

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

François COURBET (INRA-URFM), Nicolas MARTIN-St PAUL (INRA-URFM) et Jean LADIER (ONF) en collaboration avec Guillaume SIMIONI (INRA-URFM) et Claude DOUSSAN (INRA-EMMAH)

Le projet REDSURF avait pour objectif de faire progresser les connaissances sur l'effet des interventions sylvicoles sur l'adaptation des peuplements forestiers au changement climatique.

Méthodes:

Deux espèces ont été étudiées : le Sapin pectiné (Aude), et le Cèdre de l'Atlas (Gard).

Deux dispositifs expérimentaux, un par espèce, ont servi à détecter les effets des interventions sylvicoles sur la tolérance à la sécheresse via l'état sanitaire, la croissance en diamètre et des caractéristiques de comportement écophysiologique. L'environnement (sol, + sous-sol par des mesures de conductivité électrique, climat) et le développement de la végétation (sous-bois et peuplement) ont été caractérisés.

Parallèlement, des modèles de bilan hydrique et de fonctionnement (BILJOU© et Sureau) ont été utilisés pour évaluer la sensibilité au stress des arbres et des peuplements en fonction de l'intensité d'éclaircie. Les incertitudes sur la surface foliaire et la réserve utile du sol, auxquelles les modèles sont sensibles, restent fortes.

Résultats:

Les mesures de résistivité électrique du substrat montrent que les cèdres prélèvent de l'eau bien au-delà de la couche de sol, jusqu'à 5 m.

Dans le sapin l'éclaircie n'a pas eu un effet positif sur l'évolution du déficit foliaire. Les nécroses cambiales notées sur cèdres sont apparues

préférentiellement les années à bilan hydrique plus favorable et sur les zones les plus conductives.

Un modèle à effets mixtes a été utilisé pour modéliser l'effet de différentes variables, dont l'interaction entre densité et climat (ou composante annuelle) sur les accroissements annuels en surface terrière mesurés des cèdres. Pendant 5 ans après l'éclaircie on constate un effet positif de l'éclaircie sur la relation croissance-climat, significatif entre densités extrêmes (10 et 40 m²/ha). Cet effet s'estompe ensuite.

Les mesures de potentiel hydrique foliaire (un indice du stress hydrique) en 2017 montrent que les cèdres des parcelles éclaircies subissent moins de stress hydrique encore 25 ans après éclaircie, malgré le développement du sous-bois. Nous avons aussi trouvé une modeste acclimatation de la résistance à la sécheresse des cèdres dans la parcelle à forte densité (1200 arbres/ha), par rapport aux parcelles fortement éclaircies (400 arbres/ha).

Les simulations réalisées sur la période 1995-2015 montrent que les éclaircies réduisent le stress hydrique et le risque de défaillance hydraulique (pouvant mener au dépérissement), particulièrement dans le dispositif cèdre.

En 2017, Sureau reproduit bien la différence de potentiel hydrique, entre les traitements après éclaircie 1200 et 400 cèdres/ha.

En outre, les simulations (1960-2100) suggèrent que sous changement climatique, en l'absence d'éclaircie, les arbres pourraient subir des taux de cavitation d'autant plus importants que le changement est plus sévère. Éclaircir réduirait fortement le risque de cavitation.

La rédaction d'un référentiel pédagogique, présentant les principaux indicateurs écophysiologiques et modèles de fonctionnement couramment utilisés, est en cours de rédaction.

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)

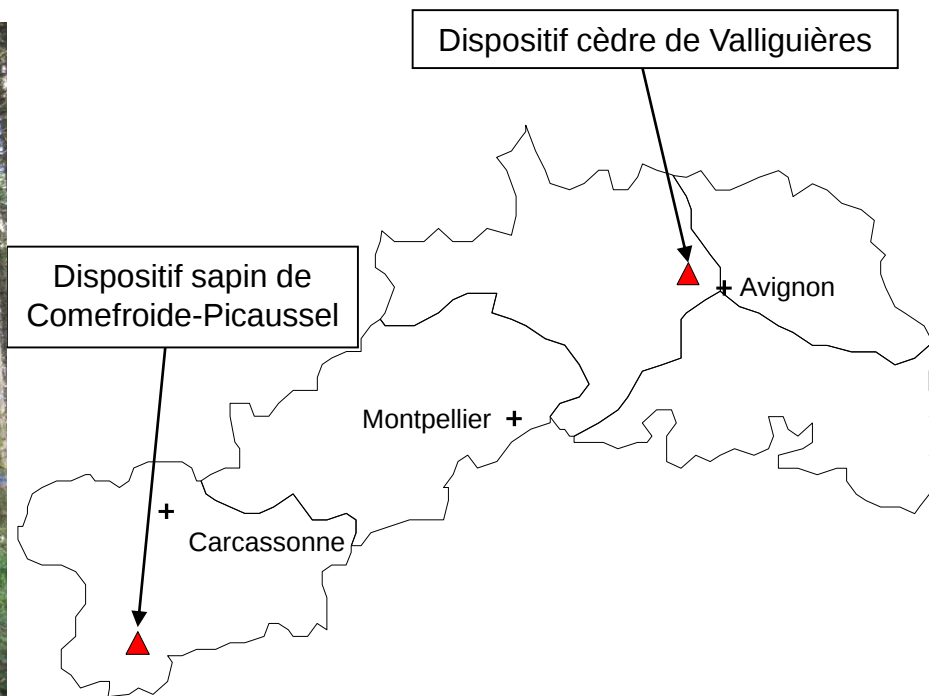


CONTEXTE, OBJECTIFS & MÉTHODES

- ❖ 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



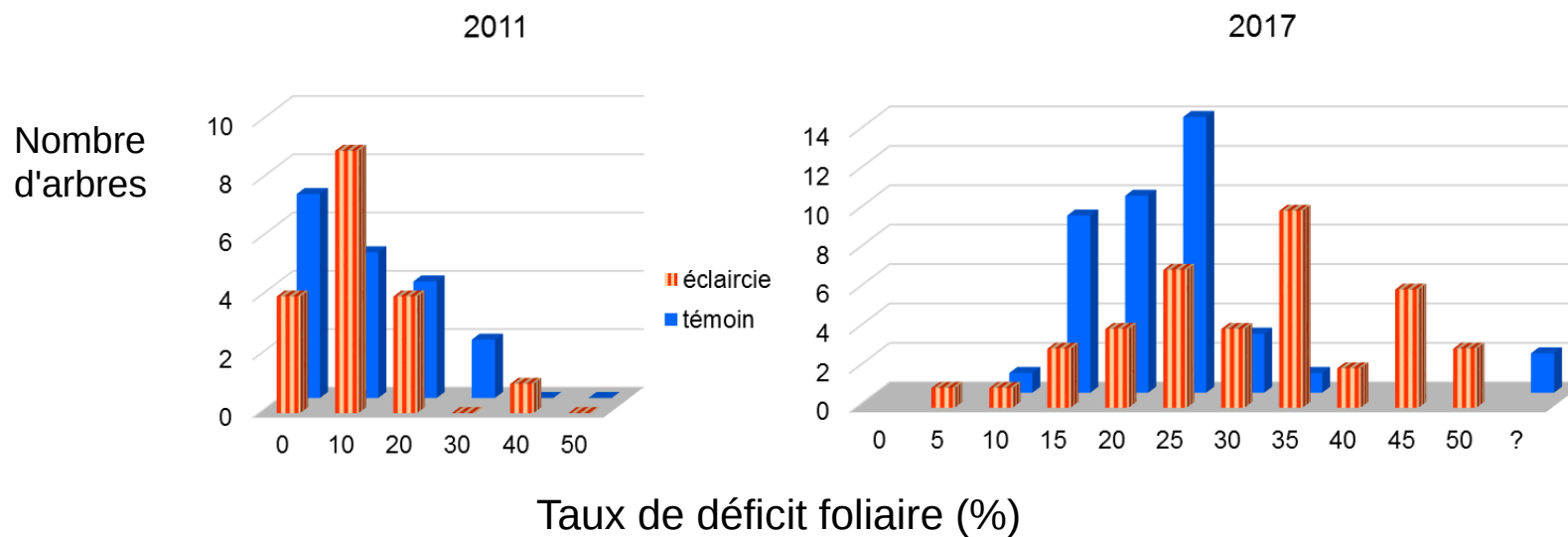
Approche expérimentale : les données

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 %)



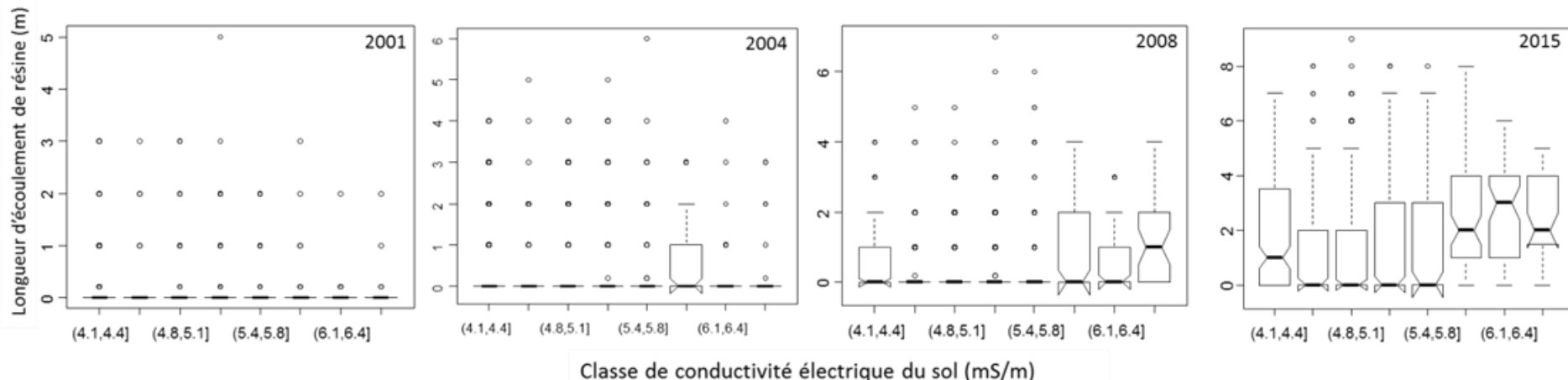
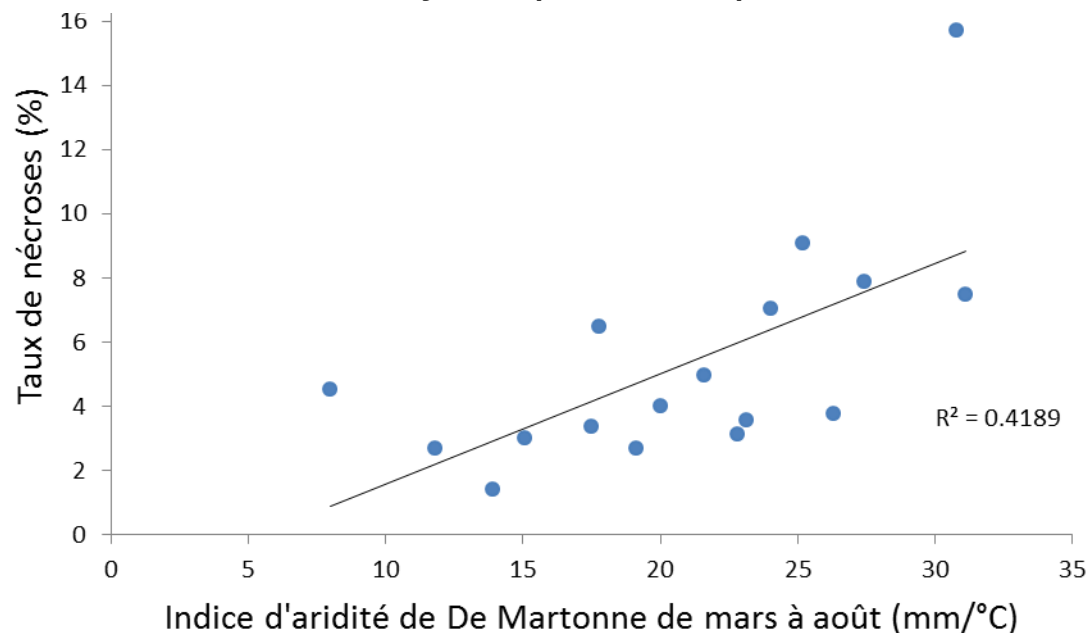
Résultats: état sanitaire

Nécroses cambiales cèdres : symptômes



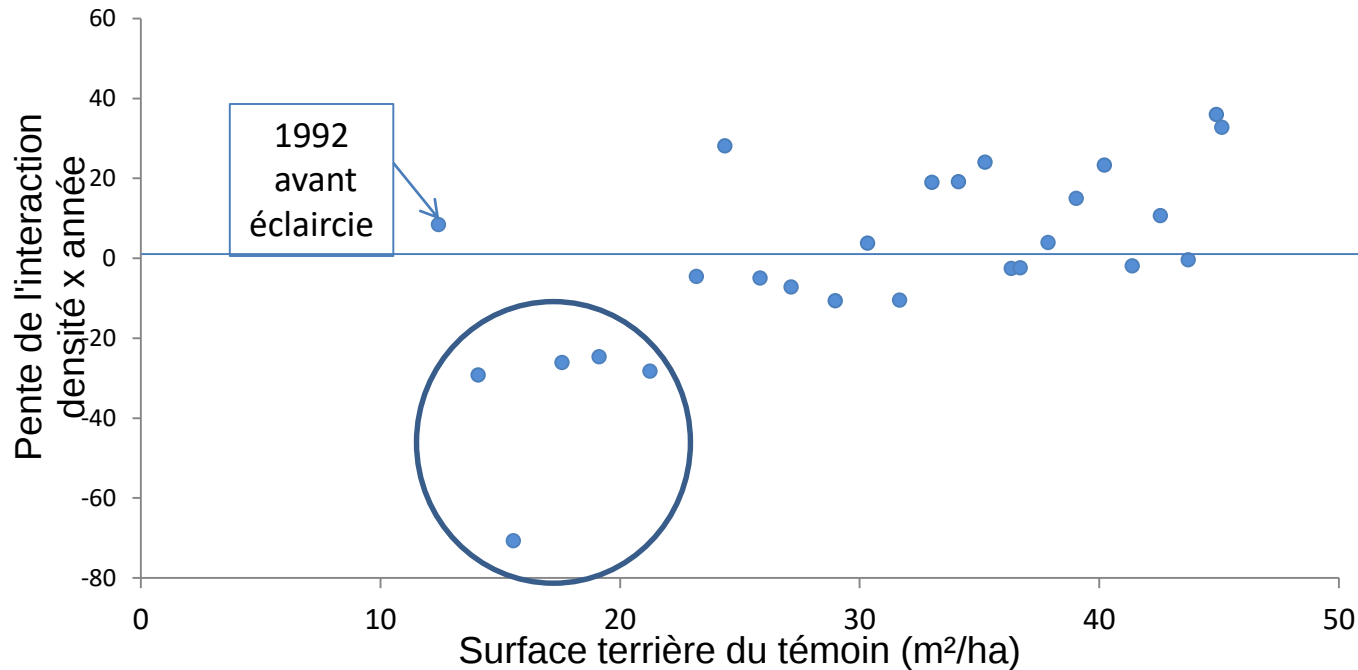
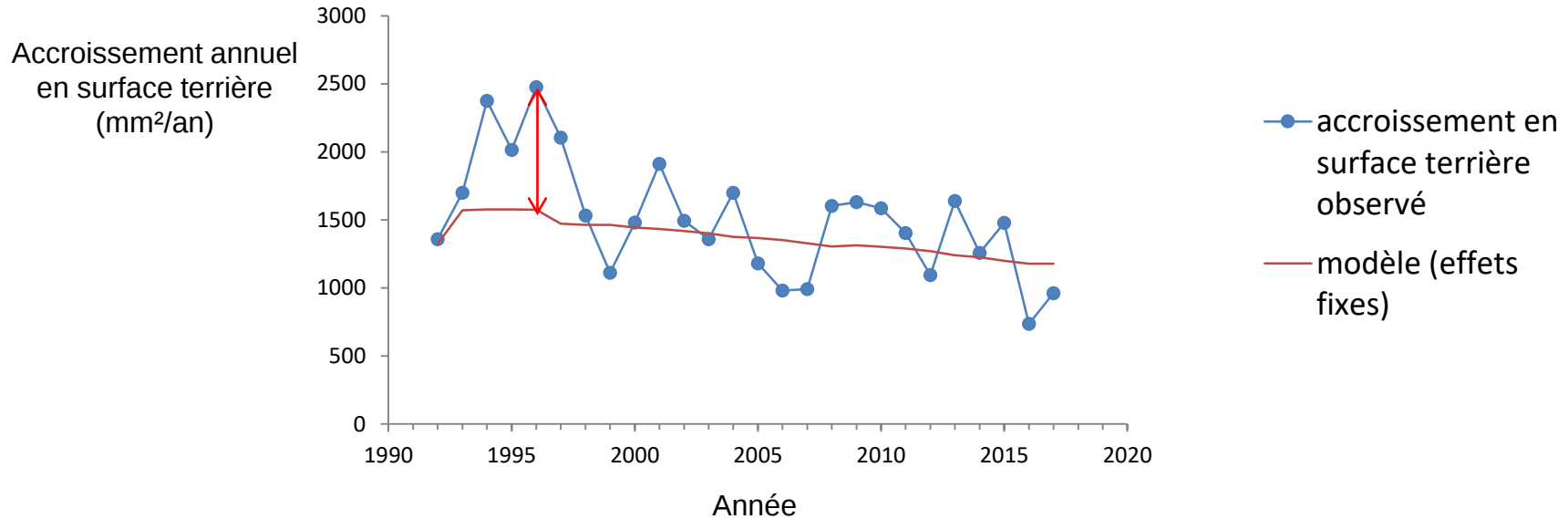
Résultats: état sanitaire

Nécroses cambiales cèdres : analyse spatio-temporelle



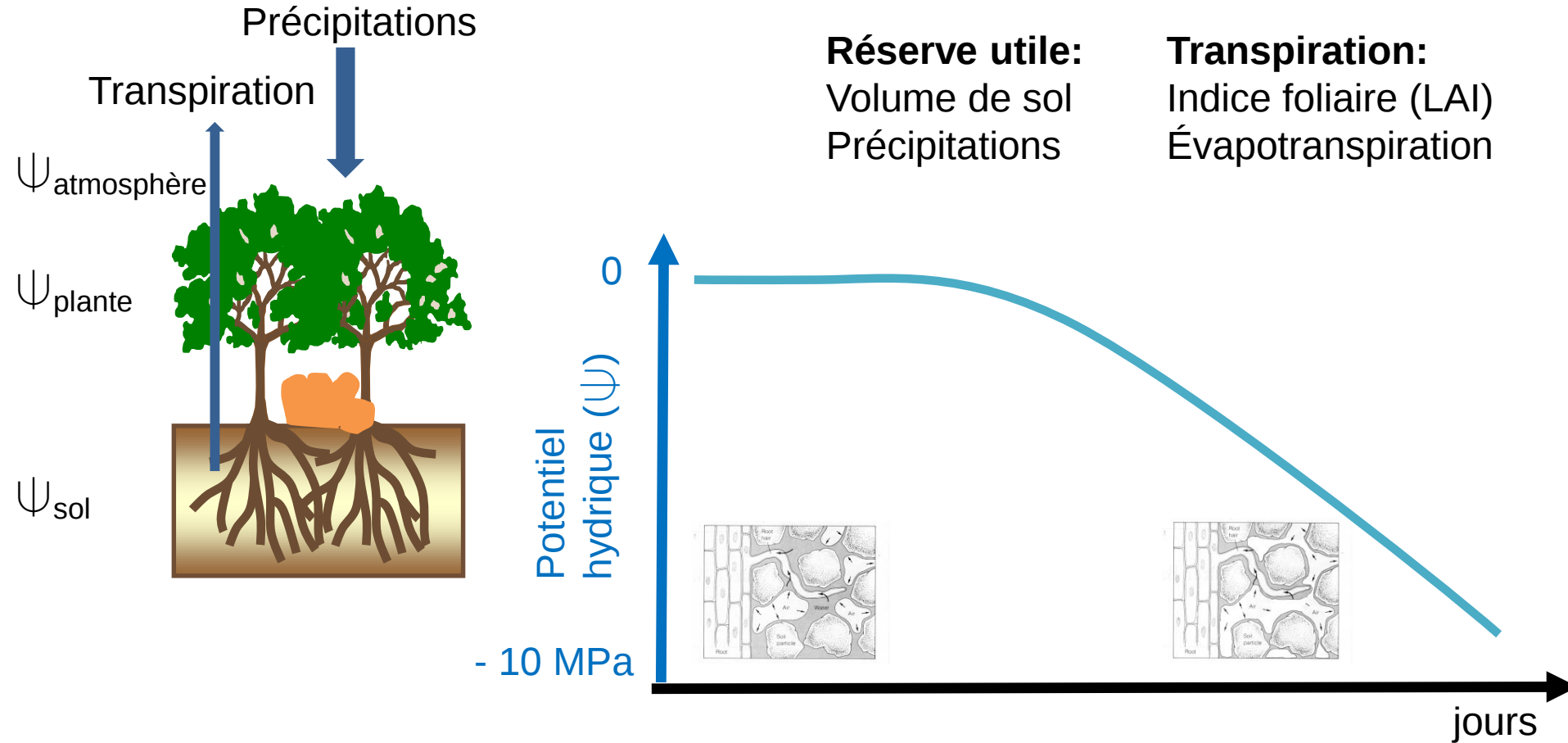
Intensité des nécroses représentée par la longueur d'écoulement de résine le long du tronc de 2001 à 2015 en fonction de la conductivité locale du sol sur lequel a poussé l'arbre.

Résultats: croissance



Approche fonctionnelle : bilan et stress hydriques

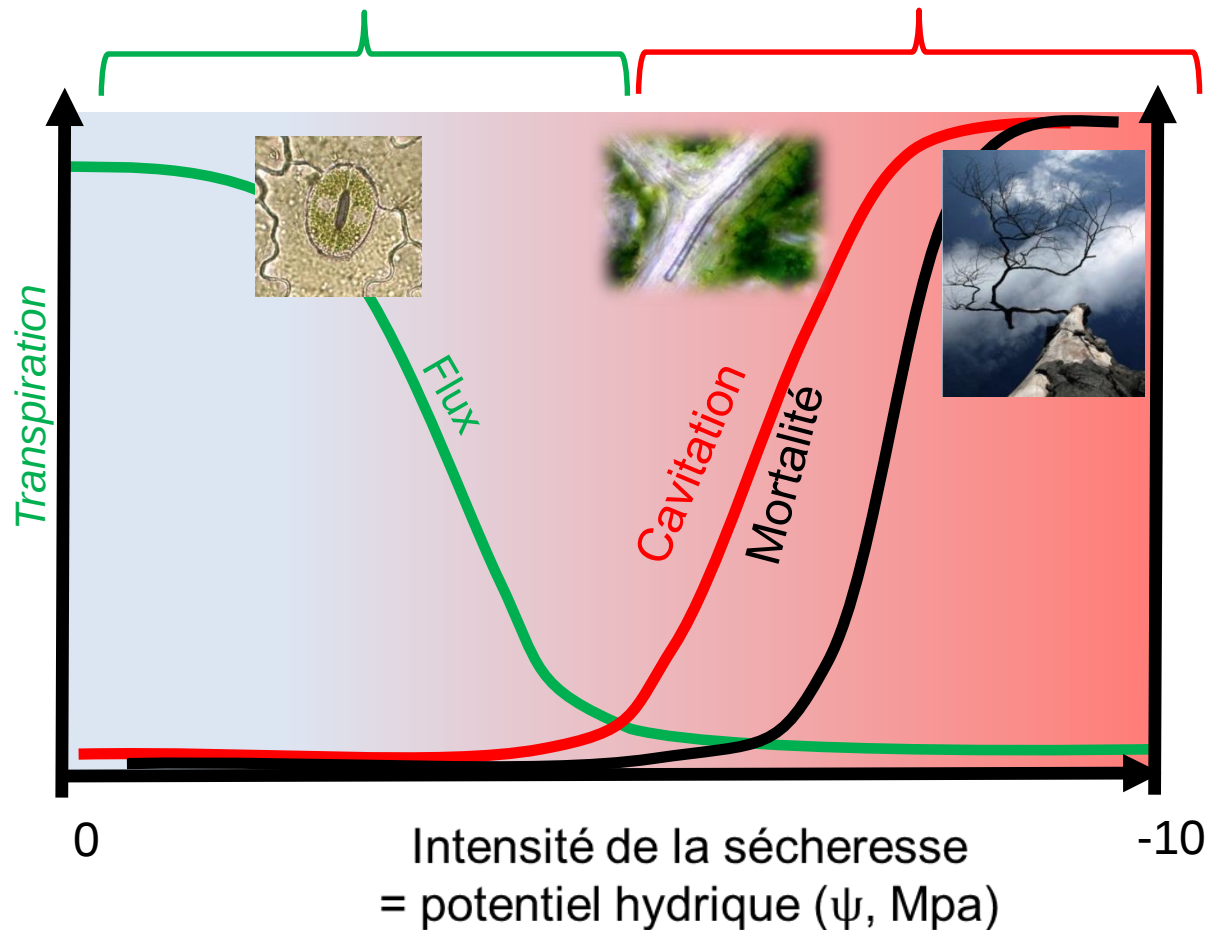
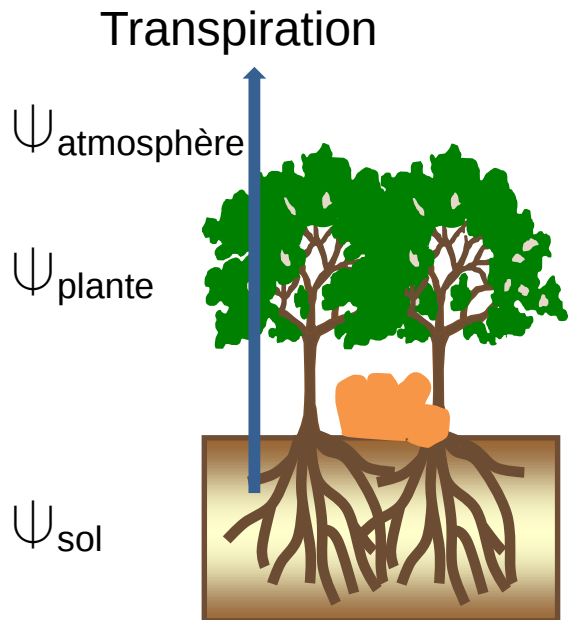
$$\text{Bilan hydrique} = \text{OFFRE} - \text{DEMANDE}$$



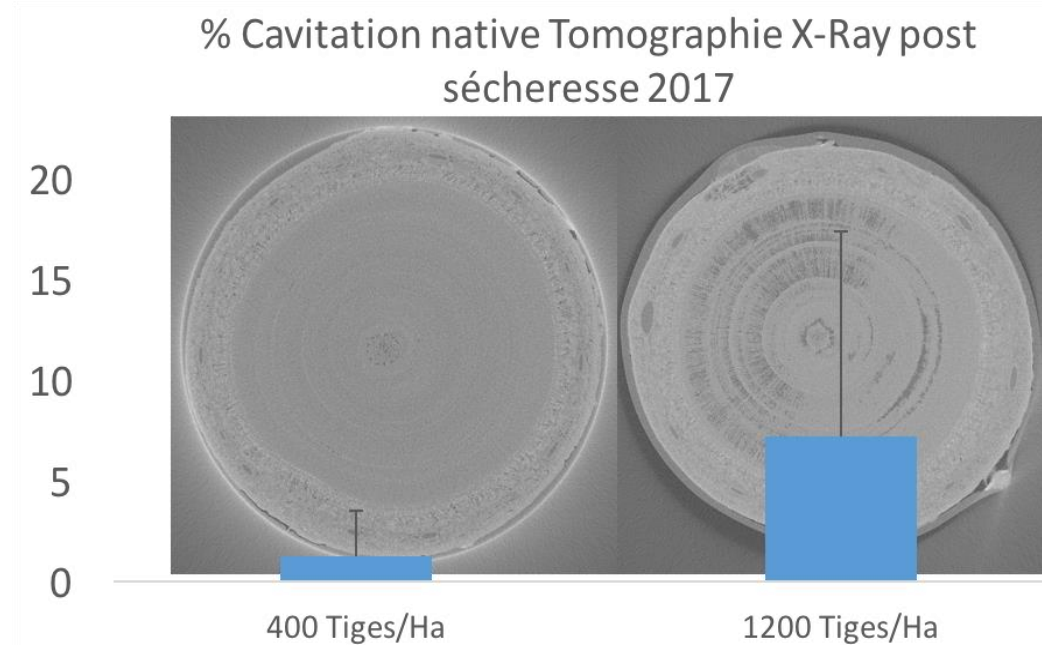
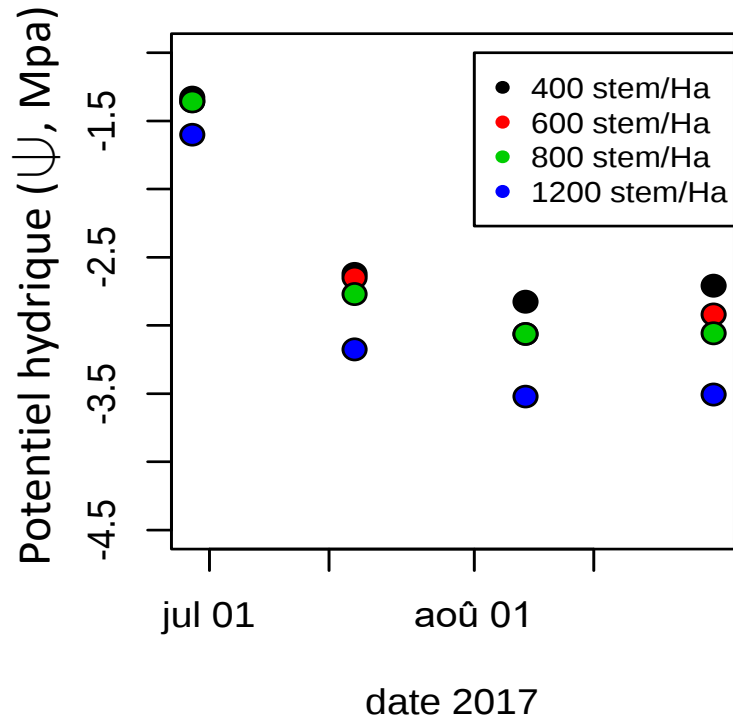
Approche fonctionnelle : bilan et stress hydriques

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*



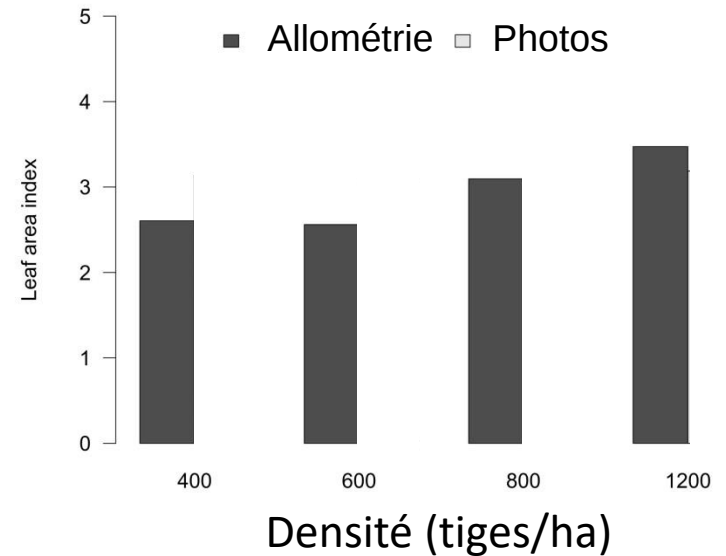
Effet bénéfiques des éclaircies sur le potentiel hydrique et la cavitation 20 après l'intervention

Variables impliquées dans le bilan hydrique

Indicateurs de l'indice foliaire mesure 2017



LAI cèdres
(m²/m²)



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 :

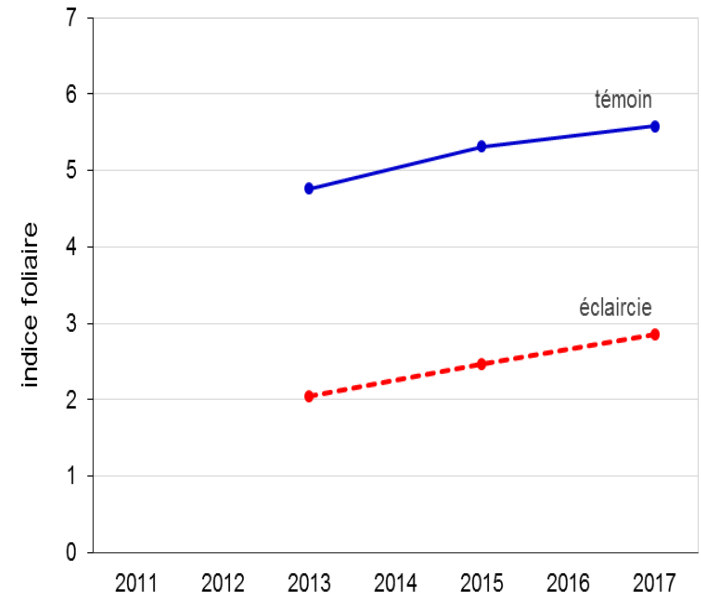
- (1) Exploitation différente de l'eau entre le sous bois et le cèdre (e.g. profondeur)
- (2) Différence d'agrégation spatiale du couvert → différents niveaux de transpiration

Variables impliquées dans le bilan hydrique : *Abies alba*

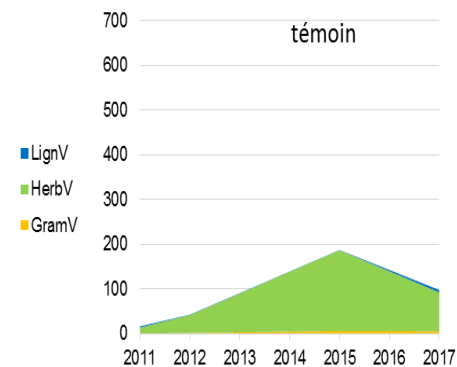
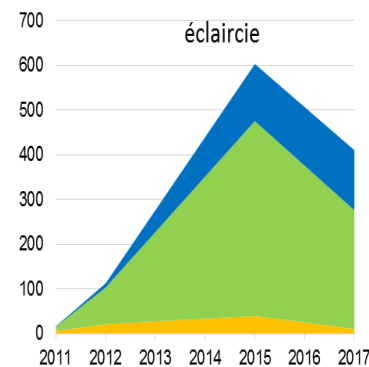
LAI, climat et RU (fosse pédologique)
mesurés en 2017



LAI *Abies alba*
(LAI 2000)



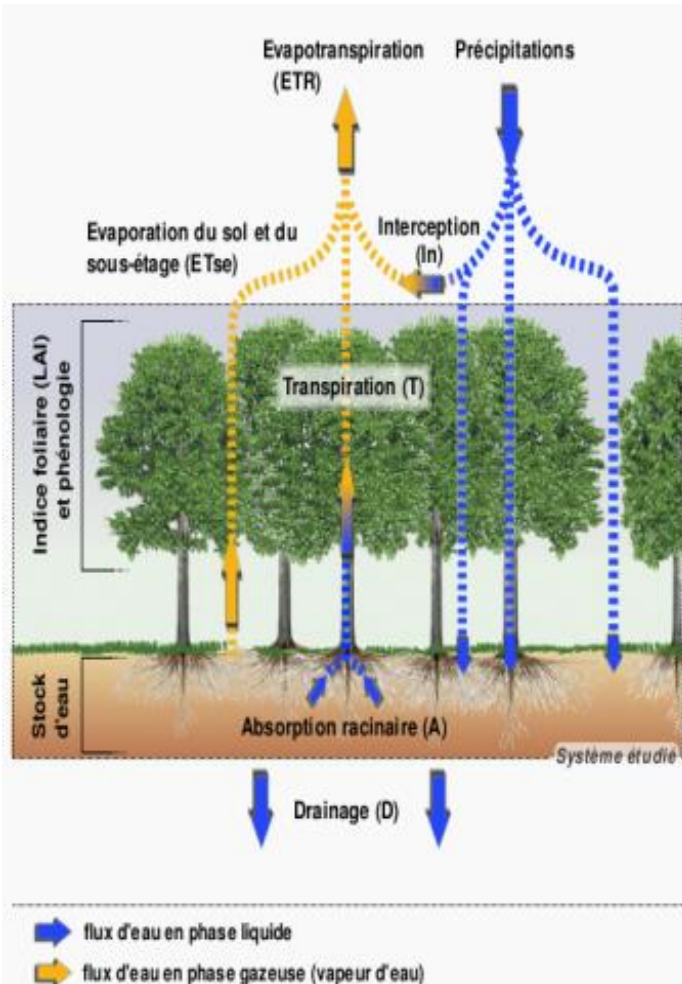
Taux de
recouvrement
sous bois (%)



(pas de données de potentiel hydrique ici)

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

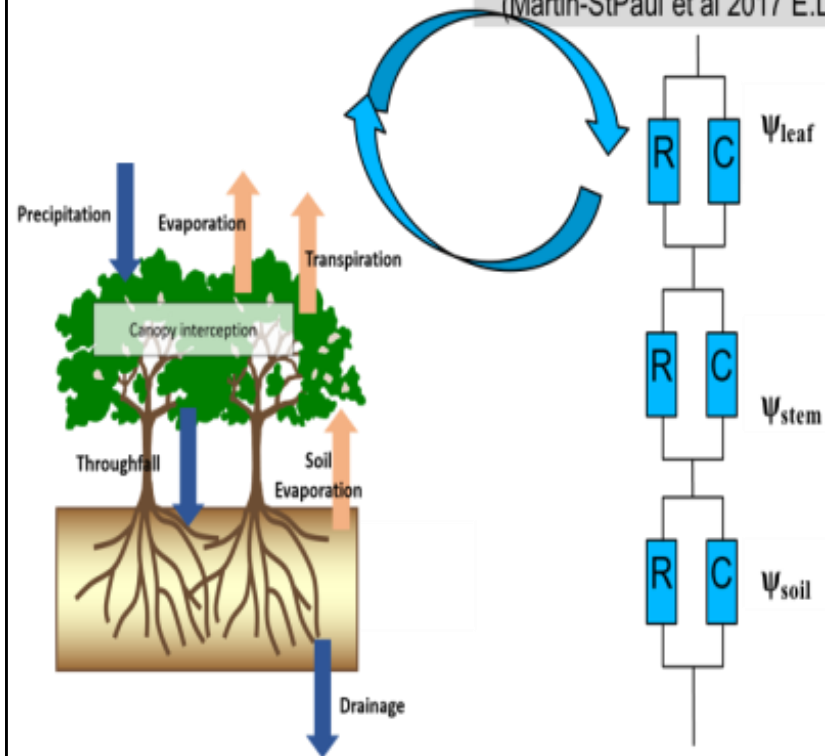
BILJOU® (A. Granier)



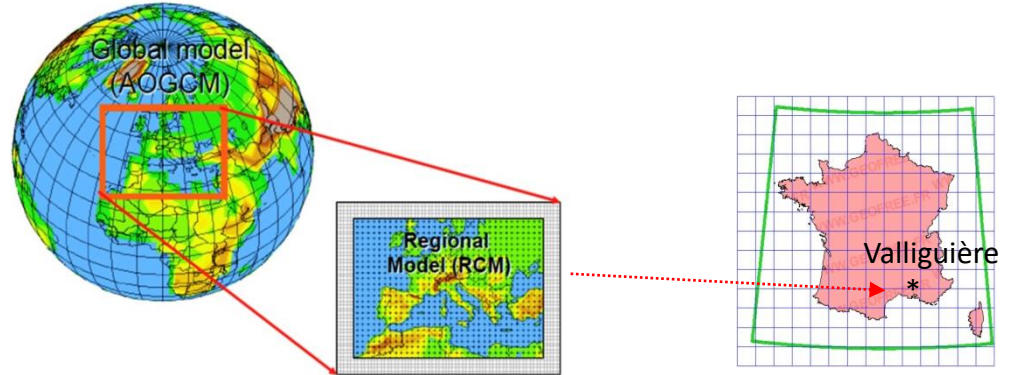
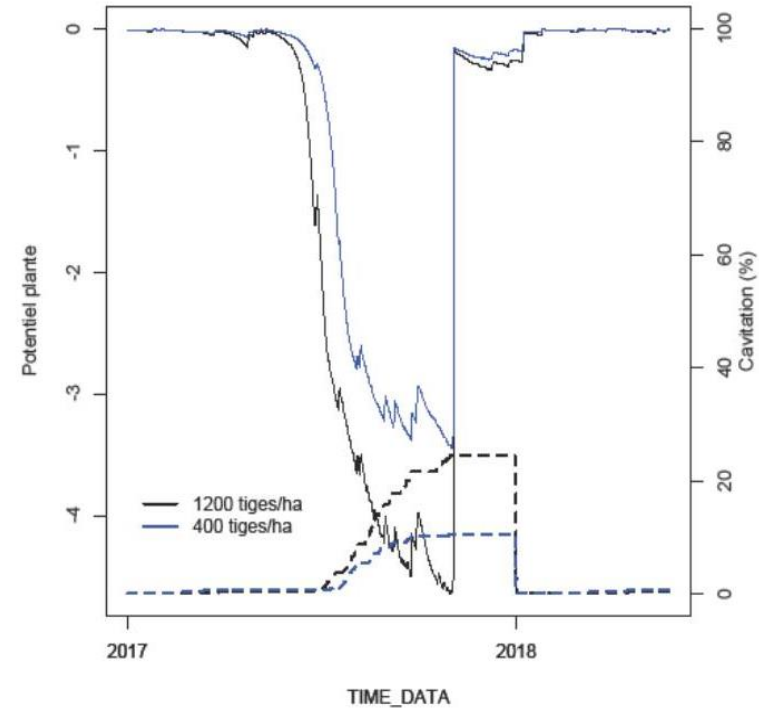
SUREAU (H. Cochard)

Water balance model
(Ruffault et al 2013 Clim. Chan)

Plant hydraulic model:
SUREAU
(Martin-StPaul et al 2017 E.L.)



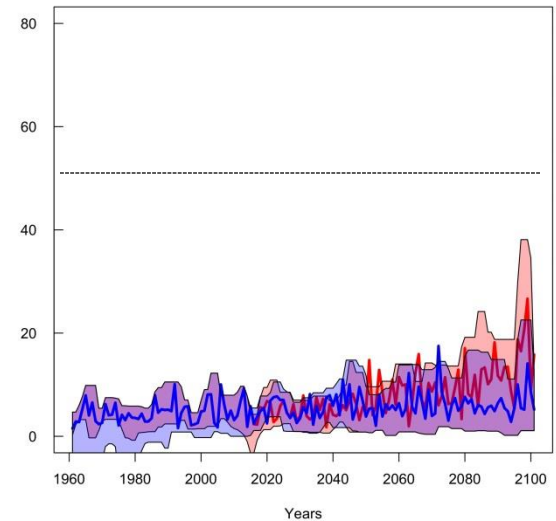
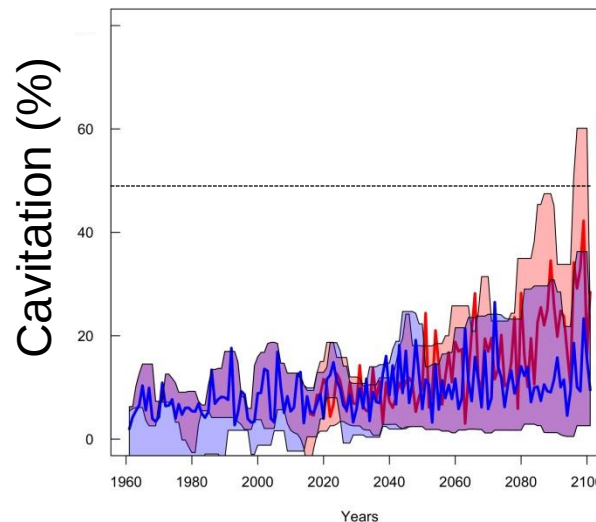
Modélisation du bilan hydrique et de la cavitation *Cedrus atlantica*



RCP 8.5
RCP4.5

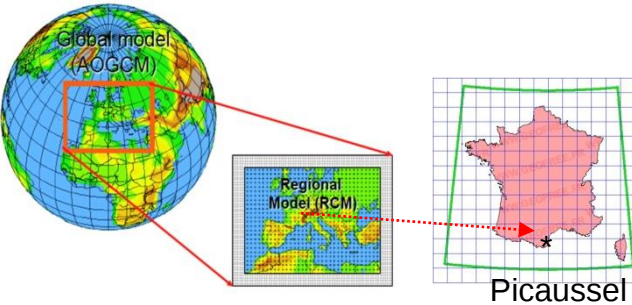
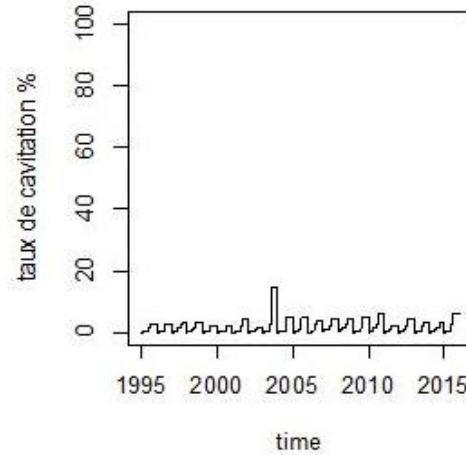
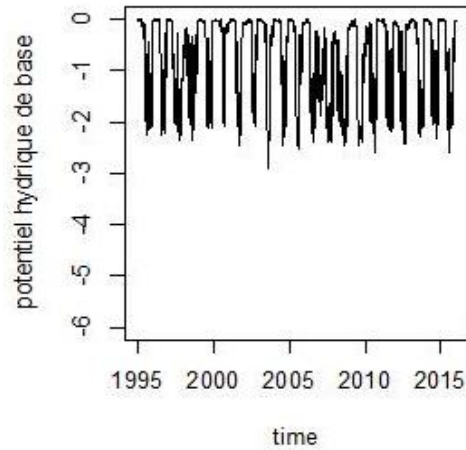
Témoin (LAI=3)

Éclaircie (LAI=2.4)



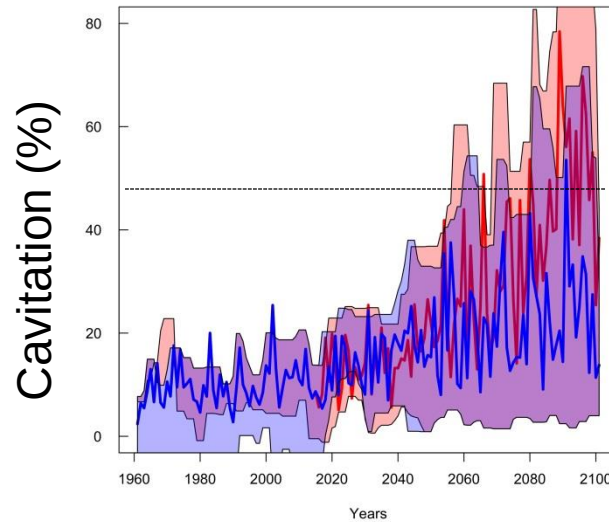
Modélisation du bilan hydrique et de la cavitation

Abies alba

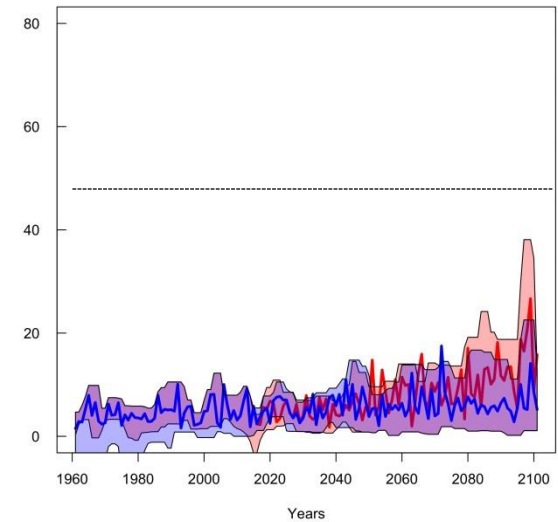


RCP 8.5
RCP4.5

Témoin (LAI=5)

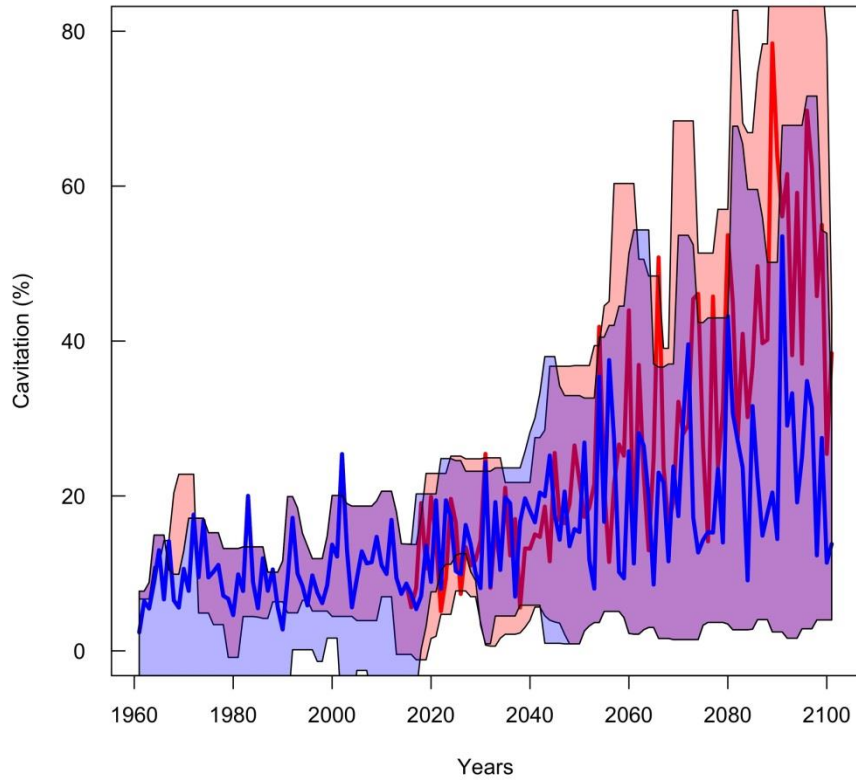


Éclaircie (LAI=3)

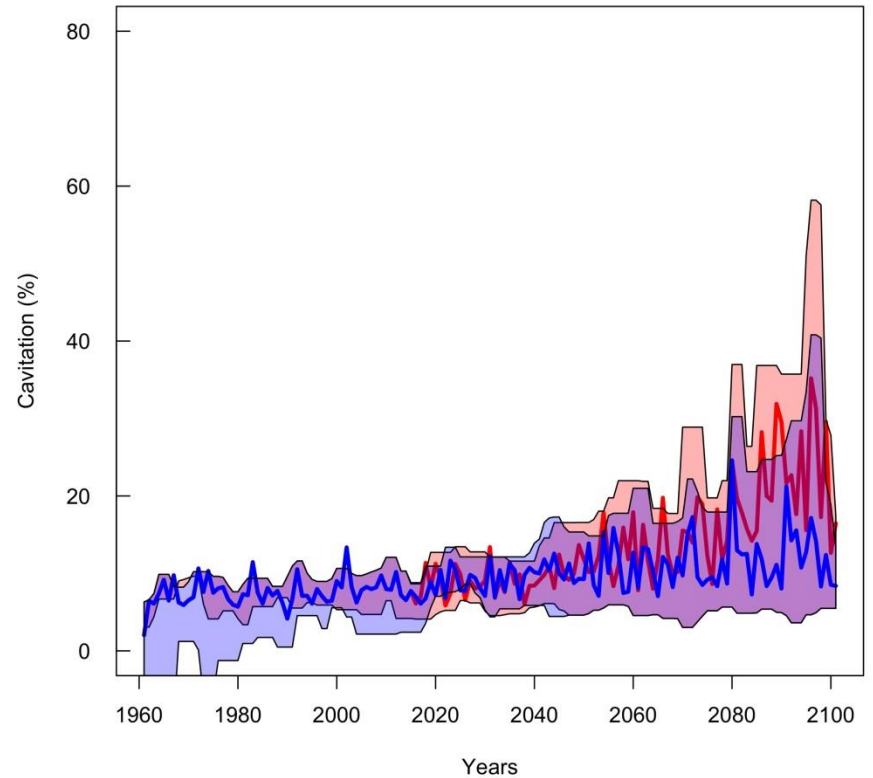


Picausselle substitution du Sapin par du cèdre pour maintenir un LAI fort (5) et réduire le risque de cavitation

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 écophysiologiques : 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 :

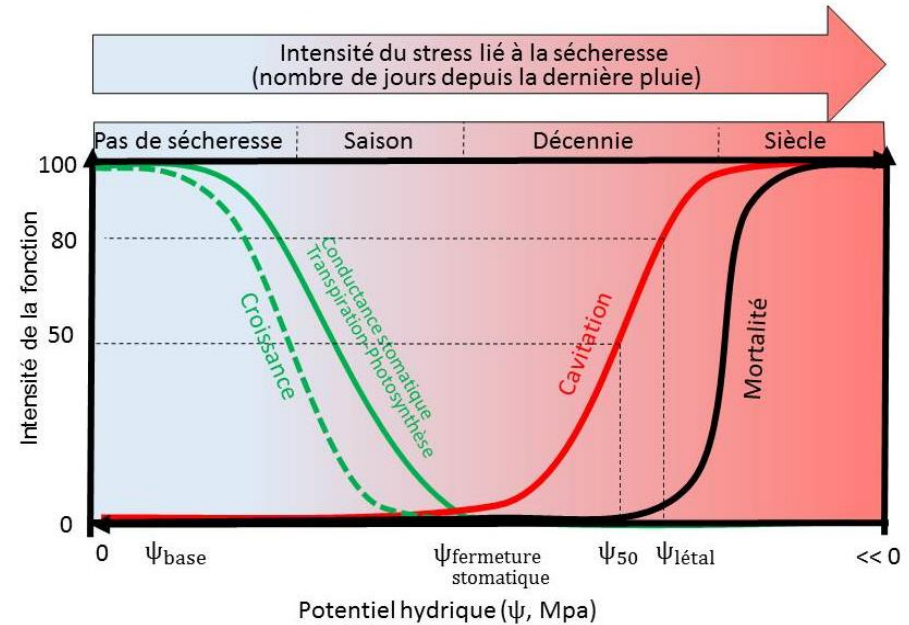
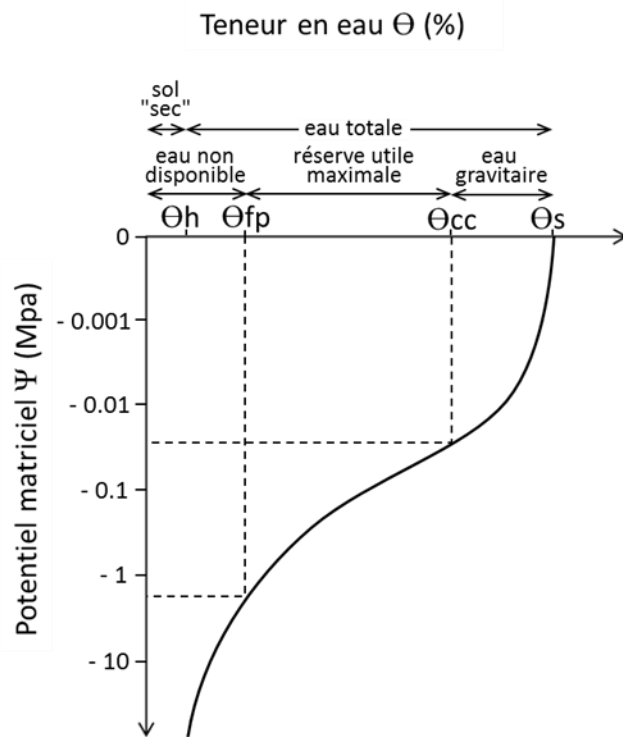
Partager une base commune de connaissances, notions et modèles de fonctionnement, pour faciliter l'accès aux résultats de la recherche et le dialogue entre chercheurs et praticiens sur le fonctionnement des arbres et des peuplements forestiers...

REDSURF: valorisation

❖ ...en :

- ✓ explicitant et montrant l'intérêt des indicateurs écophysiologiques, directs et indirects, usuellement mesurés et analysés par les chercheurs du domaine (potentiels hydriques, transpiration, conductance stomatique, cavitation, efficience 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