

■ RESUMÉ

Catégorie de l'appel d'offre : Appel à projets.
Coordination : Mme Ingrid SEYNAVE (INRAe UMR SILVA).
Durée : 29 mois (1 Juin 2023 - 31 Oct. 2025).
Partenaires du projet : GIS Coop, CNPF, FCBA, ONF, AgroParisTech.

THÉMATIQUES



■ CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET

Dans un contexte de changement climatique marqué par l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses, l'adaptation des peuplements forestiers monospécifiques constitue un enjeu majeur. La réduction de la densité par l'éclaircie est identifiée comme un levier central pour limiter la compétition pour l'eau et atténuer la sécheresse édaphique. Toutefois, les effets de successions d'éclaircies, correspondant à des itinéraires sylvicoles complets, restent peu documentés.

L'étude a consisté à quantifier la dynamique des réserves relatives en eau du sol à partir de mesures d'humidité in situ, à estimer le déficit hydrique à l'échelle du profil de sol à l'aide du modèle Biljou®, puis à analyser l'effet de la densité sur 3 indicateurs de sécheresse. Une attention particulière a été portée aux aspects méthodologiques (calibration des sondes, estimation des réservoirs utiles, paramétrage du modèle).

■ PRINCIPAUX LIVRABLES ET PUBLICS CIBLES

Catégorie	Livrable	Description	Publics cibles
Rapport final 	SEYNAVE I., 2025. Rapport technique du projet SylvEau. 81p.	Le rapport décrit la méthodologie mise en œuvre aussi bien pour le traitement des données mesurées que pour la mise en œuvre du modèle de bilan hydrique forestier Biljou®. Il présente les résultats obtenus sur les effets de la densité des peuplements sur 3 indicateurs de sécheresse écophysologiques qui caractérisent la période durant laquelle les arbres régulent significativement leur consommation en eau.	Agents de la R&D, Gestionnaires, Enseignants, Chercheurs.
Communication 	Présentation du projet SylvEau.	Cette communication a été faite lors du colloque du RMT AFORCE en mars 2025. Elle présente de manière succincte la démarche générale et les tous premiers résultats.	Agents de la R&D, Gestionnaires, Enseignants, Chercheurs.

PARTENAIRES DU PROJET

Dispositifs expérimentaux

Ce travail analyse l'effet d'itinéraires de densité de peuplement sur les caractéristiques des épisodes de sécheresse édaphique (début, durée et intensité), en combinant mesures in situ et modélisation.

Il s'appuie sur sept sites expérimentaux du GIS Coop (Fig. 1), couvrant trois espèces forestières à phénologie contrastée, une large gamme de contextes pédoclimatiques, cinq itinéraires de densité et un suivi sur sept années.

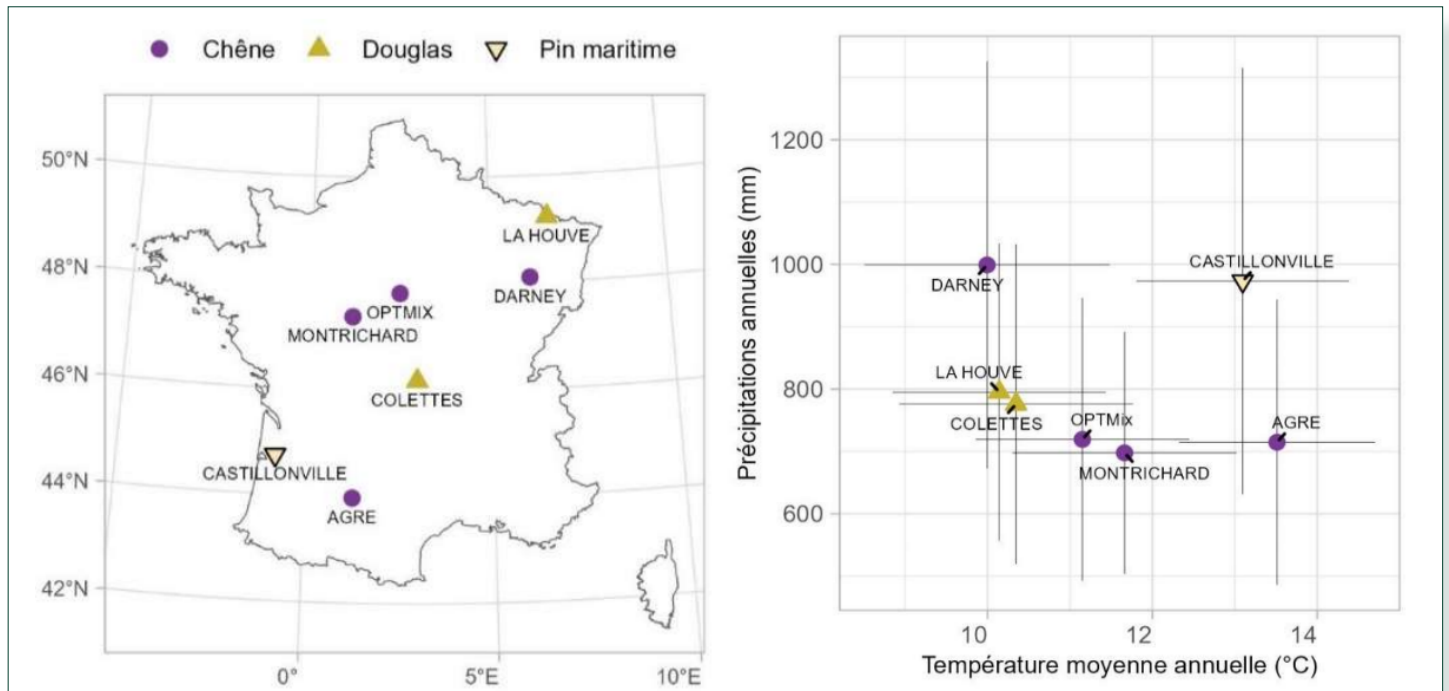


Figure 1 : localisation des sites expérimentaux. À droite, position des sites sur les gradients de température moyenne et de précipitations cumulées annuelles. Les points représentent les valeurs moyennes sur la période 1991-2020 issues du modèle safran et les traits verticaux et horizontaux la variabilité des valeurs annuelles.

Démarche

Quantifier l'évolution saisonnière et interannuelle des réserves relatives en eau du sol à partir des mesures in situ

Pour quantifier l'évolution saisonnière et interannuelle des réserves relatives en eau du sol (REW, Relative Extractable Water) à partir des mesures in situ, nous avons dans un premier temps converti le signal de nos sondes de mesure de l'humidité du sol en humidité volumique en utilisant les équations de calibration établies sur des échantillons de sols prélevés sur nos sites. Puis nous avons déterminé les teneurs en eau caractéristiques (à capacité au champ et au point de flétrissement permanent) pour passer d'une humidité volumique à une REW.

Quantifier le déficit hydrique à l'aide du modèle de bilan hydrique journalier Biljou©

Pour quantifier le déficit hydrique à l'aide du modèle de bilan hydrique journalier Biljou©, nous avons déterminé, pour chaque site, les paramètres d'entrée requis. Différentes méthodes d'estimation ont été mises en œuvre pour certains paramètres comme la date de débourrement, le réservoir en eau du sol, la distribution verticale des racines et les paramètres de drainage.

Analyser l'effet de la densité sur la disponibilité en eau du sol

Pour analyser l'effet de la densité sur le déficit hydrique, nous avons calculé à partir des courbes de REW mesurées et simulées trois indicateurs annuels de sécheresse : le début, la durée et l'intensité de la sécheresse. Il s'agit d'indicateurs écophysiologiques qui caractérisent la période durant laquelle la réserve en eau relative du sol est inférieure à 0,4, seuil en dessous duquel la conductance stomatique (ou conductance du couvert à l'échelle du peuplement) régule significativement la consommation en eau des arbres. Différentes méthodes statistiques ont ensuite été mises en œuvre pour tester l'effet de la densité sur ces indicateurs fortement dépendant de la météo et des conditions stationnelles.

■ RÉSULTATS

Les variations des indicateurs entre densités sont de second ordre par rapport aux variations entre années (météo) et entre sites (réservoir en eau x type fonctionnel). Néanmoins, l'effet de la densité est significatif.

Il apparaît que la durée et l'intensité de la sécheresse sont significativement diminuées en peuplement peu dense par rapport à un peuplement de densité moyenne. La durée de sécheresse est en moyenne diminuée d'une quinzaine de jours.

L'effet de la densité varie aussi selon l'importance de la sécheresse. Ainsi, pour la durée et l'intensité de la sécheresse, on observe une nette diminution de l'indicateur pour les placettes à faible densité par rapport aux placettes de densité moyenne, d'autant plus importante que la sécheresse est marquée. Pour les sécheresses les plus sévères, d'une durée d'environ 150 jours, la durée est diminuée de 50 jours (pour les indicateurs calculés sur le profil enraciné) à 25 jours (pour les indicateurs mesurés), soit une diminution de 30 à 25 %. Pour l'intensité de la sécheresse, la baisse est du même ordre de grandeur. Par contre, peu de différences sont observées entre densités moyenne et forte.

Les résultats obtenus à partir des données mesurées in situ et à partir des simulations faites avec Biljou© sont très similaires, ce qui renforce leur validité.

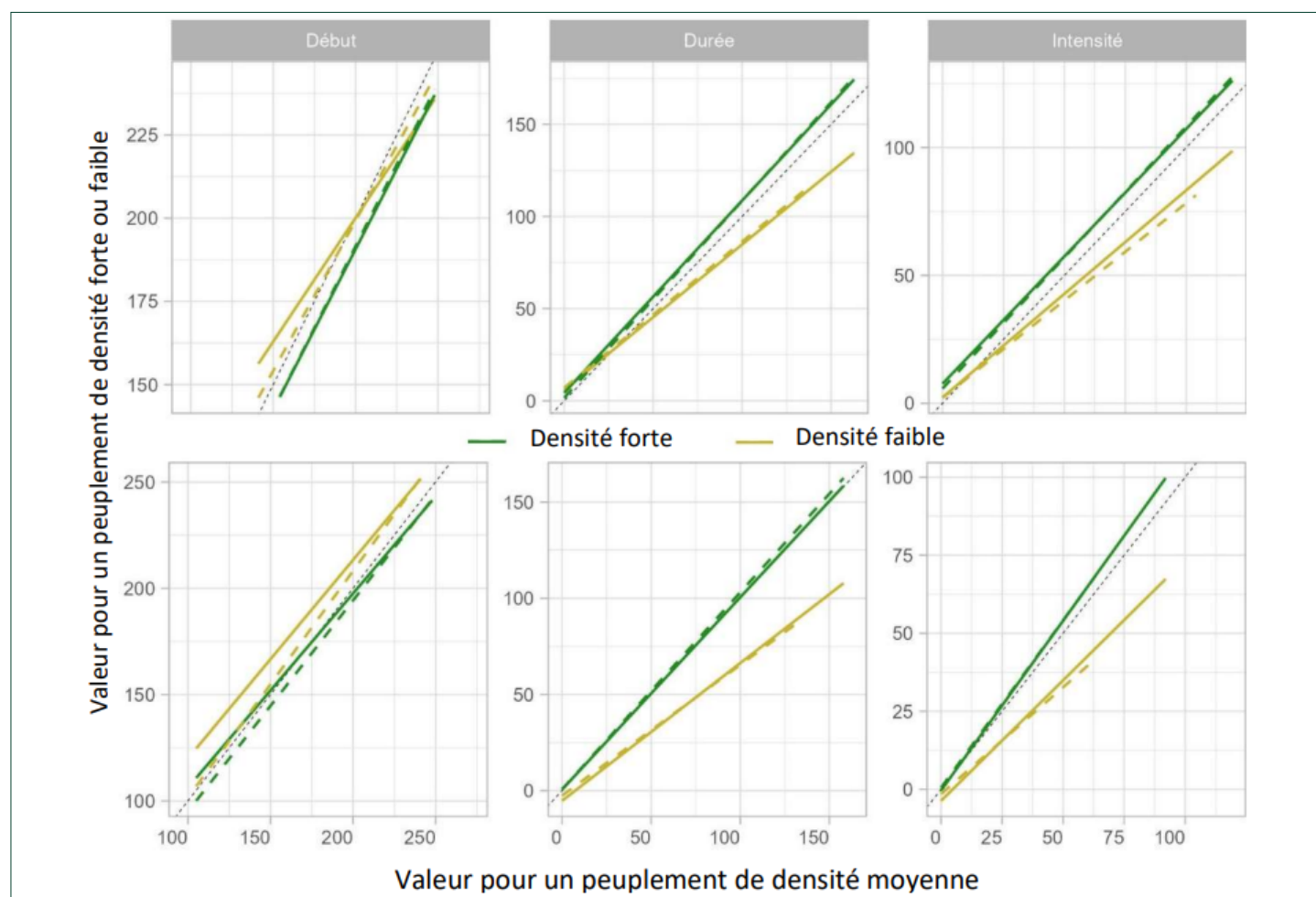


Figure 2 : comparaison des indicateurs des peuplements à densité forte et faible par rapport à des peuplements à densité moyenne pour les trois indicateurs de sécheresse (début, durée et intensité). En pointillés noirs, la droite $y = x$. En haut, les résultats obtenus avec les données mesurées in situ. En bas, les résultats obtenus par simulation avec Biljou© en tenant compte de l'ensemble du profil de sol.

■ PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

Ce travail apporte des avancées importantes sur des aspects méthodologiques généralement peu pris en compte.

Le travail sur la calibration montre que les équations obtenues se différencient des équations des constructeurs quels que soient le site et le modèle de sonde. Même si les équations établies sont toutes des équations polynomiales, il n'est pas possible de définir une équation générique valide dans tous les contextes. Ces différences peuvent sembler négligeables mais elles ont malgré tout un impact sur le calcul des humidités volumiques, sur- ou sous-estimées selon la gamme d'humidité. Il apparaît donc essentiel de calibrer les sondes pour estimer les humidités volumiques à différentes profondeurs. Le travail sur la quantification du déficit hydrique via le modèle de bilan hydrique journalier Biljou© (valeurs simulées) et la comparaison avec les données mesurées a montré également que selon les jeux de paramètres pour la modélisation, les estimations des différents indicateurs de sécheresse et la cohérence avec les mesures pouvaient changer (variation selon la profondeur d'enracinement des arbres, par exemple). La très forte variabilité des R2 et RMSE observée pour chaque site montre l'importance de cette étape de paramétrage.

Plusieurs pistes pour approfondir les analyses sont envisagées. Elles seront menées à court et moyen terme afin de poursuivre la valorisation de ce travail. Les sites expérimentés utilisés pour ce projet font également l'objet d'un suivi horaire de la croissance des arbres. Utiliser nos résultats pour évaluer
Densité forte Densité faible Valeur pour un peuplement de densité forte ou faible Valeur pour un peuplement de densité moyenne l'effet des déficits hydriques sur les dynamiques de croissance est également un objectif sur le plus long terme.

■ CONTACT

La porteuse de projet est Mme [Ingrid SEYNAVE](#), Ingénieur de recherche, INRAe (UMR SILVA).

Les responsables de sites sont Mme Sandrine PERRET, Mme Céline MEREDIEU, et Mme Lisa LAURENT.

Les membres du comité de suivi sont M. Philippe BALANDIER, Mme Nathalie BREDAS, M. Aurélien FORLER, Mme Lisa LAURENT, M. Joseph LEVILLAIN, M. Jean-Baptiste MAYET, Mme Céline MEREDIEU, Mme Sandrine PERRET, M. Thomas PERROT, Mme Sarah POISOT, Mme Arivoara RABARIJONA, M. Raphaël SEGURA, Mme Ingrid SEYNAVE, et M. Erwin THIRION.

Plus d'informations sur le modèle de bilan hydrique journalier Biljou© : Mme [Nathalie BREDAS](#), Directrice de recherche à INRAe (UMR SILVA) ou bien sur la [page dédiée](#) du RMT AFORCE.

Plus d'informations sur le projet RUFOR : M. [Joseph LEVILLAIN](#), Ingénieur de recherche à INRAe (UMR SILVA).

■ PLUS D'INFORMATIONS

Plus d'informations sont disponibles sur la [page projet SYLVEAU](#) du RMT AFORCE.



Références

¹ Site du GIS Coop. [>>>](#)

² Dispositif OPTMix. [>>>](#)

³ Modèle de bilan hydrique journalier Biljou© (site). [>>>](#)

⁴ Projet RUFOR sur l'estimation du réservoir en eau utilisable. Financement ADEME. [>>>](#)

FINANCEURS DU PROJET