

Agir sur la sensibilité à la sécheresse par la sylviculture

par François Courbet, Nicolas Martin-StPaul, Guillaume Simioni, Claude Doussan, INRA Avignon, Jean Ladier, Pôle RDI ONF Avignon et Éric Badel, INRA Université de Clermont Auvergne

Faut-il réduire la surface foliaire de nos peuplements pour lutter contre les périodes accrues de sécheresse ? Examen de la réponse à l'éclaircie de l'état sanitaire, de la croissance sous dépendance climatique et de variables écophysiologicalues.

2017	REDSURF
Évaluation des effets d'une réduction de densité des peuplements et des effets d'un changement de répartition de la surface foliaire au sein d'une même parcelle après intervention sur la sensibilité des arbres à la sécheresse.	
François Courbet	INRA

Le changement climatique va entraîner une augmentation de la fréquence, de l'intensité et de la durée des périodes de stress hydrique pour une grande partie des forêts. Adapter la sylviculture des peuplements en place en réduisant leur consommation en eau devient donc un objectif de gestion. Dans le cadre du projet Redsurf, nous avons testé l'influence de la réduction de la surface foliaire sur la sensibilité et la vulnérabilité des arbres à la sécheresse en mesurant des indicateurs directs, indirects ou intégrés du fonctionnement des arbres : état sanitaire, croissance et variables écophysiologicalues.

Deux espèces, deux dispositifs

Ce travail a été réalisé sur deux espèces d'enjeu important :

- le **sapin pectiné**, espèce sensible à la sécheresse et menacée par endroits.
- le **cèdre de l'Atlas**, réputé plus résistant et

souvent mentionné comme espèce de substitution potentielle, notamment en remplacement du sapin pectiné à moyenne altitude, pour constituer des peuplements moins sensibles au changement climatique.

Pour chaque espèce, nous avons utilisé un dispositif expérimental sylvicole en situation exposée d'un point de vue climatique :

► le premier est situé dans une **sapinière adulte** du pays de Sault dans l'Aude (FD de Comefroide-Picaussel) datant de 1957. La pluviométrie moyenne est de 1150 mm/an. Une éclaircie qui a supprimé 50 % de la surface terrière en 2012 a été comparée à une modalité témoin sans intervention.

Y ont été mesurés :

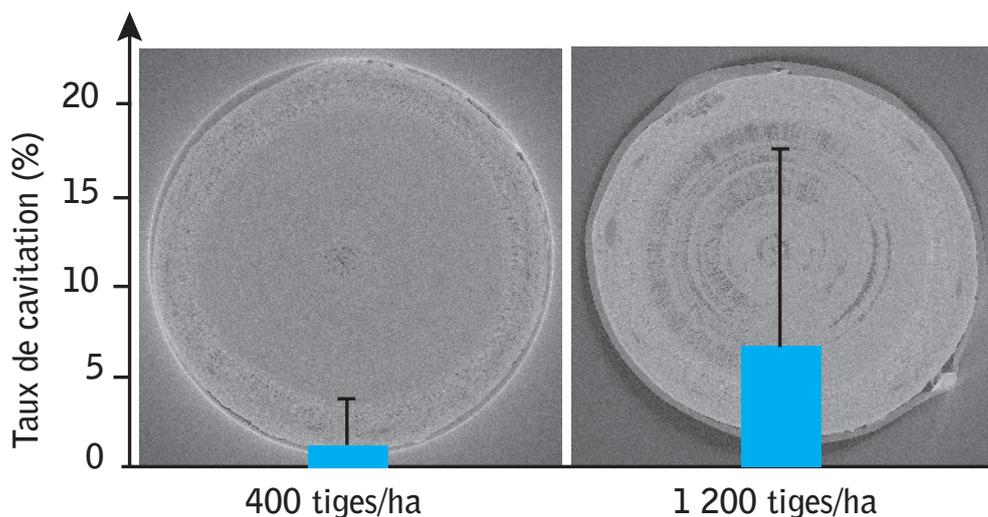
- le déficit foliaire des arbres objectifs,
- l'indice foliaire (LAI*) des arbres avec l'appareil de mesure « LAI2000 »,
- le LAI* du sous-bois par des relations phytovolume* - surface de feuilles,

Figure 1 - Aperçu du traitement de réduction de la surface foliaire le plus intensif



Dispositif de Valliguières (cèdre de l'Atlas) : peuplement éclairci à 400 tiges par hectare en 1992 et élagué à 6 m en 1996 ; en 1996 à gauche, en 2012 à droite.

Figure 2 - Taux de cavitation* plus faible dans le peuplement éclairci



Cavitation native mesurée par microtomographie aux rayons X (Cochard et al., 2015), sur 5 arbres de la parcelle éclaircie fortement et sur 5 arbres de la placette témoin après la sécheresse de 2017 : moyenne de la proportion de cavitation en bleu, écart-type en noir. Les images illustrent les coupes transversales de jeunes branches prélevées au cours de l'été 2017 observées par microtomographie à rayon X. Les vaisseaux embolisés apparaissent en gris foncé. Ils sont devenus incapables d'alimenter le feuillage en eau. Ces taux de cavitation restent toutefois suffisamment limités pour ne pas mettre en jeu la survie de l'arbre.*

* Cf embolie*

► le second a été installé en 1991 dans une **plantation de cèdres de l'Atlas** du Gard datant de 1967 (Forêt communale de Valliguières) à 250 m d'altitude. La pluviométrie moyenne est de 750 mm/an avec une saison sèche marquée. Une première éclaircie a eu lieu en 1992 conduisant à **4 densités** (1200, 800, 600 et 400 tiges par hectare), chacune étant combinée à 4 hauteurs d'élagage réalisé en 1992 et 1996.

Y ont été mesurés :

- les ressources en eau du sol,
- le LAI* du peuplement par photographie hémisphérique,
- la résistivité électrique* du sol (pour évaluer la répartition horizontale et verticale du prélèvement de l'eau par les arbres),
- le potentiel hydrique* foliaire,
- la présence de cavitation*,
- l'année d'apparition de nécroses cambiales et la mesure des accroissements annuels en surface terrière après l'abattage de 84 tiges.

Des estimations de bilan hydrique et de risque de cavitation ont été réalisées à partir des modèles Biljou©¹ et SurEau², dans les deux dispositifs sur la base de la description de la végétation, du sol et de scénarios climatiques afin d'estimer les conséquences du changement climatique.

Des résultats contrastés selon la variable considérée

On constate que l'effet des éclaircies est plus ou moins marqué et durable selon la variable mesurée sans oublier de remarquer que le lien de cause à effet entre le stress hydrique et la variable considérée est lui-même plus ou moins établi (*tableau 1*).

Dans le dispositif cèdre, les mesures de résistivité électrique du substrat montrent que les cèdres prélèvent de l'eau bien au-delà de la profondeur des fosses pédologiques, jusqu'à 5 m.

¹ Granier *et al.*, 1995, 1999 ; Bréda et Granier 2011.

² Martin St-Paul *et al.*, 2017.

Tableau 1 - Effets des éclaircies sur les variables mesurées dans les dispositifs expérimentaux.

Variable mesurée	Espèce	Lien de la variable avec le stress hydrique*	Effet des éclaircies sur la variable
Déficit foliaire*	sapin pectiné	lien avec le stress hydrique* fortement suspecté	Pas d'effet favorable
Écoulements de résine et nécroses cambiales	cèdre de l'Atlas	lien avec le stress hydrique* non établi (stress hydrique non déclenchant, éventuellement prédisposant)	Apparition favorisée par le développement du houppier 8-12 ans après traitement (effet défavorable de l'éclaircie, effet favorable de l'élagage d'autant plus que l'éclaircie est forte). Plus d'effet après 8-12 ans.
Part de la croissance annuelle dépendante du climat	cèdre de l'Atlas	en grande partie lié au stress hydrique*	Effet favorable pendant les 5 ans après l'éclaircie. Plus d'effet ensuite
Potentiel hydrique* de base	cèdre de l'Atlas	directement lié au stress hydrique*	Augmentation du potentiel hydrique (diminution du stress hydrique) encore 25 ans après éclaircie
Proportion de cavitation* dans le bois (<i>figure 2</i>)	cèdre de l'Atlas	directement lié au stress hydrique*	Réduction du taux de cavitation encore 25 ans après éclaircie

³ Bertin *et al.*, 2016.

⁴ Le LAI du sous-bois n'a pas été mesuré pour le cèdre

Dans le même dispositif, les causes de l'apparition de canaux résinifères traumatiques, qui évoluent parfois vers des écoulements de résine associés à des nécroses cambiales, n'ont pas pu être identifiées. L'hypothèse de l'intervention d'un agent pathogène sur des arbres affaiblis par la sécheresse reste à étudier.

Dans les deux dispositifs, l'éclaircie a favorisé le développement du sous-bois.

Le tableau 1 montre que l'éclaircie a des effets positifs sur 2 variables directement liées au stress hydrique.

Les effets positifs des éclaircies sur le statut hydrique des arbres sont aussi confirmés par les simulations **sous climat actuel** avec les modèles Biljou© et SurEau :

► Chez le sapin, l'éclaircie permettrait d'éviter à l'humidité du sol de passer sous 40 % de la réserve utile*, considéré comme seuil du stress hydrique³.

► Chez les deux espèces, l'effet de l'éclaircie est également favorable sur le potentiel hydrique et le risque de cavitation. Dans la sapinière⁴ le développement modéré du sous-bois (LAI=0,64 contre 0,29 dans le témoin) ne compense que partiellement la réduction de LAI du peuplement résultant de l'éclaircie.

Les simulations **sous différents scénarios de changement climatique** font état d'une augmentation du risque de cavitation, surtout chez les sapins où le taux de cavitation pourrait dépasser 50% (seuil de mortalité) dans la parcelle témoin pour les scénarios RCP4.5 (réduction des émissions de gaz à effet de serre) et RCP8.5 (prolongation des émissions actuelles). Ce risque serait fortement atténué par l'éclaircie chez les deux espèces.

► Ces modèles sont très sensibles au LAI et à la réserve utile, deux variables qui restent délicates à estimer avec précision *in situ*. ■

* **Cavitation** : rupture de la colonne d'eau contenue dans les vaisseaux conducteurs d'un arbre suite à une diminution de la disponibilité en eau. Cette rupture conduit à l'embolie* (développement d'une bulle de gaz, auparavant dissous dans le liquide) et, pour les vaisseaux atteints, à l'arrêt de la circulation de la sève.

* **Déficit foliaire** : estimation de la perte en feuillage des arbres, notée en pourcentage du feuillage d'un arbre de référence normal, de la même espèce et de la même taille.

* **Embolie** : voir cavitation*.

* **Indice foliaire (LAI)** : surface foliaire du peuplement divisée par la surface du sol occupée par le peuplement

* **Phytovolume** : volume occupé par la végétation au-dessus du sol (= recouvrement en surface x hauteur moyenne).

* **Potentiel hydrique** : défini comme l'opposé du travail qu'il faut fournir pour faire passer l'eau de l'état lié à l'état libre. Il est donc d'autant plus faible (plus grand en valeur absolue) que l'eau est fortement retenue dans le système considéré – feuille, branche, sol – et traduit un état de sécheresse plus important. La baisse du potentiel hydrique s'accompagne de l'exercice d'une tension de plus en plus forte sur les colonnes d'eau du végétal qui peuvent rompre brutalement : c'est la cavitation*.

* **Réserve utile** : quantité d'eau utilisable par les plantes, contenue dans l'épaisseur de sol accessible aux racines.

* **Résistivité électrique du sol** : mesure de la capacité du sol et d'une partie du sous-sol à s'opposer à la circulation du courant électrique. Est égale à l'inverse de la conductivité. Elle dépend de plusieurs facteurs et notamment de la teneur en eau du sol, de la charge en cailloux,...

* **Stress hydrique** : caractérise l'état d'une plante dont les ressources en eau du sol ne peuvent suffire à son fonctionnement optimal.

* **Potentiel hydrique** : est un indicateur de stress hydrique.

Remerciements : Nous remercions le RMT AFORCE pour son soutien.

Résumé

Le projet REDSURF traite de l'effet des interventions sylvicoles sur l'adaptation des peuplements forestiers au changement climatique. Deux dispositifs expérimentaux, un pour le sapin pectiné et un pour le cèdre de l'Atlas, ont servi à tester l'effet des éclaircies sur la réponse à la sécheresse d'indicateurs sanitaires, dendrométriques, fonctionnels et de simulations de bilan hydrique et de cavitation sous climat actuel et futur.

Mots-clés : changement climatique, éclaircie, stress hydrique, cavitation

Bibliographie

- Bertin S. & Perrier C. (coordination), Bertin S., Balandier P., Becquey J., Bonai D., Bréda N., Perrier C., Riou-Nivert P., Sevrin É. 2016. *Le bilan hydrique des peuplements forestiers. État des connaissances scientifiques et techniques. Implications pour la gestion*. RMT AFORCE. 190 p.
- Bréda N., Granier A. 2011. *Outils pour raisonner les calculs de flux d'eau et de bilan hydrique à l'échelle du peuplement*. Forêt-entreprise n° 196. p. 22-24.
- Cochard H., Delzon S., Badel E., 2015. *X-ray microtomography (micro-CT): a reference technology for high-resolution quantification of xylem embolism in trees*. Plant Cell Environment 38: 201-206.
- Granier A., Badeau V., Bréda N. 1995. *Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers*. Revue Forestière Française XLVII: 59-68.
- Granier A., Bréda N., Biron P., Villette S. 1999. *A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands*. Ecological Modelling 116, 269-283. Disponible sur: <https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/>
- Martin-StPaul N., Delzon S., Cochard H. 2017. *Plant resistance to drought depends on timely stomatal closure*. Ecology Letters 20: 1437-1447.