

# Outils pour raisonner les calculs de flux d'eau et de bilan hydrique à l'échelle du peuplement

Nathalie Bréda, André Granier, Inra de Nancy

*Une des questions des gestionnaires forestiers face aux évolutions climatiques est la connaissance du bilan hydrique d'un peuplement et si possible son évolution. Un site Internet, mis au point par l'Inra de Nancy, modélise grâce à la saisie de quelques paramètres, le calcul de la réserve en eau utile.*

Ce projet vise à répondre de façon structurée à des sollicitations récurrentes des forestiers, en particulier depuis les sécheresses de 2003 dans la zone tempérée ouest et centre européenne, ou de 2005 dans la partie sud-ouest de l'Europe. Ces événements climatiques exceptionnels sont, selon les climatologues, une manifestation du changement climatique, qui produit une augmentation de la variabilité climatique interannuelle. Ainsi, certains gestionnaires n'ont pris réellement conscience qu'à l'occasion de ces événements extrêmes du rôle primordial des sécheresses dans la productivité voire la durabilité des peuplements.

L'unité mixte de recherches Inra- Henri Poincaré, Écologie et écophysologie forestières (EEF) de Nancy développe des recherches sur le fonctionnement hydrique des peuplements forestiers, leurs bilans hydriques, et sur l'impact des contraintes hydriques depuis les années 1970, sous l'impulsion de Gilbert Aussenac. Cette thématique de recherche se poursuit selon plusieurs axes :

- développement d'approches physiologiques, moléculaires et génétiques de la réponse des arbres à la sécheresse : plasticité des espèces et variabilité interspécifique des réponses,
- approches in situ dans des sites-ateliers instrumentés visant à quantifier et

à modéliser les différents flux hydriques,

- analyse écologique spatio-temporelle des dysfonctionnements et dépérissements forestiers par des approches de dendroécologie et de caractérisation des milieux et des peuplements.

Parmi les questions posées par les gestionnaires, les plus récurrentes sont les suivantes : comment quantifier l'intensité et la gravité d'une sécheresse en forêt ? Dans quelle mesure les propriétés du sol peuvent-elles moduler l'intensité des contraintes ? Quelles sont les variations de ce phénomène selon la structure, la composition et les pratiques de gestion des peuplements forestiers ?

Notre unité a, jusqu'à maintenant, répondu au cas par cas à des sollicitations régionales ou individuelles, provenant en particulier des CRPF. Lors de nos échanges avec les gestionnaires tant privés que publics, nous avons relevé la nécessité de trouver de nouveaux modes d'autoformation et de communication, plus concrets et dynamiques que les articles de vulgarisation que les gestionnaires n'ont pas toujours le temps de lire. Dans le domaine du fonctionnement hydrique des peuplements, nous avons identifié les besoins suivants :

- une nécessité de réactualiser et corriger les connaissances de base sur les différents flux d'eau et leurs bilans

dans les écosystèmes forestiers,

- une attente de pouvoir manipuler des outils opérationnels pour les aider à réaliser des diagnostics,

- un besoin de quantifier l'impact respectif du climat, du sol, du peuplement et de sa gestion dans le cycle de l'eau. Le dialogue qui s'est instauré entre les acteurs de la recherche et du développement, notamment à travers le RMT AFORCE, nous a conduit à affiner ces questions, les organiser et les rendre accessibles pour un large public de gestionnaires, mais aussi d'étudiants, d'enseignants et de chercheurs. D'autres actions ont été menées en amont de ce projet, par l'intermédiaire du RMT AFORCE, tel que l'atelier consacré aux données météorologiques (18 juin 2009, Paris) au cours duquel les paramètres climatiques et leur accessibilité, tant en climat passé, présent et futur ont été traités par les meilleurs représentants disciplinaires (<http://www.foretriveefrancaise.com/atelier-donnees-meteo-480103.html>)

Le projet soutenu par le RMT AFORCE a permis de mettre à disposition, de façon conviviale, pédagogique et bien documentée, un site web regroupant deux outils pratiques :

→ un cours en ligne, comportant 8 fiches pédagogiques sur la définition, la mesure, les ordres de grandeurs et la modélisation de chacun des grands flux d'eau des écosystèmes (transpiration, interception, drainage, évapo-

Graphique 2 : page d'accueil du site Biljou®



À gauche, la page d'accueil du site BILJOU® version web (concepteurs du site : Guillaume Ehinger et Damien Maurice). Le menu de gauche propose un ensemble de 8 fiches pédagogiques ; à droite, extrait de l'une d'entre elles, chaque fiche comportant de la bibliographie en français, avec les liens permettant de consulter chaque document.

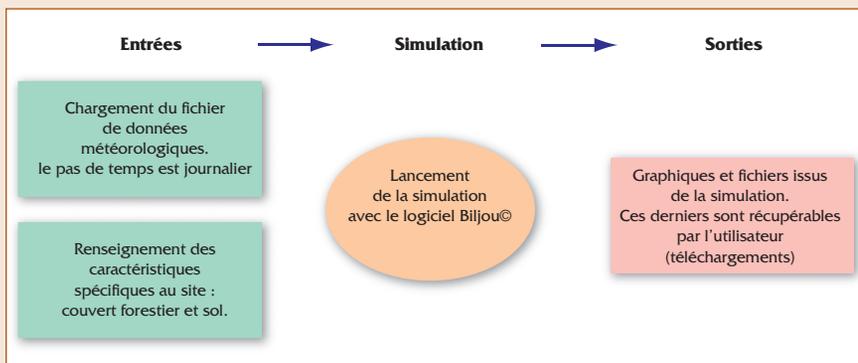


Schéma du déroulement d'une simulation.

transpiration potentielle), les paramètres clés des deux interfaces sol-arbre (enracinement, réserve utile) et couvert – atmosphère (phénologie, indice foliaire). Une présentation détaillée de ce qu'est un bilan hydrique et de la manière dont il peut se modéliser sont également présentées. Sur chacune des fiches, l'utilisateur est redirigé vers une bibliographie de référence en langue française qu'il est vivement recommandé de lire pour mieux comprendre le contenu de la fiche. Les fichiers en format PDF correspondants sont même téléchargeables sur un simple clic, pour s'assurer que l'utilisateur ne rencontrera pas de difficulté pour s'auto-former.

→ un outil de calcul de bilan hydrique maintenant largement utilisé par la re-

cherche (BILJOU®). Un développeur informatique spécifique a été réalisé pour rendre l'outil convivial et pédagogique. Nous insistons sur le fait que l'autoformation réalisée grâce à la lecture des fiches pédagogiques est un préalable indispensable à la compréhension et à la bonne mise en œuvre de cet outil.

Le public intéressé par l'utilisation de cet outil est composé de gestionnaires et d'experts forestiers, de personnes chargées de développement ou de formation en matière de bioclimatologie, de sylviculture, d'écophysiologie ; au-delà, cet outil est aussi accessible, moyennant une inscription préalable, à la recherche et à l'enseignement.

Pour conduire et réaliser ce projet, un

groupe formé de deux chercheurs et deux ingénieurs informaticiens de l'UMR EEF a travaillé de façon coordonnée sur différents aspects :

- rédaction de fiches et sélection de la bibliographie appropriée,
- développement de l'architecture du site, résolution de problèmes informatiques, rédaction de documents d'information,
- tests de l'outil dans différentes configurations de données et de requêtes,
- démarches de protection de la propriété intellectuelle, en relation avec le service juridique de l'Inra, en particulier pour le contrôle de l'utilisation de l'outil et la mise en œuvre des solutions informatiques et organisationnelles adaptées (licences).

### Contenu du site web

Ce site, hébergé par un serveur de l'Inra, possède 6 rubriques principales (voir la copie d'écran ci-dessus) :

- la page d'accueil,
- la présentation du projet lui-même et de ses objectifs,
- une liste non exhaustive des questions qui nous sont souvent posées,
- un ensemble de 9 fiches didactiques sur le bilan hydrique et ses facteurs de variation. Chaque fiche (voir un exemple ci-dessus) comporte entre 3 et 5 pages,
- l'outil de simulation qui constitue le « cœur » du site et qui s'accompagne d'une rubrique d'aide à son utilisation,
- une page pour contacter la cellule BILJOU®.

### Accès au site web, conditions d'utilisation de l'outil

La consultation de la partie pédagogique du site sera en libre accès, ouverte à tous sans autorisation préalable. Par contre, pour éviter une utilisation abusive de l'outil de simulation et coordonner au mieux les conseils à son utilisation, ce dernier ne sera accessible qu'après le dépôt d'une demande

et son acceptation par le comité ad hoc. Ce comité contrôlera le champ d'application de l'outil, l'activité professionnelle de l'utilisateur et les objectifs de ses calculs de bilan hydrique. Dès validation et après lecture des fiches d'autoformation, l'utilisateur sera en mesure de réaliser lui-même des simulations de bilan hydrique pour un peuplement d'intérêt. En complément, et pour inciter à l'utilisation optimale et raisonnée de l'outil, deux sessions de formation, assurées par des chercheurs et des ingénieurs de l'UMR EEF, sont programmées courant 2011. Elles permettront de former un petit noyau d'utilisateurs assez diversifiés et qui seront ensuite des personnes ressources pour l'utilisation de l'outil.

Pour la mise en route de la simulation sous Biljou®, l'utilisateur doit fournir, par chargement temporaire<sup>(1)</sup> en ligne, les informations suivantes :

un fichier de données météorologiques quotidiennes contenant les 5 paramètres requis : pluie, température, rayonnement global, vitesse du vent, déficit de saturation de l'air. Ces données peuvent être acquises, par exemple, auprès de Météo-France ou provenir du réseau Renecofor, les caractéristiques du site d'intérêt : paramètres relatifs aux deux interfaces, le couvert (indice foliaire, date de débourrement et chute des feuilles pour les décidus) et le sol (pour cha-

que couche de sol, RU, proportion de racines fines, densité apparente, humidité à pF 4.2).

En sortie, les résultats des simulations sont organisés sous forme de deux fichiers en format texte téléchargeables par l'utilisateur :

un premier fichier qui récapitule annuellement les principaux flux du bilan hydrique, et surtout trois indicateurs de contrainte hydrique : sa durée (en jours), son intensité et sa précocité, un second fichier au pas de temps journalier, qui permet en particulier de suivre l'évolution de la réserve en eau du sol.

De plus, cet outil illustre en direct les sorties du calcul grâce à divers types de graphiques : classement des années sèches pour la période de simulation (si plusieurs années), variations de la réserve en eau du sol pour une année choisie par l'utilisateur, etc.

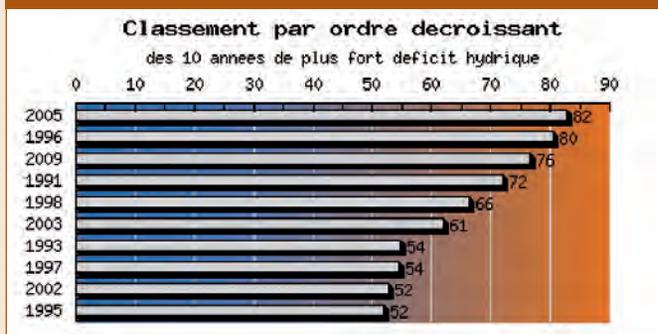
Cet outil est dérivé d'un modèle plus complexe utilisé en recherche, nécessitant en outre davantage de paramètres (Granier *et al.*, 1995) ; nous avons simplifié son paramétrage, sans altérer ses performances, pour en faciliter l'utilisation par des gestionnaires. Lors de sa conception, le modèle a été testé pour un grand nombre d'espèces, de conditions de climat, de types de sol et de structures de couverts. Il a été validé par comparaison avec des me-

sures directes de réserve en eau du sol, et pour chaque flux élémentaire (interception, transpiration et évapotranspiration des peuplements et de leur sous-étage). Biljou® fournit des simulations réalistes, notamment car son pas de temps est journalier. Cela le différencie d'autres modèles utilisant des données décennales ou mensuelles et qui ne représentent pas fidèlement les processus écophysiologiques de régulation et de dynamique de l'eau dans le sol. Ce pas de temps supprime souvent la représentation des périodes de déficit en eau du sol et n'est donc pas approprié pour un diagnostic sécheresse. De plus, le modèle calcule des formules d'ETP de référence, intégrant en outre la sécheresse atmosphérique de l'air. Enfin, et surtout, le modèle gère l'évolution temporelle du couvert (dans le cas des feuillus) et son incidence sur la consommation en eau du peuplement ; le modèle reproduit enfin la dynamique d'absorption de l'eau par les racines en fonction de leur distribution et de l'état hydrique des différentes couches du sol. ■

(1) Dès la déconnexion de l'utilisateur, les calculs et fichiers météo et paramètres sont automatiquement effacés du serveur.

**Cet outil est consultable à l'adresse suivante (<https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/>). Les sessions de formation nécessaires pour une utilisation raisonnée de BILJOU®, seront proposées courant 2011.**

**Graphique 3 : exemple de classement des 10 années à plus fort déficit hydrique au cours d'une série temporelle de 25 ans**



## Bibliographie

- Granier A., Badeau V., Bréda N. (1995). *Modélisation du bilan hydrique des peuplements forestiers*. Revue Forestière Française, XLVII, 59-68. (Téléchargeable sur le site RFF).

### Résumé

Un site Internet, mis au point par l'Inra de Nancy, présente deux outils pratiques pour répondre aux questions des gestionnaires : des fiches pédagogiques sur les flux d'eau, et un outil de calcul de bilan hydrique BILJOU®. Une modélisation simule la durée, l'intensité, les flux d'eau pour le calcul du bilan hydrique, et permet de mieux connaître l'adéquation station/espèce en rapport avec la sylviculture.

**Mots-clés :** site Internet BILJOU®, bilan hydrique, modélisation.