



HAL
open science

Bilan hydrique et suivi du cycle de l'eau à l'échelle de l'écosystème forestier :les mesures du réseau ICOS France

Jean-marc Limousin, Nicolas Delpierre, Emilie Joetzjer, Jean-Christophe Domec, Sebastien Lafont, Guillaume Simioni, Christophe François, Jean-marc Ourcival, Nicolas Martin-StPaul

► **To cite this version:**

Jean-marc Limousin, Nicolas Delpierre, Emilie Joetzjer, Jean-Christophe Domec, Sebastien Lafont, et al.. Bilan hydrique et suivi du cycle de l'eau à l'échelle de l'écosystème forestier :les mesures du réseau ICOS France. Forêt Méditerranéenne, 2024, XLV, n°1, pp.29-34. hal-04619314

HAL Id: hal-04619314

<https://hal.inrae.fr/hal-04619314v1>

Submitted on 20 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

Bilan hydrique et suivi du cycle de l'eau à l'échelle de l'écosystème forestier : les mesures du réseau ICOS France

par Jean-Marc LIMOUSIN, Nicolas DELPIERRE, Emilie JOETZJER,
Jean-Christophe DOMEQ, Sébastien LAFONT, Guillaume SIMIONI,
Christophe FRANCOIS, Jean-Marc OURCIVAL et Nicolas MARTIN-StPAUL

***Une forêt échange de l'eau
avec son environnement.
Le bilan hydrique d'un écosystème
forestier est la différence entre
les entrées et les sorties d'eau.
Quels sont les rôles du climat,
du sol et des caractéristiques
morphologiques des arbres
dans ce bilan ? Les données
du réseau ICOS permettent
de quantifier ce bilan à l'échelle
de l'écosystème forestier.***

Qu'est-ce que le bilan hydrique d'une forêt et comment quantifier ses composantes ?

Les arbres utilisent de l'eau pour leur photosynthèse, leur croissance, pour acheminer des nutriments en provenance du sol, ainsi que pour le refroidissement de leur feuillage qui est exposé au rayonnement solaire. Les arbres prélèvent cette eau dans le sol. Cette consommation d'eau est un élément du cycle de l'eau « local », à l'échelle de l'écosystème forestier, que l'on étudie notamment en établissant le « bilan hydrique » de la forêt.

Le bilan hydrique d'un écosystème forestier est la différence entre des entrées et des sorties d'eau. L'entrée d'eau est principalement sous forme de précipitations (les forêts françaises n'étant, à ce jour, pas irriguées), auxquelles peuvent s'ajouter des apports par ruissellement (en surface ou dans le sol), et des remontées de nappes d'eau souterraine par capillarité. Les sorties d'eau se font sous la forme (1) de transpiration¹ par les arbres et la végétation du sous-bois (la somme de ces flux constituant ce que l'on appelle « l'eau verte »), (2) d'évaporation (issue du sol forestier et du couvert de feuilles humidifié par la pluie) et (3) d'un éventuel ruissellement vers le bas de pente et/ou drainage profond (la somme de ces flux constitue « l'eau bleue ») (Cf. Fig. 1). La somme

1 - On appelle flux de *transpiration* des végétaux le flux d'eau évaporé au niveau des feuilles par les plantes : cette eau provient très largement du sol : elle entre dans l'arbre au niveau des racines et monte jusqu'aux feuilles sous forme liquide, sous l'effet principal de la tension imposée par la faible teneur en eau de l'air. Elle s'échappe des feuilles sous forme de vapeur, principalement à travers les stomates (pores permettant la communication entre le milieu intérieur de la feuille et l'atmosphère).

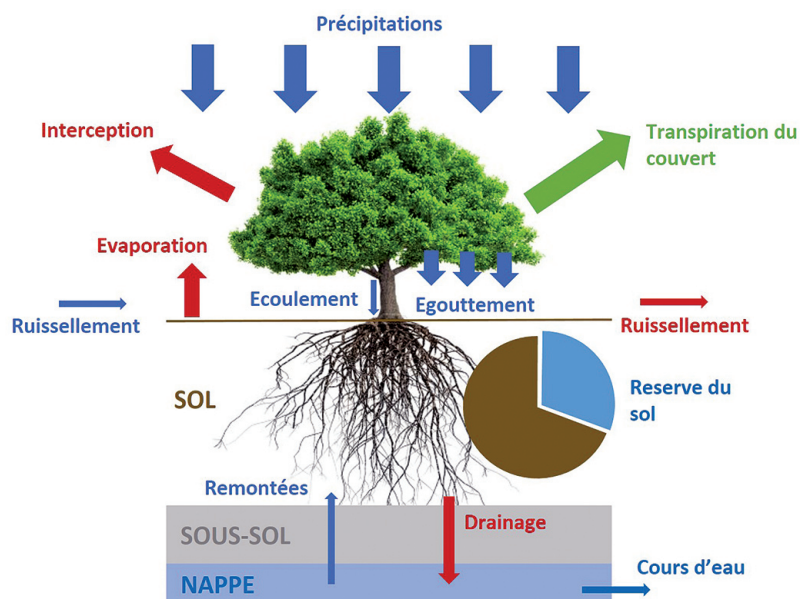


Fig. 1 :

Schéma des différentes composantes du bilan hydrique d'un écosystème forestier montrant son intégration dans le bilan hydrologique du bassin versant, les flux entrants (en bleu) et les flux sortants (en rouge et en vert). La flèche "interception" désigne la quantité d'eau interceptée par le feuillage lors d'une pluie. Cette eau sera évaporée vers l'atmosphère après l'évènement pluvieux.

Tab. I :

Précipitations et évapotranspiration moyennes annuelles pour les sites forestiers de l'infrastructure de recherche ICOS-France. La période considérée est variable selon les sites (d'une durée minimale de 15 années, entre 2001 et 2022). L'indice foliaire (en m² de feuilles par m² de sol) est la surface de feuilles développée par les arbres rapportée à un mètre carré de sol. Les précipitations sont les entrées d'eau mesurables sous forme de pluie et de neige. ETR est l'évapotranspiration réelle (=évaporation + transpiration). Les précipitations et l'ETR sont exprimées en hauteur d'eau (1 mm = 1 litre ou kg d'eau par m² de sol).

des flux de transpiration et d'évaporation (1 et 2, ci-dessus) constitue le flux d'eau qui est ré-évaporé depuis l'écosystème vers l'atmosphère et que l'on nomme « évapotranspiration réelle » (ou ETR).

En France, cinq sites forestiers membres de l'infrastructure de recherche ICOS disposent d'instruments de mesure permettant de quantifier les termes de ce bilan hydrique.

Les mesures de flux d'eau de l'infrastructure de recherche ICOS

ICOS (pour *Integrated Carbon Observation System*) est une infrastructure de recherche nationale (<https://icos-france.fr/>) et européenne (<https://www.icos-cp.eu/>) dont la vocation est notamment de mesurer les bilans des gaz à effet de serre influencés par l'activité humaine, qui sont principalement le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄) et l'oxyde nitreux (N₂O). Cette mesure

est réalisée par la méthode des corrélations turbulentes qui met en œuvre un analyseur de gaz à haute fréquence et un anémomètre capable de mesurer la direction et la vitesse du vent en trois dimensions. Ces instruments sont installés au sommet d'une tour surplombant la canopée. Les données de vitesse du vent et de concentration atmosphérique en CO₂ et en vapeur d'eau au-dessus de la forêt sont enregistrées 10 à 20 fois par secondes et utilisées pour calculer le flux d'eau correspondant à l'évapotranspiration, et les flux de CO₂ correspondants à la photosynthèse et à la respiration de l'écosystème. Les mesures sont enregistrées en continu 24h/24 et 365 jours/an, ce qui permet de calculer les bilans d'eau et de carbone annuels des écosystèmes forestiers. Afin de connaître les différents termes du bilan hydrique forestier, les mesures d'évapotranspiration sont généralement complétées avec des mesures de flux de sève, des mesures de précipitation nette arrivant au sol, et des mesures de contenu en eau du sol. Les mesures de flux de sève permettent, grâce à des capteurs insérés dans les troncs des arbres, de quantifier spécifiquement la transpiration des arbres. Les mesures de précipitation nette arrivant au sol, par égouttement des feuilles ou par ruissellement le long des troncs, permettent, par différence avec la pluie incidente totale au-dessus de la canopée, de mesurer la fraction de la pluie qui est interceptée par le feuillage et ré-évaporée sans avoir pu atteindre le sol. Enfin, les mesures de contenu en eau du sol permettent d'estimer les variations du volume d'eau stocké dans le sol. L'ensemble des données collectées par l'infrastructure de recherche ICOS sont librement disponibles sur le portail européen: <https://data.icos-cp.eu/portal>.

Le réseau ICOS français comporte cinq stations climatiques représentatives de différents climats, sols et peuplements forestiers (Cf. Tab. I). La forêt domaniale de Hesse en Moselle (FR-Hes, 57) est une hêtraie tempérée, la forêt domaniale de Barbeau (FR-Fon,

Station ICOS	Département	Peuplement forestier	Indice foliaire (maximum annuel)	Précipitation moyenne (mm/an)	ETR annuelle moyenne (mm/an)
Hesse (FR-Hes)	Moselle (57)	hêtre	5,7	844	490
Barbeau (FR-Fon)	Seine-et-Marne (77)	chêne sessile et charme	5,9	684	666
Bilos (FR-Bil)	Gironde (33)	pin maritime	3,5	865	776
Puéchabon (FR-Pue)	Hérault (34)	chêne vert	2,8	955	453
Font-Blanche (FR-FBn)	Bouches-du-Rhône (13)	pin d'Alep et chêne vert	2,5	673	468

77) en Seine-et-Marne est une chênaie de chênes sessiles et charmes, la forêt de Bilos-Salles (FR-Bil, 33) en Gironde est une plantation de pins maritimes, la forêt domaniale de Puéchabon (FR-Pue, 34) dans l'Hérault est un taillis méditerranéen de chênes verts, la forêt départementale de Font-Blanche (FR-FBn, 13) dans les Bouches-du-Rhône est une forêt mixte méditerranéenne de pins d'Alep et de chênes verts. Les sites forestiers du réseau ICOS sont représentatifs de la riche diversité des forêts françaises. Ils couvrent ainsi des forêts tempérées et méditerranéennes, feuillues ou résineuses, caducifoliées ou sempervirentes sous différents climats. Tous ont en commun le partage des mêmes protocoles de mesure, un atout précieux pour pouvoir comparer les résultats de ces différentes forêts, et ainsi faire avancer notre compréhension du fonctionnement des forêts françaises.

Bilans hydriques comparés d'une forêt méditerranéenne et d'une forêt tempérée

Les termes du bilan hydrique : où va l'eau de pluie ?

Avant de comparer forêt méditerranéenne et tempérée, regardons les termes du bilan des deux stations forestières méditerranéennes du réseau (Puéchabon et Font-Blanche). Ces deux sites présentent des évapotranspirations annuelles moyennes remarquablement similaires (453 mm/an et 468 mm/an). Bien que de composition spécifique différente, ces forêts ont en commun des indices foliaires très proches (2,5 à 2,8 m² de feuilles par m² de sol), un feuillage persistant toute l'année et un climat méditerranéen caractérisé par des étés chauds et secs et une importante demande évaporatoire climatique².

Pour illustrer la particularité du bilan hydrique des forêts méditerranéennes, nous allons comparer les forêts de chênes de Puéchabon (chêne vert méditerranéen sempervirent) et de Barbeau (chêne sessile tem-

péré caducifolié). L'évapotranspiration moyenne annuelle à Barbeau est proche du cumul des précipitations, ce qui fait que la proportion d'eau « bleue » (disponible pour les nappes ou les rivières) y est particulièrement faible (Cf. Fig. 2)³. A Puéchabon, une fraction plus importante des précipitations annuelles s'infiltré ou ruisselle, ce qui s'explique par la plus faible réserve en eau du sol et par les épisodes de fortes précipitations à l'automne en région méditerranéenne, qui entraînent d'importants ruissellements. La transpiration des arbres à Barbeau (eau « verte ») consomme une part plus importante des précipitations, ce qui s'explique par un indice foliaire deux fois plus élevé (5,9 m² de feuilles par m² de sol à Barbeau, contre 2,8 à Puéchabon) et une importante réserve en eau dans le sol. Cela compense le fait que le feuillage n'est présent qu'entre avril et novembre dans cette forêt caducifoliée. On constate aussi que l'évaporation du sol y joue un rôle plus important qu'en forêt méditerranéenne, car le sol y est plus exposé durant les périodes de l'année où les arbres n'ont pas de feuillage.

L'eau au fil des saisons : saisonnalité et déterminants du bilan hydrique

La saisonnalité des précipitations est plus marquée en région méditerranéenne qu'en région tempérée, mais on observe l'inverse pour l'évapotranspiration (Cf. Fig. 3). Les arbres caducifoliés ont une transpiration importante pendant la saison de feuillaison, avec un maximum journalier autour de 4 mm/jour en juillet et dépendent de la

2 - La demande évaporatoire (également dénommée demande climatique ou évapotranspiration potentielle) est la quantité d'eau qui pourrait être évaporée en théorie par la forêt, étant données les conditions de rayonnement, de température, d'humidité et pression de l'air et de vitesse du vent. Elle s'exprime en hauteur d'eau (millimètres), tout comme les précipitations et l'évapotranspiration. Elle est d'autant plus élevée que le rayonnement est fort, l'air est sec et le vent est fort. En pratique, l'ETR d'une forêt est toujours inférieure à la demande évaporatoire car différents phénomènes freinent l'évaporation de l'eau (résistance aérodynamique des arbres, fermeture des stomates, rétention par le sol).

3 - La forêt de Barbeau est située sur un sol limono-sableux sur les 5 premiers mètres, sous-tendu par des couches de marnes et de calcaires. Il s'y développe un système d'aquifères relativement complexe dans lequel les racines peuvent prélever de l'eau, au moins à profondeur de 5 mètres. Il est très probable qu'une partie de l'eau évapotranspirée par cette forêt provienne de ces aquifères, qui sont probablement alimentés par écoulement souterrain de l'eau provenant des plaines alentour de la forêt.

Fig. 2 : Répartition moyenne du bilan hydrique annuel à Puéchabon et à Barbeau, en pourcentage de la précipitation moyenne annuelle.

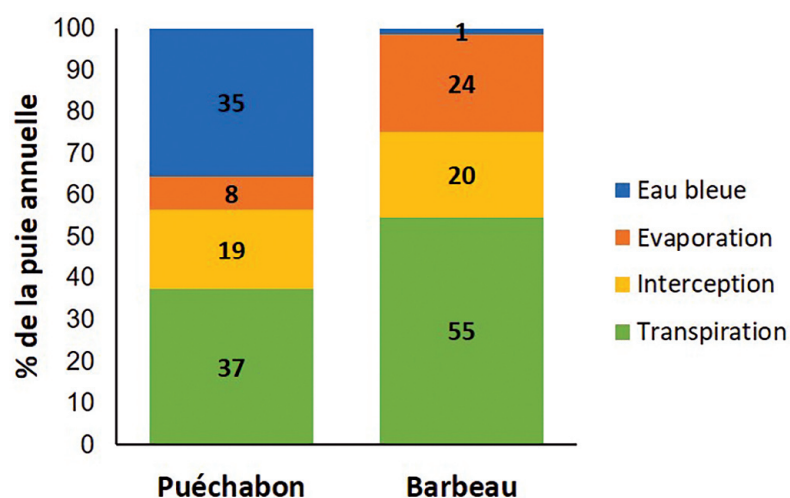
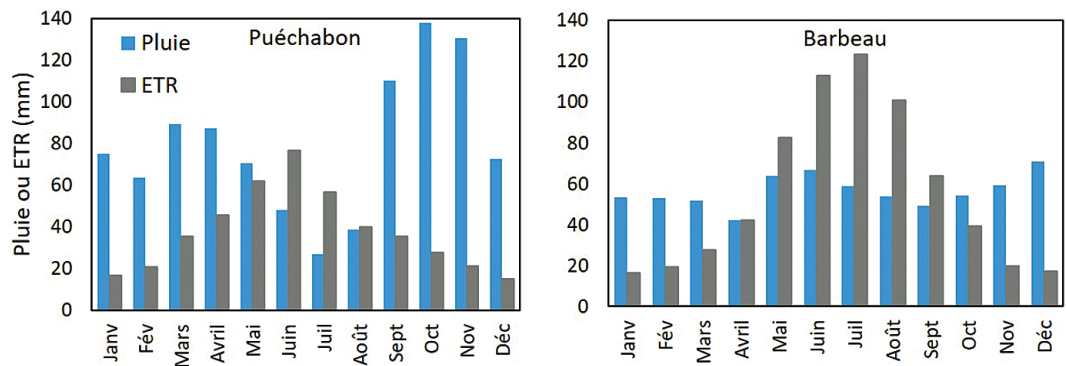


Fig. 3 :
Climatologie mensuelle des précipitations (en bleu) et de l'évapotranspiration mesurée par les tours à flux (en gris) pour les stations de Puéchabon (à gauche) et Barbeau (à droite). Ces graphiques concernent la période 2001-2022 pour Puéchabon, et 2005-2022 pour Barbeau. Les valeurs sont exprimées en mm par mois.



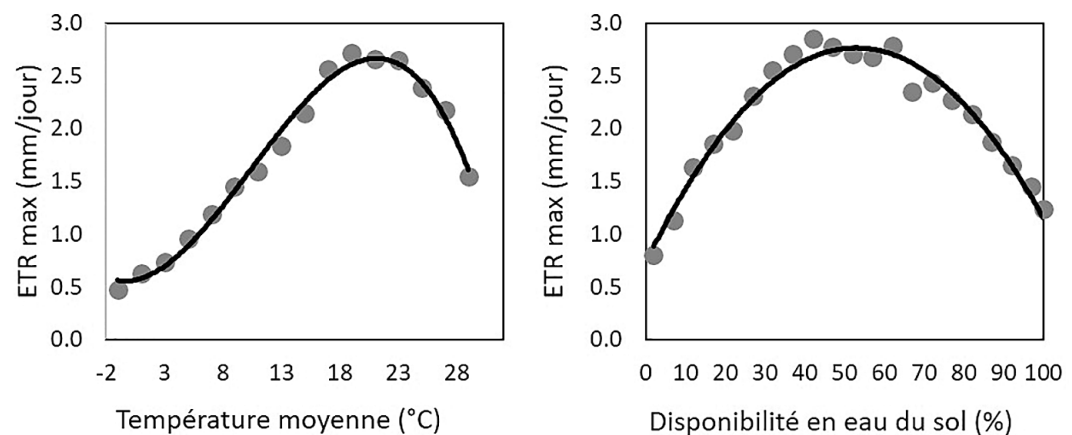
réserve en eau du sol de mai à septembre. Les arbres sempervirents méditerranéens ont du feuillage toute l'année et sont limités par la sécheresse et la faible réserve en eau du sol pendant l'été. Leur transpiration est soutenue par l'eau du sol de juin à août, avec un maximum journalier d'environ 3 mm/jour au mois de juin avant le début de la sécheresse estivale.

Le flux d'évapotranspiration de la forêt sempervirente de chêne vert de Puéchabon est fortement contrôlé à la fois par la température et par la disponibilité en eau dans le sol (Cf. Fig. 4). L'évapotranspiration est limitée par les températures froides et augmente jusqu'à une température moyenne d'environ 21°C. L'évapotranspiration est aussi limitée par la disponibilité en eau du sol et diminue lorsque celle-ci devient inférieure à 30% de la réserve utile maximale. La saisonnalité du climat méditerranéen, caractérisée par des périodes de sécheresse pendant les mois les plus chauds, explique que la transpiration diminue pendant les journées les plus chaudes, qui correspondent aux périodes sèches, et pour les périodes où le sol est le plus humide qui correspondent aussi aux périodes froides.

Biologie ou climat : quels sont les déterminants de l'évapotranspiration des forêts françaises ?

L'analyse des données à l'échelle du réseau (Cf. Fig. 5) permet de montrer que les différences d'évapotranspiration entre les sites, et notamment entre les sites méditerranéens et les sites tempérés, s'expliquent en grande partie par des différences de demande évaporatoire (Cf. Fig. 5, à gauche) et d'indice foliaire (Cf. Fig. 5, à droite). Ainsi, la quantité d'eau consommée par la forêt pour une surface foliaire donnée augmente quand la demande évaporatoire augmente (forte températures, faible humidité de l'air, fort ensoleillement). Cette demande évaporatoire est plus forte en climat méditerranéen chaud et ensoleillé (Cf. Fig. 5, à gauche). Par ailleurs, la part de la demande évaporatoire qui s'évapore réellement augmente avec la surface de feuilles développée par la forêt (Cf. Fig. 5, à droite). Les indices foliaires sont en effet plus élevés dans les sites tempérés caducifoliés de Barbeau, Hesse et Bilos que dans les

Fig. 4 :
Relations entre la transpiration maximale journalière des chênes verts de la forêt de Puéchabon et deux de ses contrôles environnementaux : la température de l'air et la disponibilité en eau du sol.



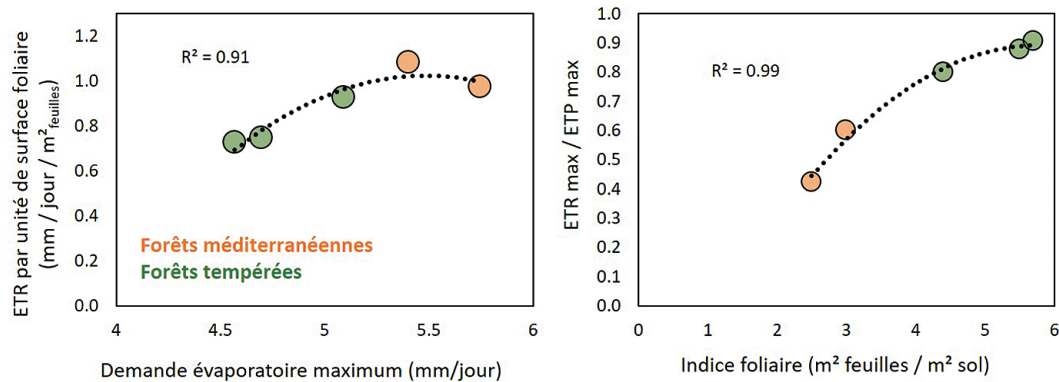


Fig. 5 :

À gauche : relation entre l'évapotranspiration journalière maximale par unité de surface foliaire et la demande évaporatoire climatique. À droite : relation entre la fraction de la demande évaporatoire que représente l'évapotranspiration (ETRmax/ETPmax) et l'indice foliaire du couvert. Les données utilisées pour ces figures ont été mesurées dans les conditions pour lesquelles le flux d'évapotranspiration (ETR) et la demande évaporatoire sont maximaux (forte luminosité, températures élevées mais air humide, sol humide).
 ETRmax = évapotranspiration réelle maximale ;
 ETPmax = demande évaporatoire (= évapotranspiration potentielle) maximale.

sites méditerranéens de Puéchabon et Font-Blanche (Cf. Tab. I). Par conséquent, hors périodes de sécheresse, les forêts consomment plus d'eau si elles sont denses ou si elles poussent sous des climats chauds. On observe ainsi que la transpiration maximum journalière par unité de surface foliaire est 65 % plus élevée à Puéchabon (1,16 mm par m² de feuilles et par jour) qu'à Barbeau (0,70 mm par m² de feuilles et par jour). Mais les forêts méditerranéennes, ayant une surface foliaire plus faible, sont plus économes en eau lors des conditions chaudes et sèches, et sont donc, pour une réserve en eau du sol donnée, mieux à même de résister aux périodes de sécheresse longues que les forêts tempérées. La moindre surface foliaire des forêts méditerranéennes est un exemple de l'adaptation de l'écosystème forestier à des conditions climatiques chaudes et sèches.

En dépit de ces différences, les forêts tempérées et méditerranéennes dépendent toutes fortement de la réserve en eau du sol. En effet, on observe que leur évapotranspiration est supérieure aux précipitations plusieurs mois dans l'année, quelle que soit l'espèce ou le climat (Cf. Fig. 3). Cela démontre que l'eau transpirée par les arbres durant ces périodes provient de la réserve en eau du sol. Nous pouvons estimer qu'environ la moitié de cette réserve en eau se trouve dans le premier mètre de sol pour la forêt de Barbeau, contre moins d'un-tiers pour la forêt de Puéchabon. Les arbres sont donc capables de prélever l'eau dans le sol jusqu'à plusieurs mètres de profondeur, et la réserve en eau du sol peut être aussi déterminante que le climat pour la consommation d'eau des forêts. La réserve d'eau totale à laquelle les arbres ont accès est très difficile à quantifier, et reste inconnue dans bien des contextes. C'est pourtant un paramètre-clé, qui influera fortement sur la réponse des forêts aux conditions de sécheresse crois-

sante imposées par le changement climatique. Des recherches impliquant des géophysiciens, des écophysiologistes, des modélisateurs et des spécialistes des mesures satellitaires sont en cours pour caractériser l'accès à l'eau profonde des forêts (projet TAW-tree, financé par l'Agence nationale de la recherche, 2024-2028).

Conclusions

En conclusion, on observe selon les sites et les années que l'évapotranspiration peut représenter entre 50% et 100% de la pluie reçue par la forêt, ce qui signifie que moins de la moitié de l'eau reçue est généralement convertie en « eau bleue » disponible pour les nappes ou les rivières. Cependant, la transpiration des arbres ne représente que 50% à 60% de l'évapotranspiration de l'écosystème forestier, le reste étant ré-émis vers l'atmosphère après interception de la pluie par le feuillage (qui est ré-évoquée) ou l'évaporation du sol. L'évapotranspiration de la forêt dépend à la fois de la demande évaporatoire de l'atmosphère, de la surface foliaire du peuplement forestier et de la réserve en eau du sol accessible par les arbres. Le sol forestier joue un rôle de réservoir d'eau qui permet aux arbres de continuer à transpirer, même pendant les périodes sans pluie, d'autant plus que les arbres ont des racines qui peuvent aller chercher l'eau jusqu'à plusieurs mètres de profondeur. Les mesures d'évapotranspiration du réseau ICOS permettent de mieux comprendre l'évolution à long terme du bilan hydrique des forêts européennes dans un contexte d'aggravation des sécheresses estivales. Les principes déduits de l'analyse de ces données permettent de développer des modèles représentant le fonctionnement des forêts, utiles pour quantifier

Remerciements

Les sites de mesure ayant fourni les données utilisées dans cet article appartiennent tous à l'infrastructure de recherche ICOS-France et à l'infrastructure européenne ICOS ERIC. Le travail de mise en commun et d'interprétation des données a été effectué dans le cadre du projet ANR TAW-tree (2023-2028 ; ANR23-CE01-0008).

Jean-Marc LIMOUSIN
Jean-Marc OURCIVAL
Centre d'écologie
fonctionnelle et évolutive,
CEFE CNRS,
1919 route de Mende,
34293 Montpellier
Cedex 5

Nicolas DELPIERRE
Christophe FRANCOIS
Université
Paris-Saclay, CNRS,
AgroParisTech,
Ecologie systématique
et évolution,
91190 Gif-sur-Yvette,

Emilie JOETZJER
Université de Lorraine,
AgroParisTech, INRAE,
UMR Silva,
54000 Nancy

Jean-Christophe DOMEQ
Département de
foresterie, Bordeaux
Sciences Agro INRAE
UMR 1391,
33170 Gradignan

Sébastien LAFONT
UMR Interactions Sol
Plante Atmosphère,
UMR 1391, INRAE,
33140 Villenave
d'Ornon

Guillaume SIMIONI
Nicolas
MARTIN-STPAUL
INRAE - Ecologie
des forêts méditerranéennes (URFM),
domaine Saint-Paul,
site Agroparc, 228
route de l'aérodrome,
84914 Avignon
cedex 9

l'évolution des stocks en eau des sols et des sous-sols forestiers, et la réponse des forêts au changement climatique en cours.

Références choisies

- Domeq J.C., Sun G., Noormets A., Gavazzi M., Treasure E., Cohen E., Swenson J.J., McNulty S. and J.S. King. 2012. A Comparison of Three Methods to Estimate Evapotranspiration in Two Contrasting Loblolly Pine Plantations: Age-Related Changes in Water Use and Drought Sensitivity of Evapotranspiration Components. *Forest Science*, 58:497-512
- Granier, A., Reichstein, M., Bréda, N., Janssens, I. A., Falge, E., Ciais, P. *et al.* (2007). Evidence for

soil water control on carbon and water dynamics in European forests during the extremely dry year: 2003. *Agricultural and forest meteorology*, 143(1-2), 123-145.

Limousin, J. M., Rambal, S., Ourcival, J. M., & Joffre, R. (2008). Modelling rainfall interception in a Mediterranean *Quercus ilex* ecosystem: lesson from a throughfall exclusion experiment. *Journal of Hydrology*, 357(1-2), 57-66.

Maysonnave, J., Delpierre, N., François, C., Jourdan, M., Cornut, I., Bazot, S.,... & Berveiller, D. (2022). Contribution of deep soil layers to the transpiration of a temperate deciduous forest: Implications for the modelling of productivity. *Science of The Total Environment*, 838, 155981.

Prévosto, B., Audouard, M., Helluy, M., Lopez, J. M., & Balandier, P. (2018). Le bilan hydrique en forêt méditerranéenne: influence des strates et de leur gestion Application au pin d'Alep. *Forêt Méditerranéenne*, XXXIX, 1, 3-12.

Site internet du modèle de bilan hydrique forestier BILJOU : <https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/fr>

Résumé

Une forêt échange de l'eau avec son environnement. Elle reçoit un apport d'eau liquide sous forme de précipitations et d'éventuelles remontées de nappes souterraines. Elle émet de la vapeur d'eau dans l'atmosphère par évaporation, et peut éventuellement perdre de l'eau par ruissellement (sur sols en pente) ou drainage profond. On appelle « bilan hydrique » de l'écosystème forestier la différence entre ces entrées d'eau. Les différents flux et stock d'eau déterminant le bilan hydrique sont mesurés de façon continue dans cinq sites forestiers français appartenant à l'infrastructure de recherche ICOS France. Ces cinq sites comprennent des forêts tempérées et méditerranéennes, feuillues ou résineuses, caducifoliées ou sempervirentes et partagent tous les mêmes protocoles de mesure. Dans cet article, nous évaluons les déterminants du bilan hydrique de ces sites et nous mettons l'accent sur les différences entre le site méditerranéen à chêne vert de Puéchabon, dans l'Hérault, et le site caducifolié tempéré à chêne sessile de Barbeau, en Ile-de-France. Selon les sites et les années, l'évapotranspiration peut représenter entre 50% et 100% de la pluie reçue par l'écosystème. Toutefois, la transpiration des arbres ne représente que 50% à 60% de l'évapotranspiration. Au cours de l'année, l'évapotranspiration de l'écosystème dépend à la fois de la demande évaporatoire de l'atmosphère et de la disponibilité en eau du sol. Le sol forestier joue un rôle de réservoir d'eau qui permet aux arbres de continuer à transpirer, même pendant les périodes sans pluie, d'autant que les arbres ont des racines qui peuvent aller chercher l'eau jusqu'à plusieurs mètres de profondeur. L'analyse des données de l'infrastructure ICOS permet de montrer que la consommation d'eau de l'écosystème forestier dépend (1) du climat (demande évaporatoire), (2) de la réserve hydrique du sol à un moment donné et (3) des caractéristiques morphologiques des arbres du peuplement telles que la profondeur d'enracinement et la surface foliaire. Les principes déduits de l'analyse de ces données permettent de développer des modèles représentant le fonctionnement des forêts, utiles pour quantifier l'évolution des stocks en eau des sols et des sous-sols forestiers, et la réponse des forêts au changement climatique en cours.

Summary

A forest exchanges water with its environment. It receives liquid water in the form of precipitation and sometimes groundwater rising through capillarity. It emits water vapour into the atmosphere through evaporation, and may lose water through run-off (on sloping ground) or deep drainage. The difference between these water inputs and outputs is called the "water balance" of the forest ecosystem. The various water flows and stocks that determine the water balance are measured continuously at five French forest sites belonging to the ICOS France research infrastructure. These five sites include temperate and Mediterranean, broadleaf and needleleaf, deciduous and evergreen forests, and all share the same measurement protocols. In this article, we assess the determinants of the water balance of these sites, focusing on the differences between the Mediterranean holm oak site of Puéchabon and the temperate deciduous sessile oak site of Barbeau. Depending on the site and the year, evapotranspiration can account for between 50% and 100% of the rain received by the ecosystem. However, tree transpiration accounts for only 50% to 60% of evapotranspiration. Over the course of the year, the evapotranspiration of the ecosystem depends on both the evaporative demand of the atmosphere and the availability of water in the soil. The forest soil and subsoil act as water reservoirs, enabling the trees to continue transpiring even during periods when there is no rain, especially as the trees have roots that can fetch water from a depth of several metres. Analysis of the data from the ICOS infrastructure shows that water consumption by the forest depends on (1) the climate (evaporative demand), (2) the water reserve in the soil at a given time and (3) the morphological characteristics of the trees in the stand, such as rooting depth and leaf area. The principles deduced from the analysis of these data can be used to develop models representing the functioning of forests, which are useful for quantifying changes in water stocks in forest soils and subsoils, and the response of forests to current climate change.