

CONTEXTE ET OBJECTIFS DU PROJET

Comme toutes les sécheresses intenses ou récurrentes passées, celle exceptionnelle de 2003 a induit de nombreux déperissements dans la zone tempérée ouest et centre européenne. Cet événement extrême, a été attribué par les climatologues au changement climatique. Celui-ci tend à entraîner des augmentations de la variabilité climatique inter-annuelle et la probabilité d'occurrence d'évènements extrêmes, en particulier épisodes de sécheresse, de pluies intenses ou encore anomalies thermiques.

De nombreuses questions ont émergé de la part des forestiers sur cette période de crises sanitaires multi-essences en forêt. Parmi celles-ci reviennent souvent des interrogations sur les méthodes de quantification de l'intensité d'une sécheresse en milieu forestier ou bien sur le rôle des propriétés du sol et de la gestion du peuplement sur l'intensité et la fréquence d'occurrence de ce phénomène.

Ces questionnements mettent en exergue le besoin d'une actualisation des connaissances sur les différents flux d'eau ainsi que sur leurs bilans. Ils révèlent de plus le besoin d'outils opérationnels permettant de diagnostiquer l'impact du climat, du sol et du peuplement (ainsi que de sa gestion) sur le cycle de l'eau.

Ce projet a eu pour objectif de développer un site web dédié au bilan hydrique forestier afin de fournir des éléments de réponses aux questionnements émergents sur le bilan hydrique des peuplements.

CONTENU DU PROJET



OUVRAGE
TECHNIQUE



RAPPORT
SCIENTIFIQUE



OUTIL
OPÉRATIONNEL



OUTIL DE
RECHERCHE

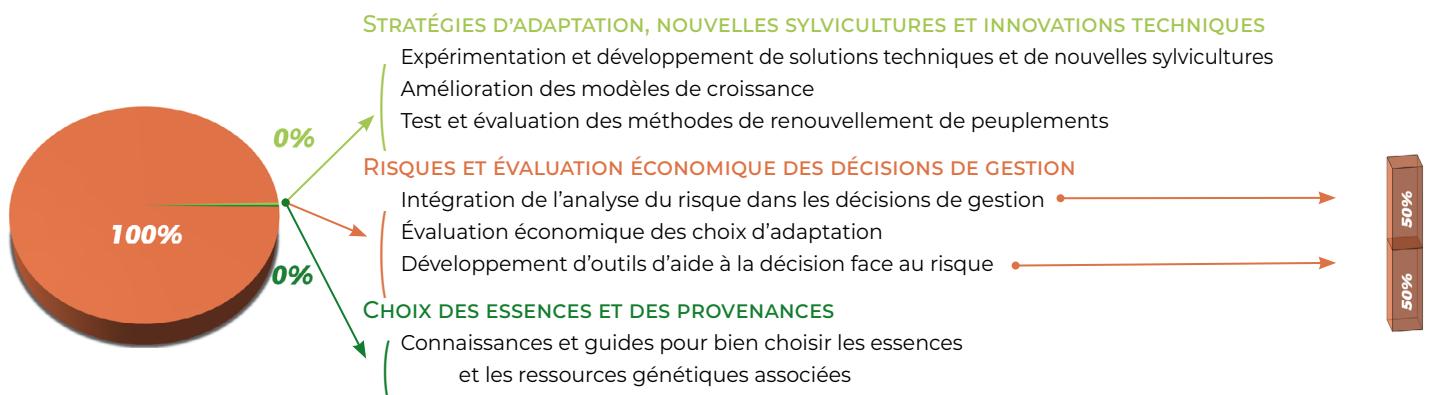
Ce site internet (Fig. 1) se scinde en six rubriques :

- «Accueil» présente le projet, les propriétaires et financeurs ;
- «Présentation» rappelle le contexte motivant ce travail ;
- «Question des utilisateurs» reprend une liste d'interrogations concrètes des forestiers ;
- «Forêts et eau» contient un ensemble de fiches techniques sur le bilan hydrique et ses variations ;
- «Utiliser l'outil» permet la mise en œuvre du calcul en ligne avec une page «Guide utilisateur» qui rappelle comment utiliser l'outil et le format des fichiers attendus.
- «Contact» permet l'envoi d'un message électronique aux responsables de la cellule BILJOU©.



Figure 1 : Présentation du site web BILJOU©.

CONTRIBUTION DU PROJET AUX THÉMATIQUES D'AFORCE



PARTENAIRES DU PROJET

MODE D'EMPLOI

LE COURS EN LIGNE

Le cours en ligne (en libre consultation) comporte dix fiches pédagogiques (Fig. 2).

Ces fiches renseignent tout d'abord sur la définition, la mesure, les ordres de grandeurs et la modélisation des grands flux d'eau dans les peuplements forestiers. Elles font état des variables météorologiques (précipitation et évapotranspiration potentielle) mais aussi des paramètres relatifs à deux interfaces clés : sol – racine (enracinement, réserve utile) et couvert – atmosphère (phénologie, indice foliaire). La notion de bilan hydrique, son processus de modélisation, ainsi que des indicateurs pertinents pour caractériser les déficits hydriques sont explicités.

Enfin, une page est dédiée aux notions d'eau verte et bleue, car les flux de drainage intéressent aussi les hydrologues et ont un intérêt dans les recherches sur les services écosystémiques forestiers.

L'utilisateur a, pour chaque fiche, la possibilité de consulter une bibliographie d'articles scientifiques de référence, en français ou en anglais, dont les fichiers sont téléchargeables, afin de faciliter l'auto-formation qui est un préalable à l'utilisation avisée de l'outil.



Figure 2 : Extrait d'une page web pédagogique sur le bilan hydrique.

L'OUTIL DE CALCUL DU BILAN HYDRIQUE EN LIGNE

Cet outil ([Fig. 3](#)) est dérivé d'un modèle plus complexe utilisé en recherche¹, nécessitant en outre davantage de paramètres et permettant davantage de fonctionnalités.

Il a été validé par comparaison avec des mesures directes de réserve en eau du sol, chaque flux élémentaire (transpiration des arbres, évapotranspiration du sol et de la strate herbacée, interception des précipitations).

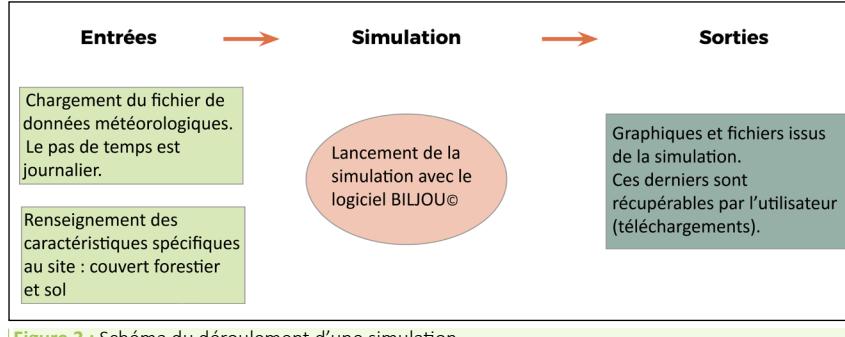


Figure 3 : Schéma du déroulement d'une simulation.

Pour l'exécution d'une simulation en ligne par BILJOU© (Fig. 4) il est nécessaire que l'utilisateur fournisse, par chargement de fichiers temporaires (immédiatement effacés du serveur après déconnexion), les informations suivantes :

- Un fichier de données météorologiques au pas de temps quotidien disposant de cinq paramètres : la pluie, la température, le rayonnement global, la vitesse du vent ainsi que le déficit de saturation de l'air ;
 - Un fichier de données sur les caractéristiques du site renseignant les paramètres relatifs aux deux interfaces : le couvert (indice foliaire, date de débourrement et chute des feuilles dans le cas d'essences décidues) et le sol (pour chaque couche de sol, la réserve utile, la proportion de racines fines, la densité apparente et l'humidité au point de flétrissement).

N.B : Les données météorologiques peuvent être acquises via le réseau RENEFOR ou bien via Météo-France.

Simulation

Caractéristiques du sol et du sous-sol →

Fichier de caractéristiques :
 Aucun fichier sélectionné.

[masquer le formulaire](#)

Titre de la simulation :

Données géographiques →

Latitude :
Longitude :
Altitude :



Sol →

Type : Sempervivent
 Diclidium

Jour de débrouement :

Jour de chute des feuilles :

LAI max :

Nombre de couches :  

Profondeur de la couche (cm)	Réserves en eau (mm)	Proportion de racines	Humidité pondérale pF4.2	Densité apparente
Couche 1				
Couche 2				

Données météorologiques →

Fichier météorologique :
 Aucun fichier sélectionné.

Figure 4 : Page de saisie d'une simulation via l'outil de calcul en ligne BILJOU©.

Résultats de simulation

Les résultats des simulations sont exprimés sous deux formes distinctes.

Résultats chiffrés (Fig. 5)

Deux fichiers (au format texte) sont téléchargeables par l'utilisateur :

- Le premier récapitule annuellement les principaux flux du bilan hydrique ainsi que la description de trois indicateurs caractérisant la contrainte hydrique (sa durée, son intensité ainsi que sa précocité) ;

- Le second au pas de temps journalier permet de suivre l'évolution de l'évapotranspiration potentielle (ETP) Penman, de l'évapotranspiration réelle (ETR) du peuplement, de la transpiration des arbres, du drainage et de la réserve en eau du sol (en absolu et en relatif).

Il permet ainsi de représenter fidèlement les processus écophysiologiques.

simulation.journalier.txt-1 - Bloc-notes													
Fichier	Édition	Format	Affichage	Aide	ANNEE	JOUR	In	ETP	ETR	TR	Reserv	REW	Dr
1993	1	3.1	2.6	3.5	0.4	1258.6	1.000	50.1					
1993	2	2.9	2.4	3.3	0.4	1258.6	1.000	132.7					
1993	3	4.3	3.6	4.3	0.4	1259.4	1.000	286.3					
1993	4	6.0	5.8	7.2	1.2	1259.8	0.998	8.8					
1993	5	0.6	0.6	0.6	0.3	1259.8	0.998	154.0					
1993	6	1.5	1.3	1.5	0.8	1259.0	1.000	150.2					
1993	7	3.1	2.6	3.1	0.4	1259.0	1.000	259.4					
1993	8	6.0	41.5	35.9	29.9	1229.1	0.976	198.5					
1993	9	6.0	23.8	22.6	16.6	1242.4	0.987	72.7					
1993	10	6.0	23.5	22.3	16.3	1242.7	0.987	235.7					
1993	11	1.1	1.5	1.5	0.4	1252.1	0.998	1.7					
1993	12	6.0	35.6	31.7	24.7	1233.3	0.980	149.8					
1993	13	6.0	13.6	13.4	7.4	1251.6	0.994	12.8					
1993	14	6.0	9.8	10.2	4.2	1254.8	0.997	69.8					
1993	15	6.0	14.4	14.0	8.0	1251.0	0.994	212.9					
1993	16	2.5	2.1	2.8	0.3	1258.7	1.000	220.3					
1993	17	6.0	29.5	27.0	21.0	1238.0	0.983	46.4					
1993	18	6.0	45.3	38.8	32.8	1226.2	0.974	272.0					
1993	19	6.0	52.4	47.5	34.0	1223.1	0.974	1.1					
1993	20	6.0	47.6	40.5	34.5	1224.5	0.973	154.8					
1993	21	6.0	13.9	12.9	6.9	1252.1	0.995	101.4					
1993	22	3.7	43.8	35.8	32.1	1226.9	0.974	8.1					
1993	23	3.8	3.2	3.8	0.0	1259.0	1.000	17.0					
1993	24	6.0	29.7	27.1	21.1	1237.9	0.983	69.3					
1993	25	6.0	6.1	5.5	1.5	1257.5	0.999	245.3					
1993	26	6.0	26.1	24.1	18.0	1250.0	0.998	39.3					
1993	27	6.0	21.5	20.4	14.4	1244.6	0.989	56.6					
1993	28	6.0	13.3	13.1	7.1	1251.9	0.994	167.0					
1993	29	3.2	2.7	3.6	0.4	1258.6	1.000	80.6					
1993	30	6.0	16.8	16.2	10.2	1248.8	0.992	119.4					
1993	31	6.0	52.4	44.1	38.1	1220.9	0.978	221.6					
1993	32	6.0	8.0	8.8	2.8	1246.2	0.998	78.4					
1993	33	2.0	20.8	17.2	15.2	1243.8	0.988	2.6					

Figure 5 : Exemple de résultat en fichiers texte au pas de temps journalier, issus d'une simulation de l'outil de calcul en ligne BILJOU© et permettant de suivre les variables modélisées.

Résultats graphiques (Fig. 6)

Cet outil illustre à l'écran les sorties du calcul à l'aide de divers graphiques.

Des diagrammes en barres peuvent représenter le classement des années à plus fort déficit hydrique (Fig. 6.a) ou des courbes peuvent illustrer l'évolution de la réserve en eau du sol, de l'ETR ou de l'interception des précipitations au cours de l'année (Fig. 6.b), par exemple.

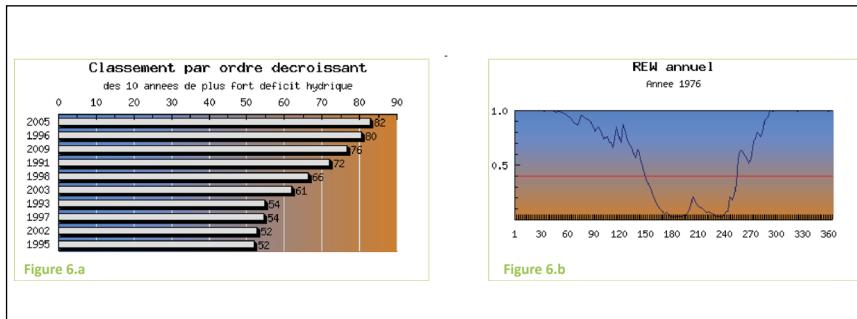


Figure 6 : Exemples de représentations graphiques des résultats de l'outil de calcul en ligne BILJOU©. Fig. 6.a : Exemple de classement des 10 années à plus fort déficit hydrique sur une série de 25 ans.

Fig. 6.b : Exemple d'évolution intra-annuelle de la réserve en eau du sol pour une année.

Exemples de simulations déjà réalisées

Quelques exemples d'applications déjà réalisées sont listés ci-dessous :

- L'étude de l'impact, en termes de fréquence et d'intensité, de l'aléa sécheresse sous scénarios climatiques contrastés à l'horizon 2100 (exemple issu du programme ANR CLIMATOR) ;
- L'étude de la variabilité géographique de l'intensité locale des déficits hydriques sous hêtraie de plaine en limite ouest d'aire de répartition (exemple issu du programme ANR DRYADE) ;
- L'étude de la consommation en eau de peuplements de douglas conduit selon différents itinéraires techniques contrastés en contexte de déperissement (exemple issu du programme ANR DRYADE).

LES PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS

BILJOU© permet tout d'abord l'intégration progressive du fonctionnement hydrique dans les raisonnements sylvicoles. L'outil fournit des simulations réalistes de scénarios sylvicoles et/ou climatiques ainsi que des quantifications de la consommation en eau des peuplements et des phénomènes de sécheresse. L'outil quantifie aussi l'incidence du type de couvert, de sa phénologie (couverts décidus) ainsi que son évolution sur la consommation en eau du peuplement. Il reproduit la dynamique d'absorption de l'eau par les racines selon leur distribution et selon l'état hydrique des différentes couches du sol. Il se différencie d'autres modèles aux pas de temps plus longs, ne représentant pas fidèlement les processus écophysiologiques comme la régulation stomatique et l'interception de précipitations. Enfin, comparé à d'autres modèles écophysiologiques, il ne nécessite qu'un nombre limité de paramètres à fournir par l'utilisateur.

PUBLIC CIBLE ET FINALITÉ DU PROJET

Difficulté d'appropriation : FAIBLE

MOYENNE

FORTE

Absence de cette finalité pour ce public : O

FINALITÉ PUBLIC CIBLE	Gestion Outils et recommandations	Recherche et développement Outils et création de contenu	Pédagogie Acquisition des connaissances
Propriétaires forestiers	●	○	●
Personnel forestier technique	●	○	●
Acteurs de la recherche et du développement	●	●	●
Étudiants de l'enseignement supérieur	○	●	●
Étudiants de l'enseignement technique	○	○	●

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 et de surveillance de la santé des forêts. Cet outil est aussi à destination des enseignants, des chercheurs et des étudiants. Deux formations, réalisées à l'INRA Champenoux, ont permis de former les premières promotions d'utilisateurs. Certains établissements de formations (BTS forestiers) utilisent régulièrement l'outil en ligne pour leurs enseignements et projets.

CASTING

Le site web et l'outil BILJOU© ont été développés par l'UMR EEF et l'INRA.

Le coordinateur du projet était M. André Granier (équipe fonctionnement intégré de l'arbre et de l'écosystème).

Ce projet a été mené avec la participation de Mme Nathalie Bréda (équipe phytoécologie forestière) ; de M. Damien Maurice et de M. Guillaume Ehinger (plateau technique de systèmes d'informations géographiques & bases de données).

POUR OBTENIR PLUS D'INFORMATIONS

Plus d'informations sont disponibles sur la [page projet BILJOU©](#) du RMT AFORCE ainsi que sur la page [outils sylvoclimatiques](#) du RMT AFORCE.

Cet outil est consultable à l'adresse suivante (<https://appgeodb.nancy.inrae.fr/biljou/fr/>).

Un service de consultation de cartes de sécheresse en climat passé, présent et futur est en cours de développement (financements MP ACCAF, MAAF- Département Santé des Forêts, MAAF FORET-21).

¹Granier, 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(2-3), 269-283.

FINANCEURS DU PROJET

