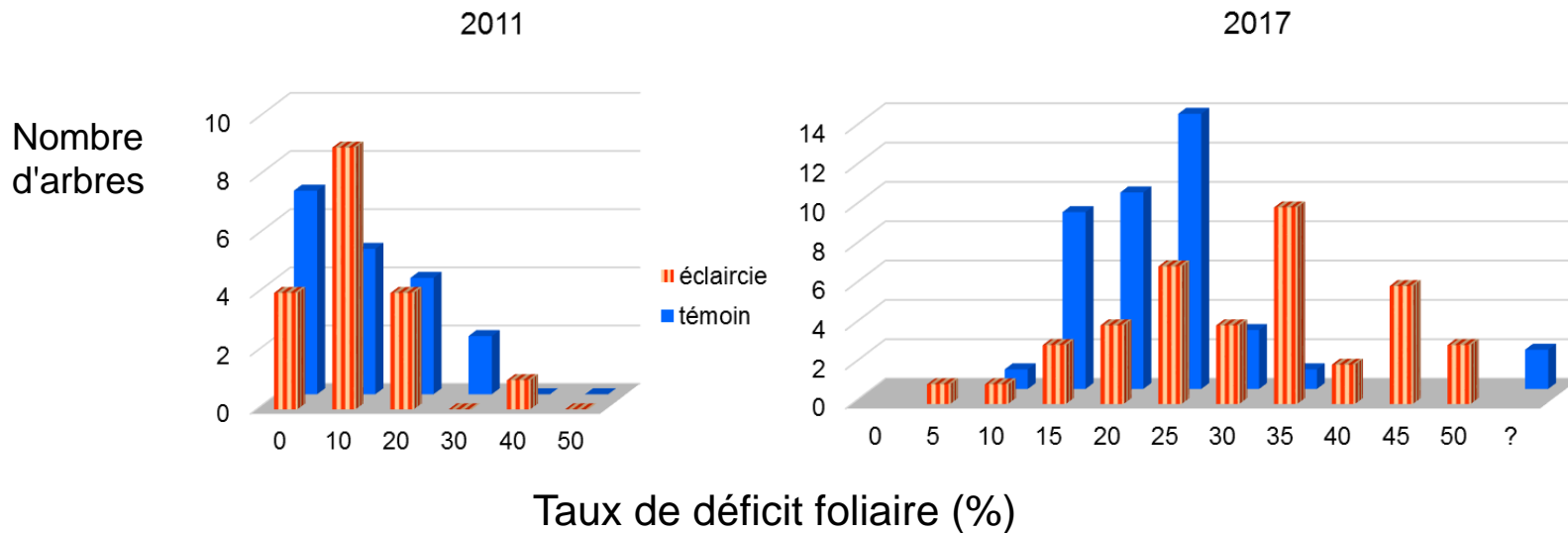
# Approche expérimentale : les données

Domaine	Opérations	cèdre	sapin
Climat	Données météo	MétéoFrance	RENECOFOR
Sol	Méthodes géophysiques basée sur la résistivité électrique mesurée en plein ou sur transects en profondeur (points sec et humide)	X	
	Fosses pédologiques	X	X
Végétation du sous-bois	Description par échantillonnage	X	X
Peuplement	Inventaire en plein des circonférences, hauteurs sur arbres échantillons, notations sanitaires	X	X
	Indice foliaire (LAI)	photos hémisphériques, relations allométriques	LAI 2000
	Analyse de tiges (largeur de cernes à différents niveaux, datation et mesure nécroses cambiales)	X	
	Potentiels hydriques (de base, minimum), courbes pression-volume, résistance à la cavitation	X	

# Résultats: état sanitaire

## Défoliation sapins

Répartition des arbres objectifs en fonction du taux de déficit foliaire, par placette, en 2011 avant éclaircie (classes de 10 %) et en 2017 (classes de 5 %)





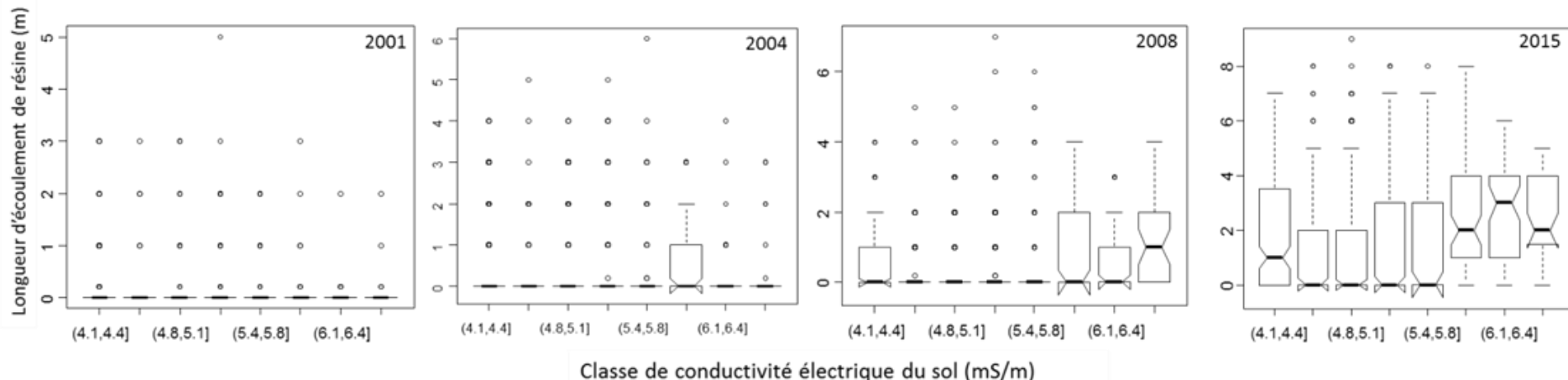
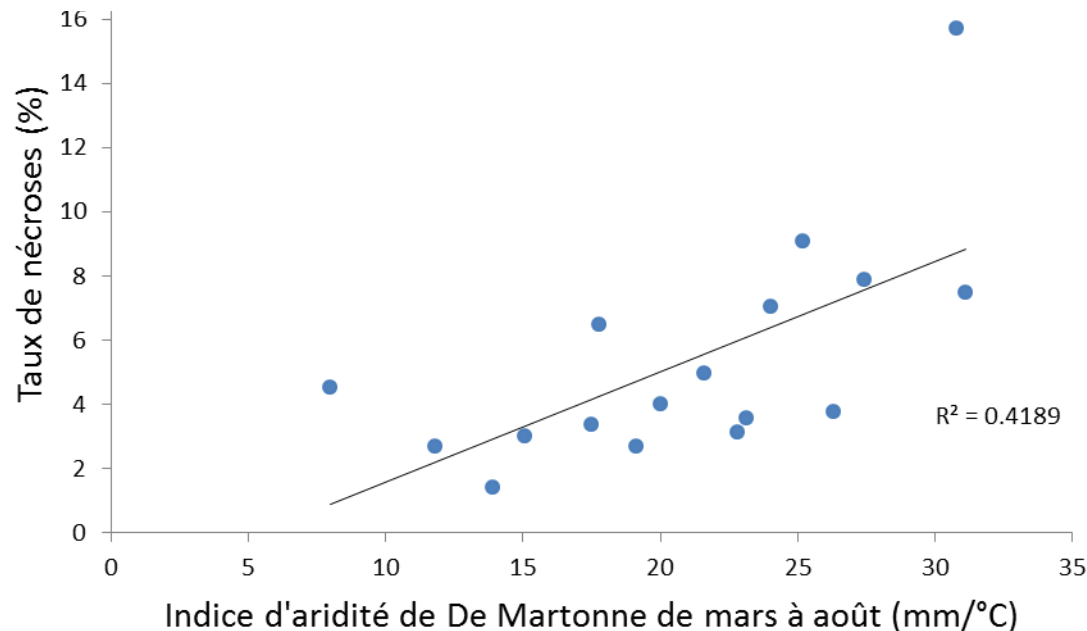
# Résultats: état sanitaire

Nécroses cambiales cèdres : symptômes



# Résultats: état sanitaire

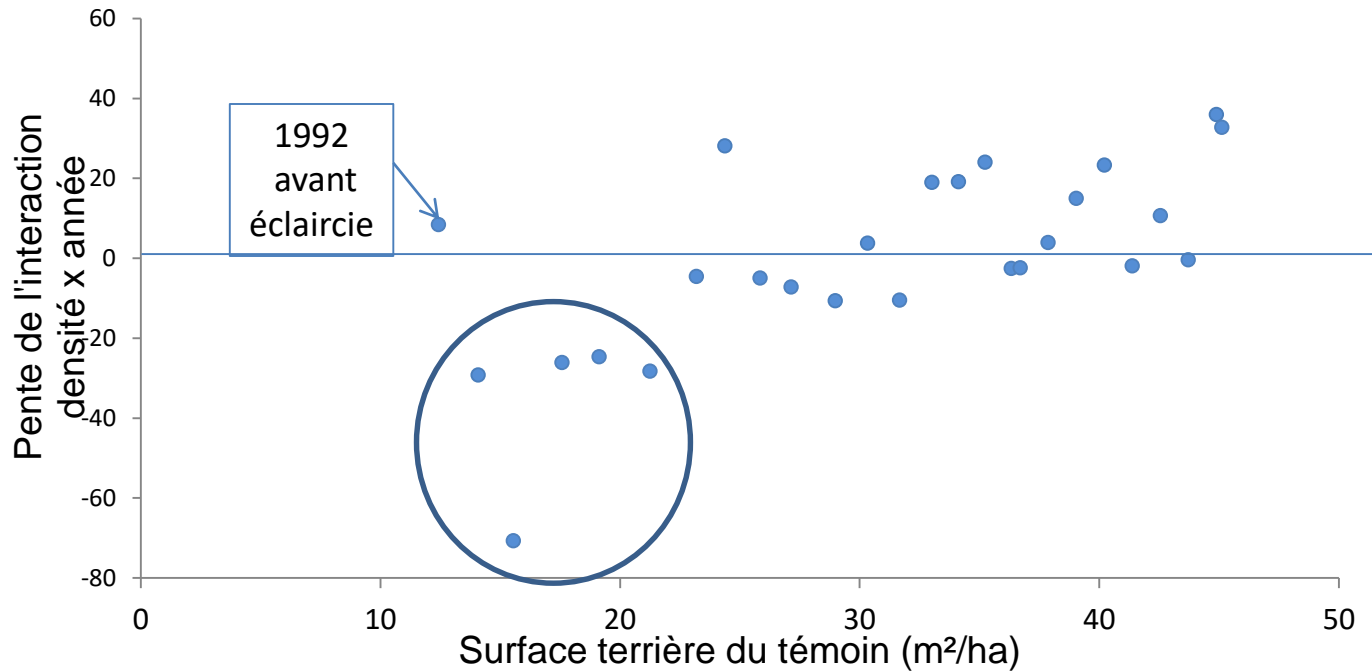
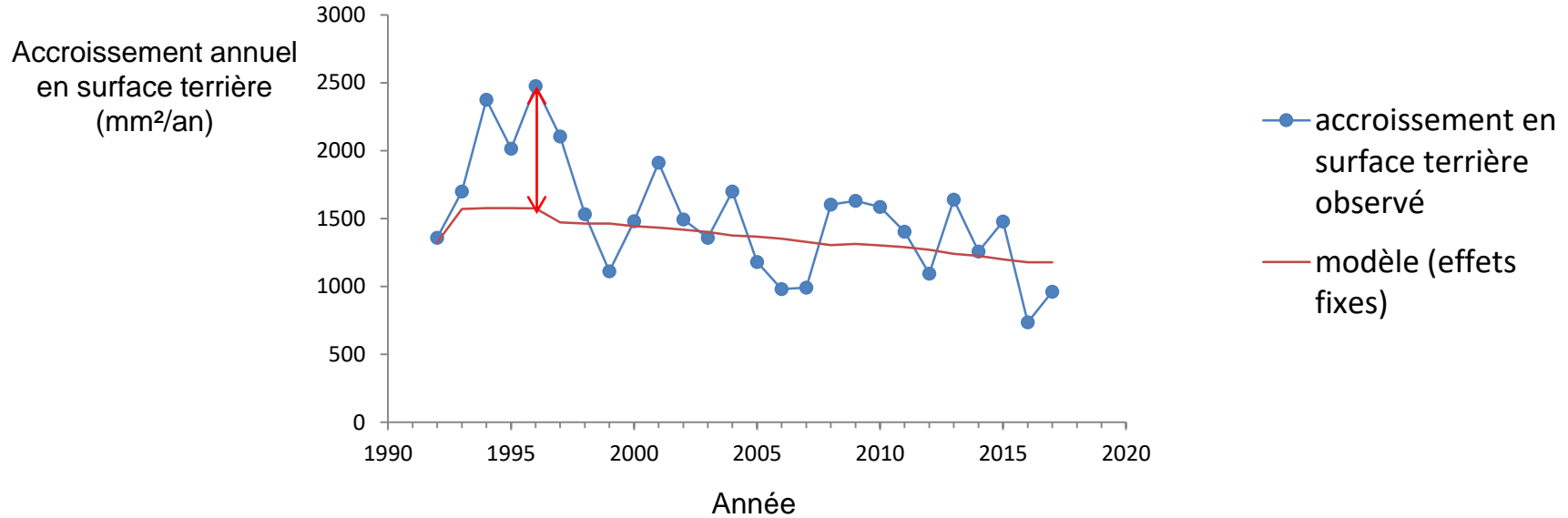
## Nécroses cambiales cèdres : analyse spatio-temporelle



Intensité des nécroses représentée par la longueur d'écoulement de résine le long du tronc de 2001 à 2015 en fonction de la conductivité locale du sol sur lequel a poussé l'arbre.

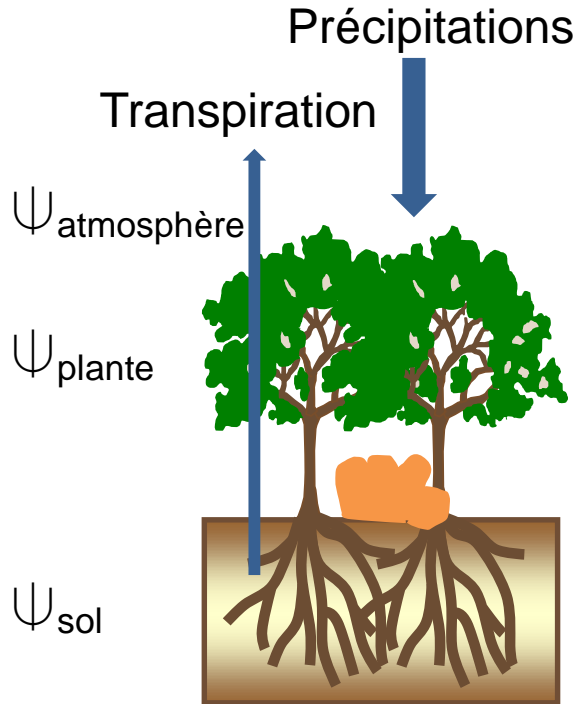


# Résultats: croissance



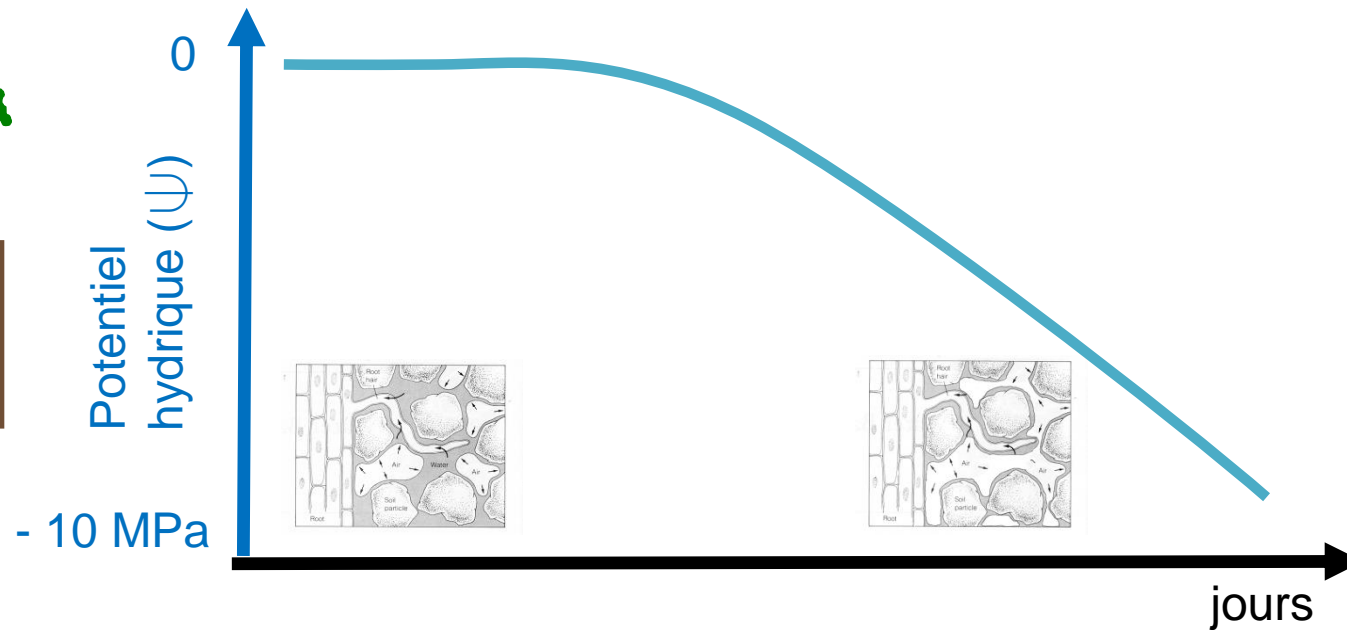
# Approche fonctionnelle : bilan et stress hydriques

Bilan hydrique = **OFFRE** – **DEMANDE**



**Réserve utile:**  
Volume de sol  
Précipitations

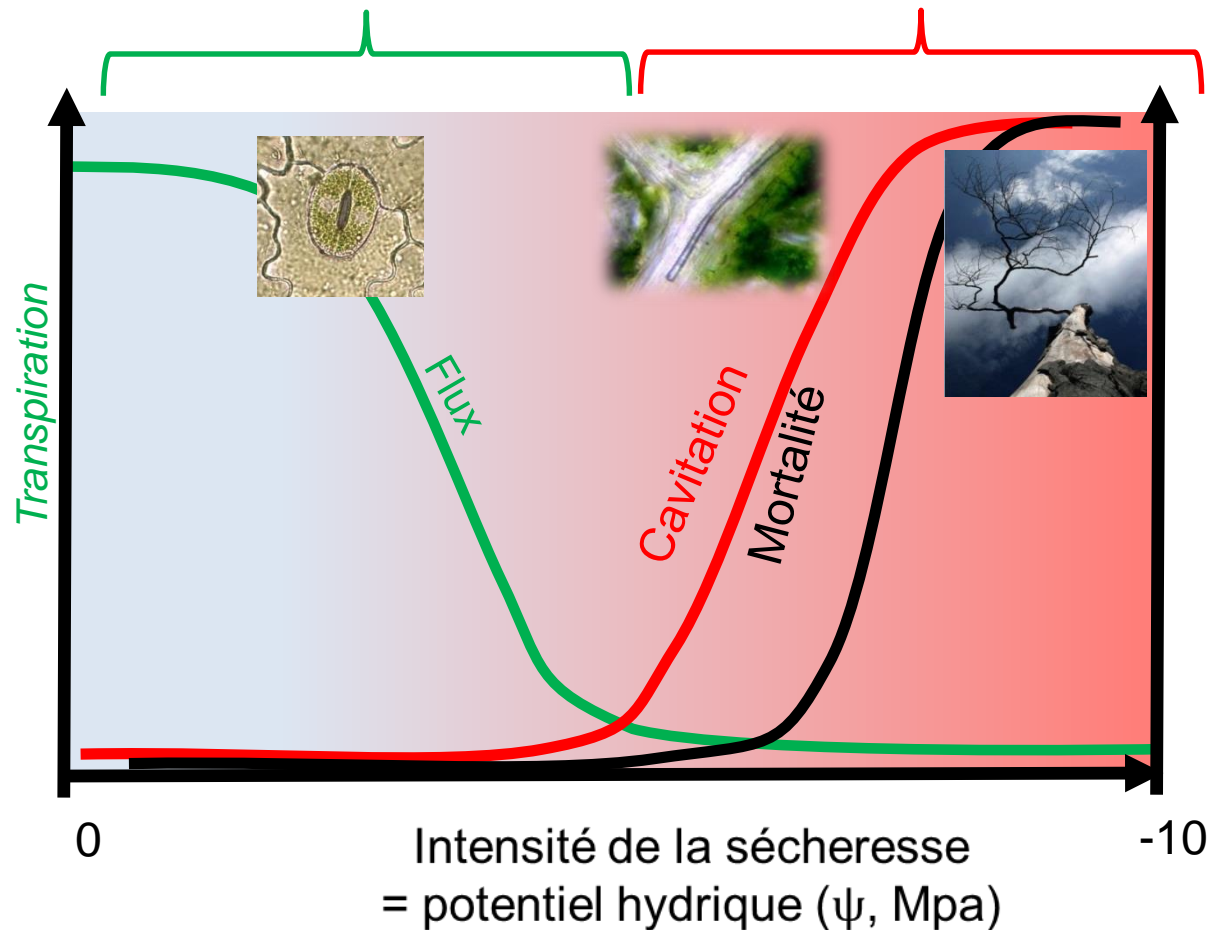
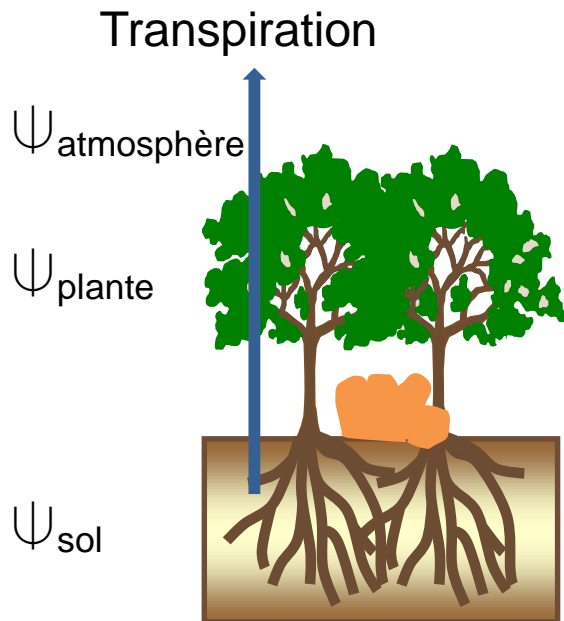
**Transpiration:**  
Indice foliaire (LAI)  
Évapotranspiration



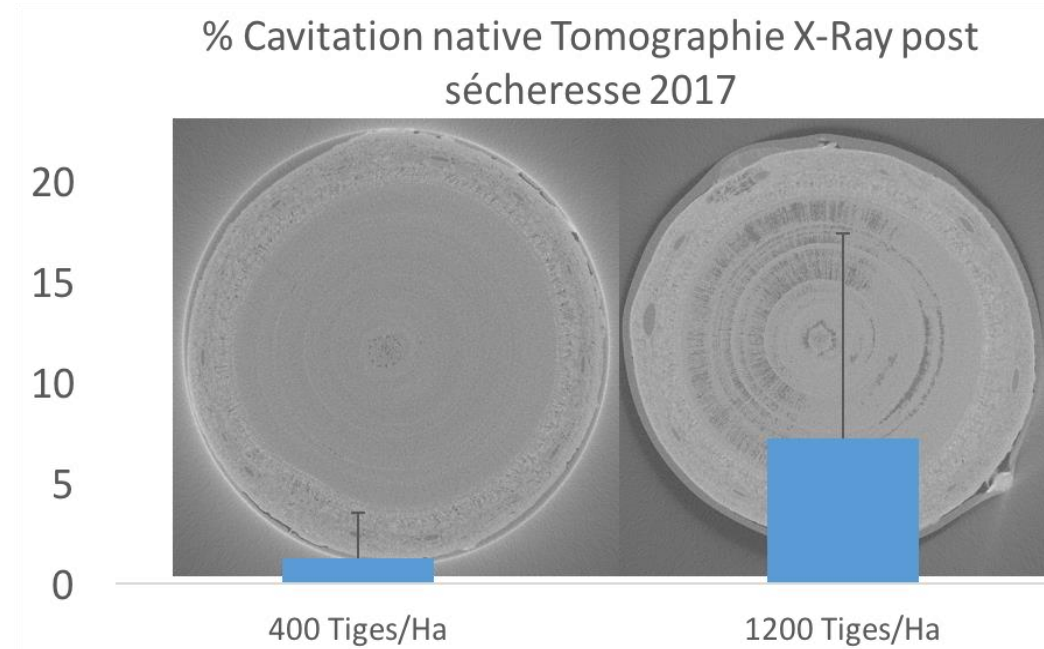
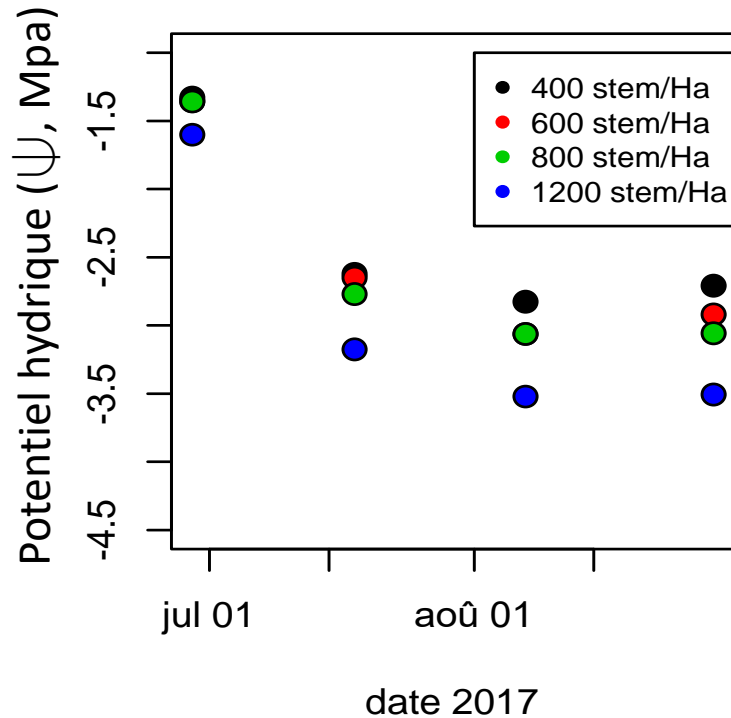
# Approche fonctionnelle : bilan et stress hydriques

Phase de croissance :  
Climat, fermeture stomatique,  
RU, Indice foliaire (LAI)

Phase de dessèchement :  
Climat, résistance à  
l'embolie, indice foliaire (LAI)



# Potentiel hydrique et cavitation: *Cedrus atlantica*



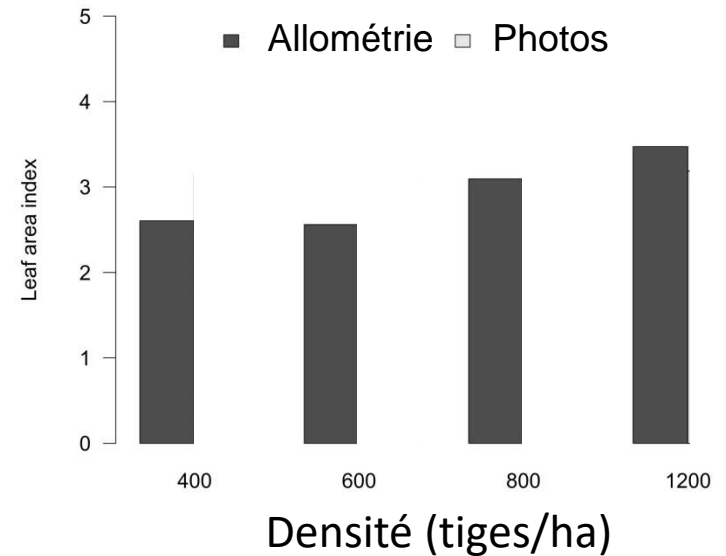
Effet bénéfiques des éclaircies sur le potentiel hydrique et la cavitation 20 après l'intervention

# Variables impliquées dans le bilan hydrique

Indicateurs de l'indice foliaire mesure 2017



LAI cèdres  
( $m^2/m^2$ )



**Malgré une augmentation du sous bois pendant 20 ans suivant la coupe, l'éclaircie a toujours un effet bénéfique sur le stress hydrique et diminue le risque de cavitation !**

## 2 hypothèses à explorer :

- (1) Exploitation différente de l'eau entre le sous bois et le cèdre (e.g. profondeur)
- (2) Différence d'agrégation spatiale du couvert → différents niveaux de transpiration

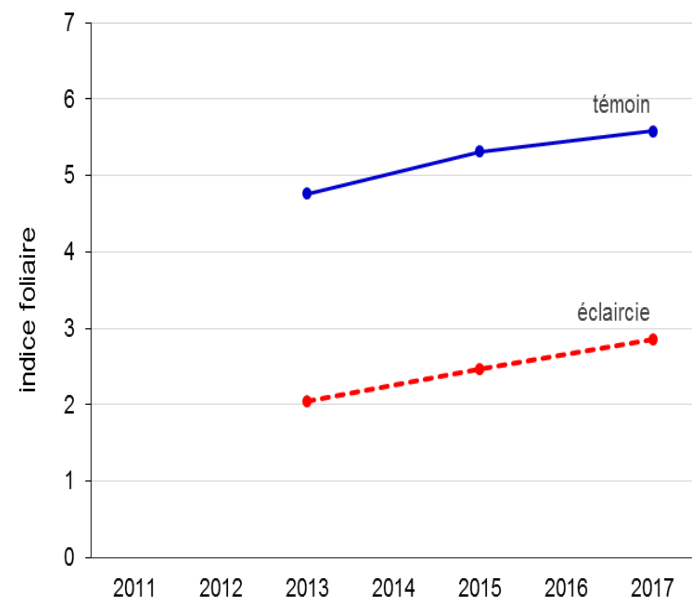


# Variables impliquées dans le bilan hydrique : *Abies alba*

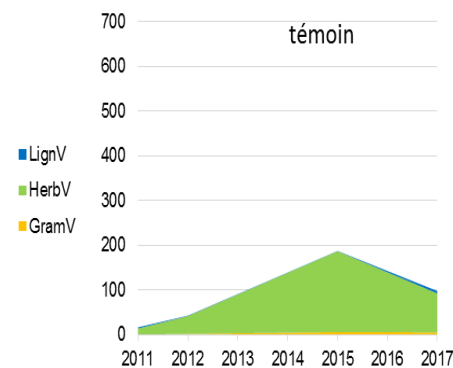
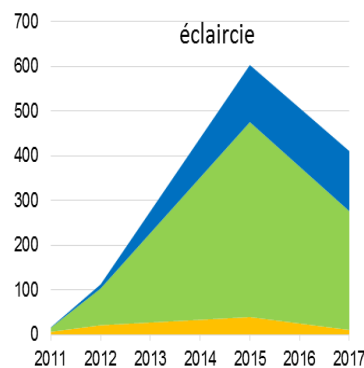
LAI, climat et RU (fosse pédologique)  
mesurés en 2017



LAI *Abies alba*  
(LAI 2000)



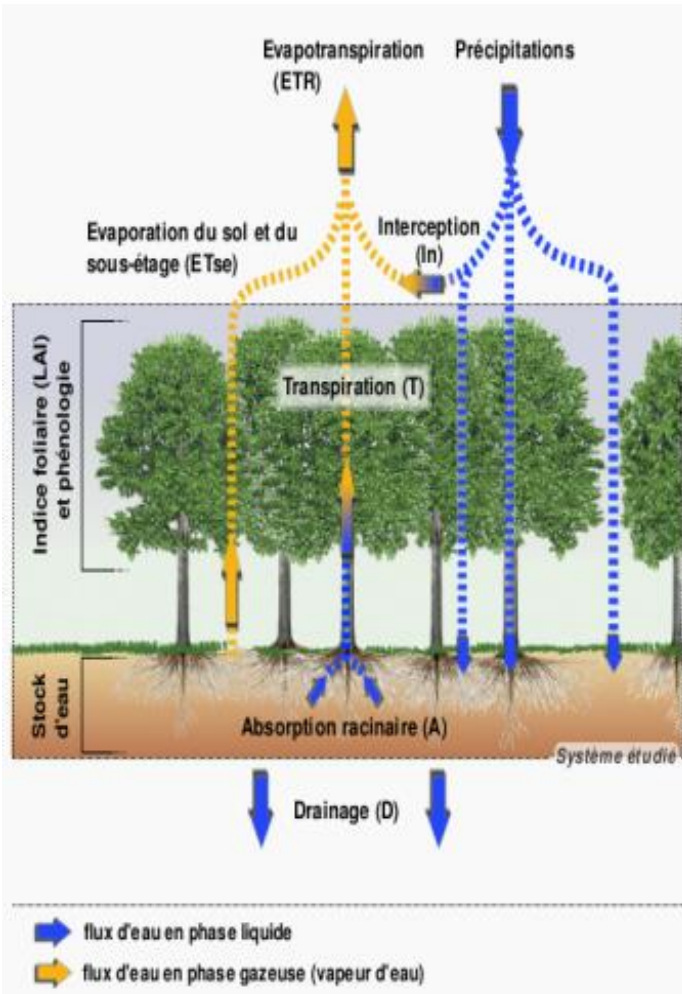
Taux de  
recouvrement  
sous bois (%)



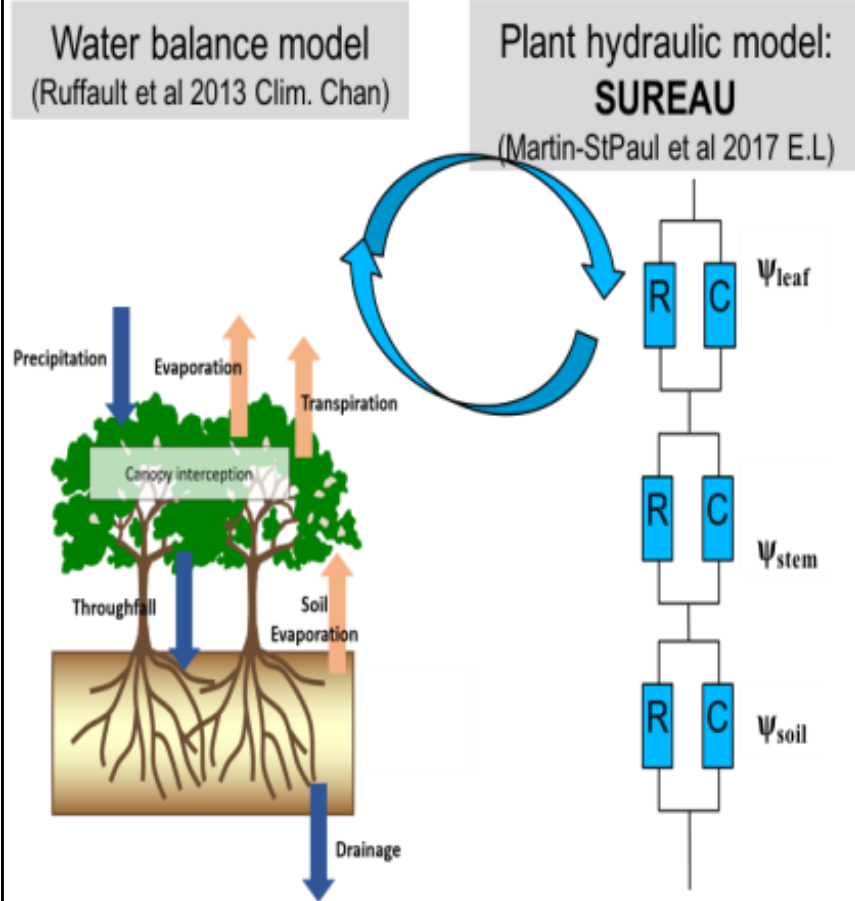
(pas de données de potentiel hydrique ici)

# Modélisation du bilan hydrique et de la cavitation *Cedrus atlantica*

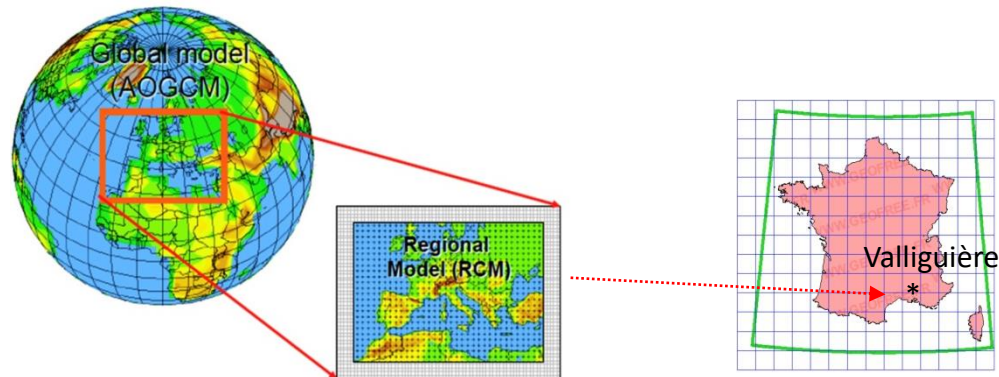
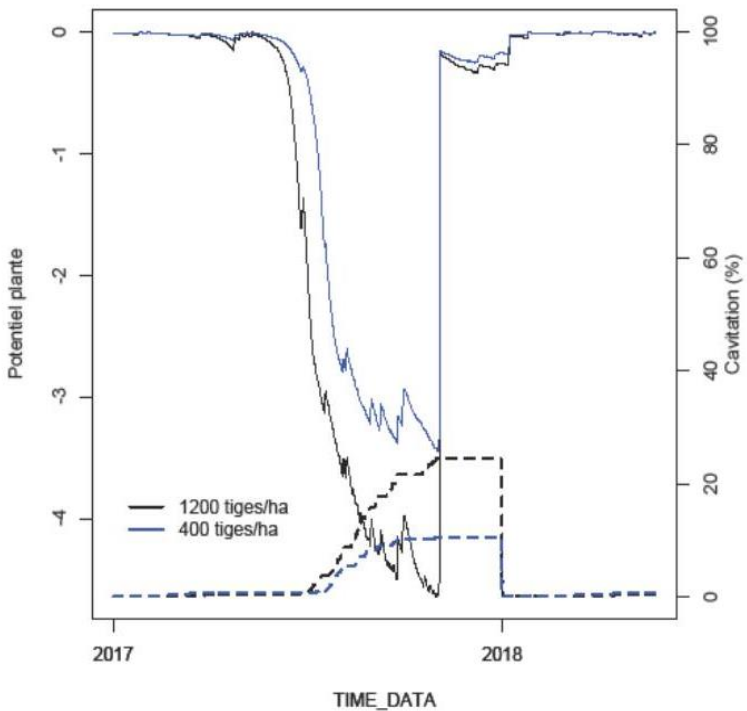
## BILJOU® (A. Granier)



## SUREAU (H. Cochard)



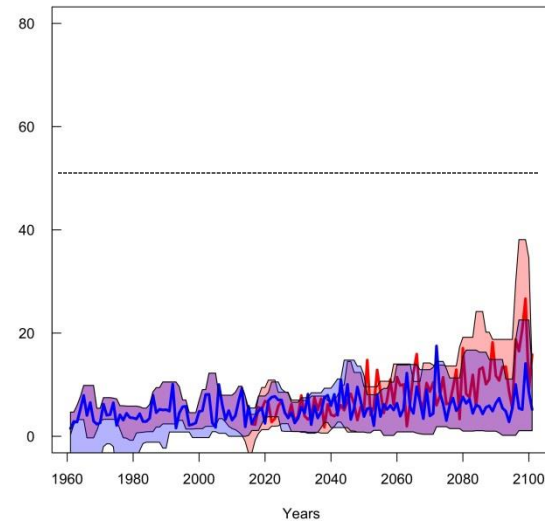
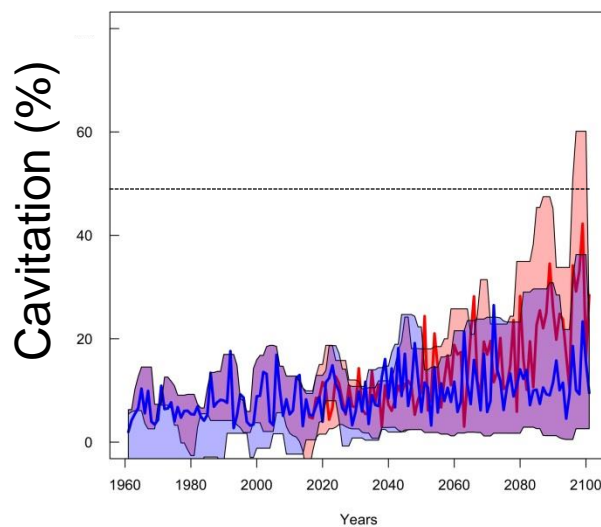
# Modélisation du bilan hydrique et de la cavitation *Cedrus atlantica*



RCP 8.5  
RCP4.5

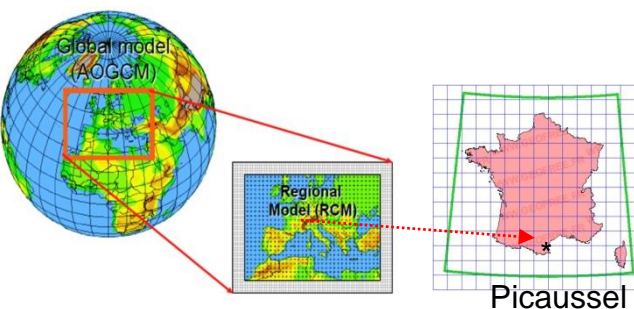
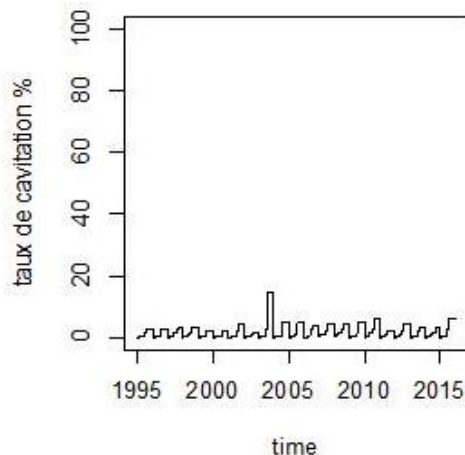
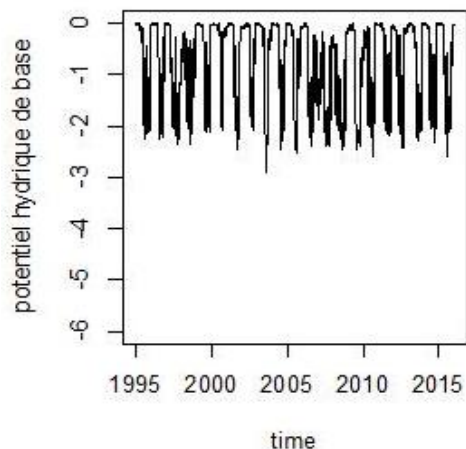
Témoin (LAI=3)

Éclaircie (LAI=2.4)



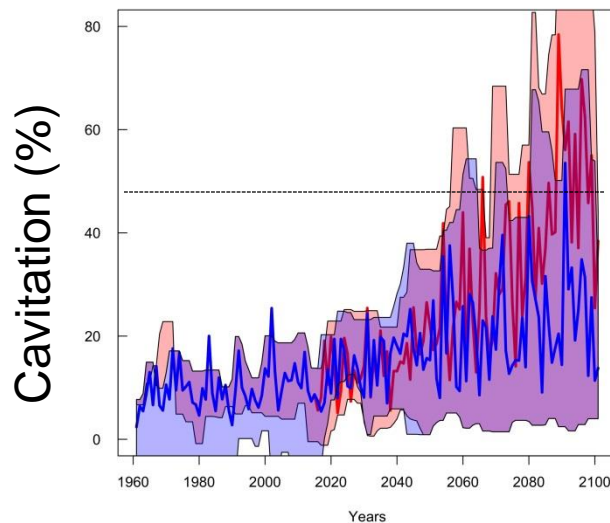
# Modélisation du bilan hydrique et de la cavitation

## *Abies alba*

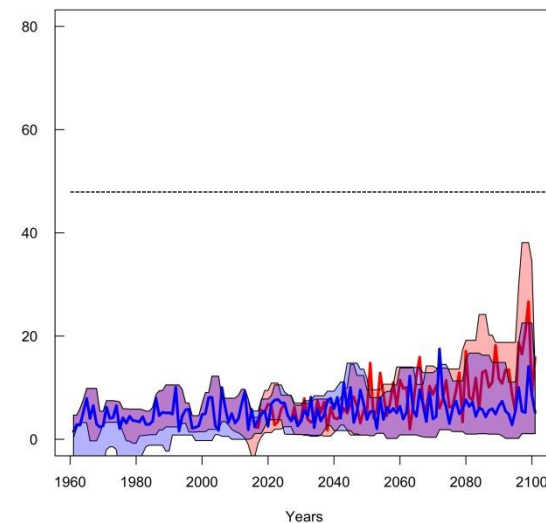


RCP 8.5  
RCP4.5

### Témoin (LAI=5)



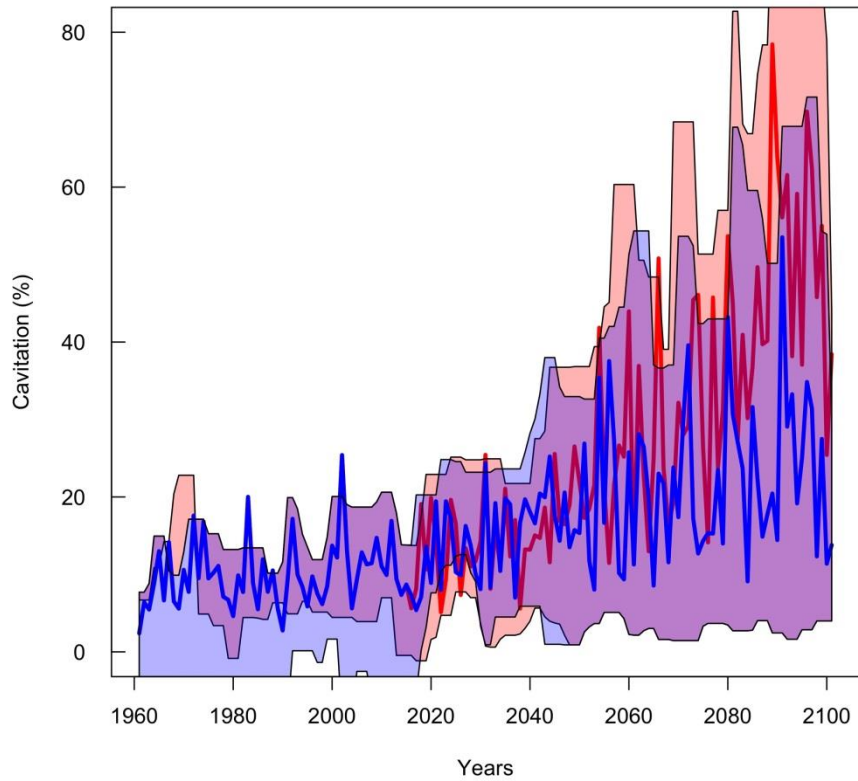
### Éclaircie (LAI=3)



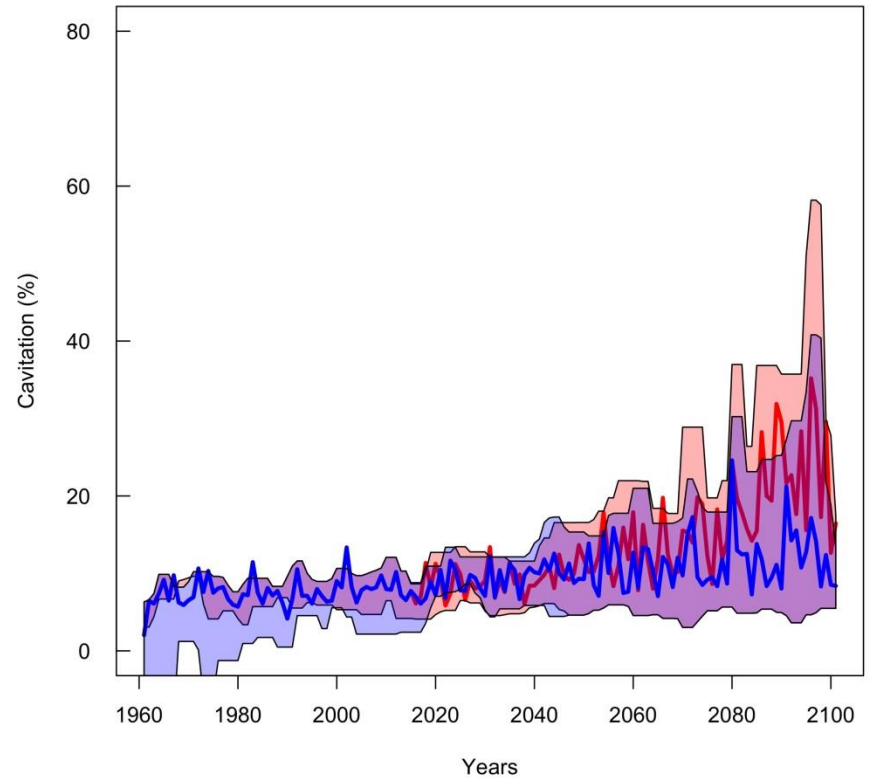


# Picausselle substitution du Sapin par du cèdre pour maintenir un LAI fort (5) et réduire le risque de cavitation

## Sapin à Picausselle (LAI=5)



## Même climat Substitution par le cèdre (LAI=5)





# Conclusions

- ❖ Des différences marquées selon les critères :
  - ✓ Sanitaires : pas de relation simple et évidente, des causes multiples, synergie (hypothèse *Sphaeropsis* pour cèdre?)
  - ✓ Croissance : effet temporaire des densités très contrastées
  - ✓ Variables écophysiologicals : sensibles à des différences de densités plus faibles et effets plus durables, malgré le développement du sous-bois
- ❖ Modèles de fonctionnement : sensibilité aux LAI et réserve utile du sol dont l'estimation reste difficile et imprécise selon les cas.

# REDSURF: valorisation

- ❖ Un référentiel :

"Fonctionnement des arbres forestiers face au changement climatique : connaissances, indicateurs, modèles".

- ❖ Objectif :

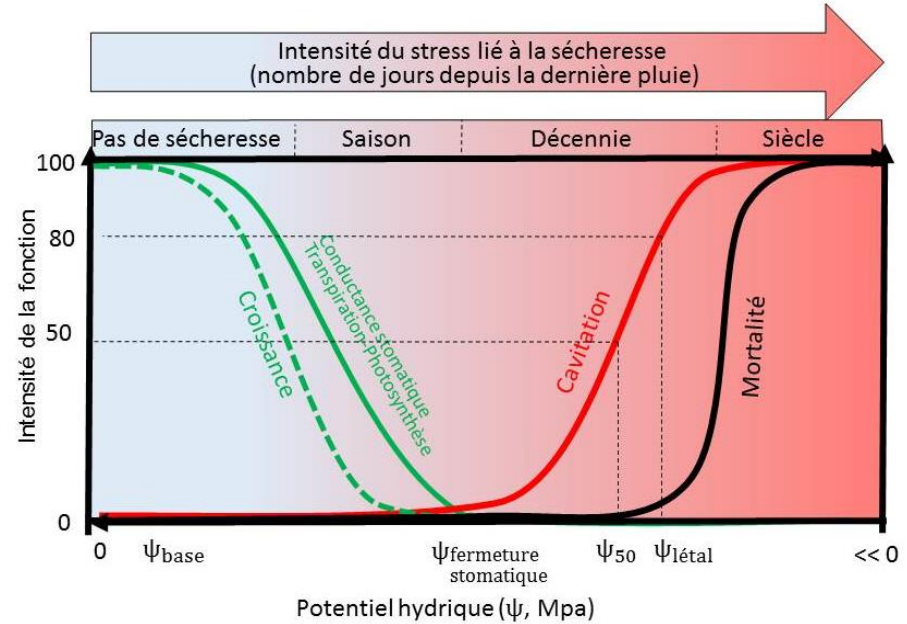
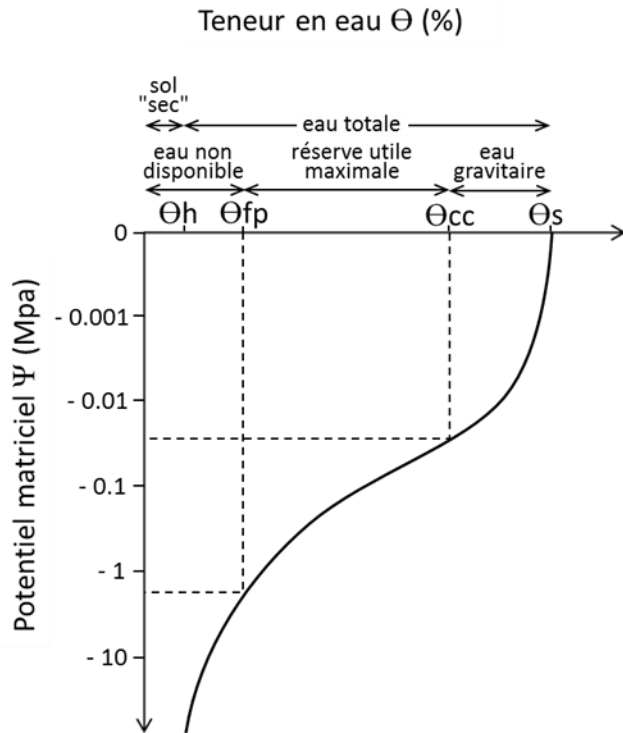
Partager une base commune de connaissances, notions et modèles de fonctionnement, pour faciliter l'accès aux résultats de la recherche et le dialogue entre chercheurs et praticiens sur le fonctionnement des arbres et des peuplements forestiers...

# REDSURF: valorisation

❖ ...en :

- ✓ explicitant et montrant l'intérêt des indicateurs écophysiologicals, directs et indirects, usuellement mesurés et analysés par les chercheurs du domaine (potentiels hydriques, transpiration, conductance stomatique, cavitation, efficacité pour l'eau, croissance, anatomie...);
- ✓ replaçant ces indicateurs dans le corpus de connaissances sur le fonctionnement du système sol-arbre-atmosphère et ses réactions en cas de sécheresse;
- ✓ présentant l'intérêt et les limites des modèles de fonctionnement ainsi que les principaux modèles de fonctionnement disponibles en France.

# Référentiel (extrait)



Effet de la sécheresse sur le sol (gauche) et sur les arbres (droite)

# Acteurs du projet

- ❖ ONF-Pôle RDI (Jean Ladier, Isabelle Dottarelli, Charles Tessier)
- ❖ INRA-URFM (Jean-Marie Ciappara, Florence Courdier, Nicolas Mariotte, Arnaud Jouineau, Guillaume Simioni, Nicolas Martin St-Paul, Pierre-Jean Dumas, Olivier Ambrosio, William Brunetto, François Courbet, Olivier Marloie, Icham Jouineau, Hélène Fargeon)
- ❖ INRA-EMMAH (Claude Doussan, Simon Carrière, Arnaud Chapelet)
- ❖ INRA-PIAF (Éric Badel, Hervé Cochard)
- ❖ INRA-UEFM (Olivier Gilg)
- ❖ CEFÉ-CNRS (Jean-Marc Limousin)
- ❖ CNPF/IDF (Jacques Becquey)
- ❖ + comité de rédaction/lecture du référentiel