



**HAL**  
open science

## **Biljou©: Modèle de bilan hydrique forestier journalier et un site web dédié à la quantification des épisodes de sécheresse en forêt**

Nathalie Bréda, Vincent Badeau, Joseph Levillain, Emeline Chaste, Damien Maurice, Guillaume Ehinger, Nathan Rober, Thimotée Olivard, Manon Lorang, Nathalie Leroy, et al.

### ► To cite this version:

Nathalie Bréda, Vincent Badeau, Joseph Levillain, Emeline Chaste, Damien Maurice, et al.. Biljou©: Modèle de bilan hydrique forestier journalier et un site web dédié à la quantification des épisodes de sécheresse en forêt. Cycle “ Forêt, sol et eau, des alliés naturels ”, Forêt Méditerranéenne, Apr 2023, Marseille, France. hal-04216426

**HAL Id: hal-04216426**

**<https://hal.inrae.fr/hal-04216426>**

Submitted on 24 Sep 2023

**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.

« Forêt, sol et eau : des alliés naturels », Marseille, 24-25 avril 2023

## ➤ Biljou© : un modèle de bilan hydrique forestier journalier et un site web dédié à la quantification des épisodes de sécheresse en forêt

Nathalie BREDA, INRAE – Centre Grand Est - Nancy  
([nathalie.breda@inrae.fr](mailto:nathalie.breda@inrae.fr))

Equipe Biljou© : Nathalie BREDA, Vincent BADEAU, Joseph LEVILLAIN, Emeline CHASTE, Damien MAURICE, Guillaume EHINGER, Nathan ROBERT, Thimotée OLIVAR, Manon LORANG, Nathalie LEROY, Alain BENARD, André GRANIER

UMR  
**Silva**

  
**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**  
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**INRAE**

  
**ECOFOR**  
ÉCOSYSTÈMES FORESTIERS

**AFORCE**

  
**arbre**

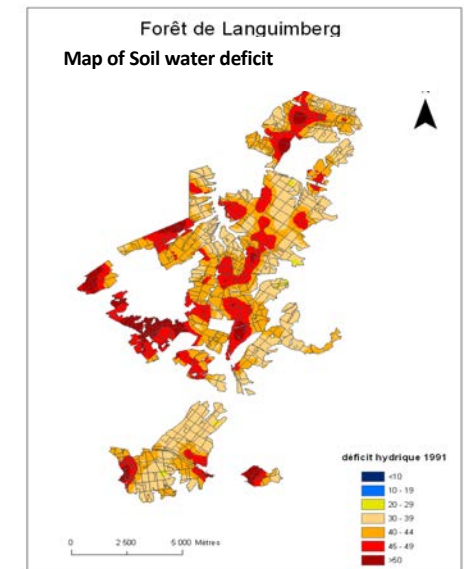
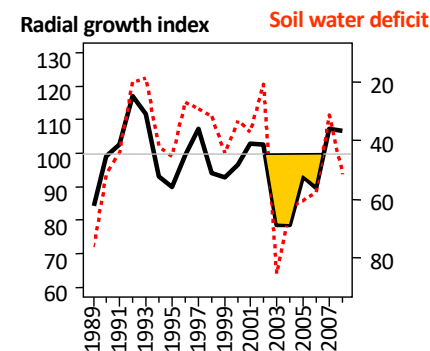
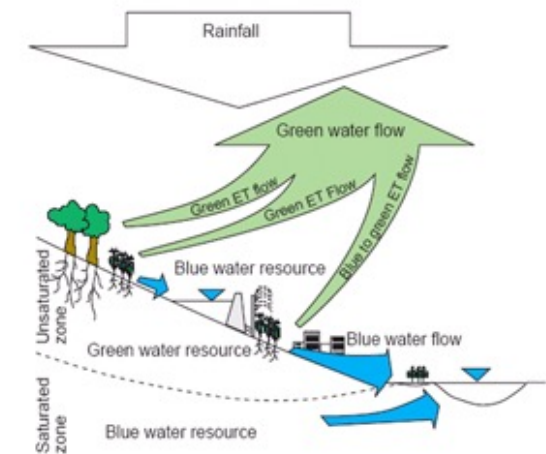
  
**ANR**  
PROJET FINANCÉ PAR L'ANR  
PROJECT FUNDED BY THE ANR

  
**RÉPUBLIQUE FRANÇAISE**  
*Liberté • Égalité • Fraternité*  
Ministère de l'alimentation,  
de l'agriculture et de la pêche  
Département de  
la Santé des Forêts

Métaprogramme ACCAF - Adaptation au Changement Climatique de l'Agriculture et de la Forêt - INRAE

## ➤ Pourquoi le bilan hydrique et flux d'eau dans les écosystèmes forestiers ?

- Services climatiques pour les communautés de l'impact et de l'adaptation : conséquences du climat passé, présent et futur sur le cycle de l'eau, du bilan hydrique et carboné, impact sur la productivité forestière, sur la santé des forêts
- Calcul du drainage : un flux d'eau qui n'est pas mesurable ; applications pour les flux d'éléments lessivés ou en hydrologie (eau bleue)
- Besoin de quantification des épisodes de sécheresse : état hydrique du sol et indices caractérisant l'aléa sécheresse (durée, intensité, date d'occurrence)
- Modèle bioclimatique quotidien : qui inclut les mécanismes de régulation, l'interception des pluies ... chaque flux d'eau élémentaire est calculé puis la réserve en eau du sol disponible pour les arbres



INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA

# ➤ BILJOU© au départ : un modèle par et pour la recherche

- Un modèle de bilan hydrique forestier, au pas de temps quotidien, 1D, publié dans Ecological Modelling, en 1999
- Des enrichissements continus



Ecological Modelling 116 (1999) 269–283

**ECOLOGICAL  
MODELLING**

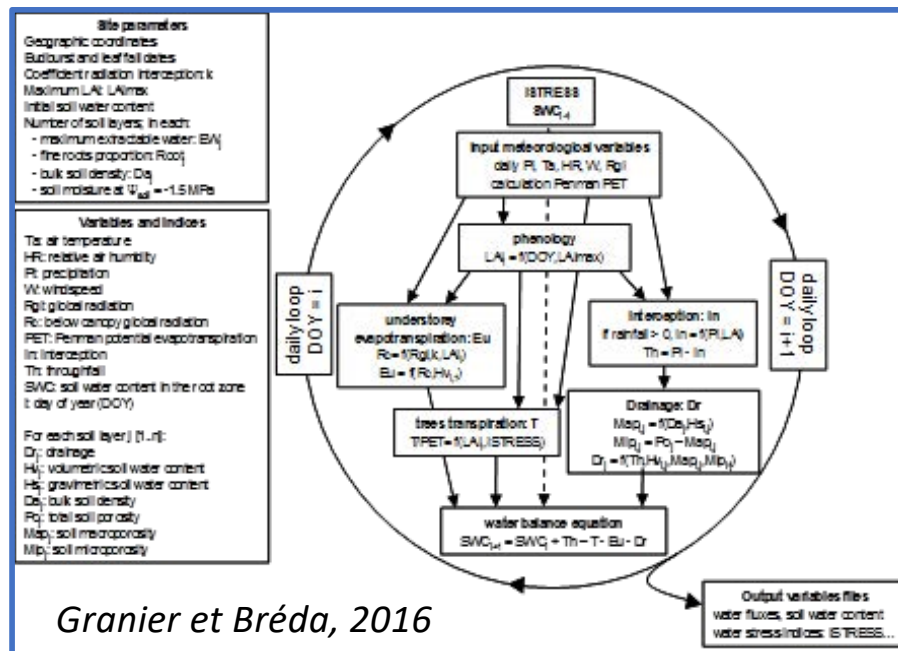
A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands

A. Granier <sup>a</sup>, N. Bréda <sup>a,\*</sup>, P. Biron <sup>b</sup>, S. Villette <sup>c</sup>

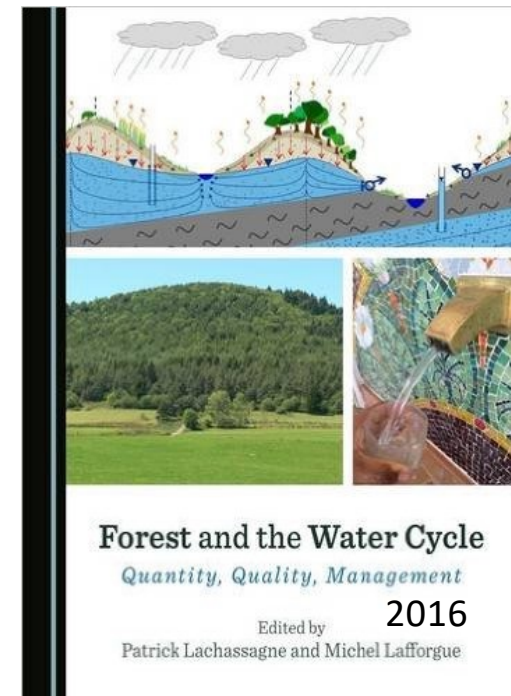
<sup>a</sup> Ecophysiologie Forestière, INRA, F-54 280 Champenoux, France

<sup>b</sup> Centre d'Etudes et de Recherches Eco-Géographiques, CNRS, 3 rue de l'Argonne, F-67083 Strasbourg, France

<sup>c</sup> Cycles Biogéochimiques, INRA, F-54 280 Champenoux, France



Granier et Bréda, 2016



INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA

## ➤ 2003 : une demande de calculs de bilan hydrique en forêt qui explose

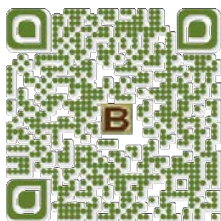
Trouver une alternative à l'exécution du modèle pour un grand nombre d'utilisateurs potentiels, y compris non recherche : choix d'un site web autoformation et accompagnement pour exécuter le modèle en ligne

### LA SÉCHERESSE DE 2003 DANS LE CONTEXTE CLIMATIQUE DES 54 DERNIÈRES ANNÉES : ANALYSE ÉCOPHYSIOLOGIQUE ET INFLUENCE SUR LES ARBRES FORESTIERS

---

NATHALIE BRÉDA - ANDRÉ GRANIER - GILBERT AUSSENAC

---



- Publication scientifique
- Déclaration d'invention Granier & Bréda
- Choix de la pédagogie et de l'accompagnement, déploiement progressif
- Constitution et maintien à long terme d'une équipe projet INRAE mixant scientifiques, ingénieurs, contractuels & sous-traitance (scientifique, web, base de données, infrastructure de données spatiales)
- Recherche de financements pour renforcer nos capacités de développements et stockages informatiques
- Organisation de formations
- Mise en conformité RGPD
- Validation des licences (manuelle)
- Réponses aux questions des utilisateurs
- Une version recherche plus riche, pour nos propres travaux et collaborations scientifiques



INRAE

Biljou©

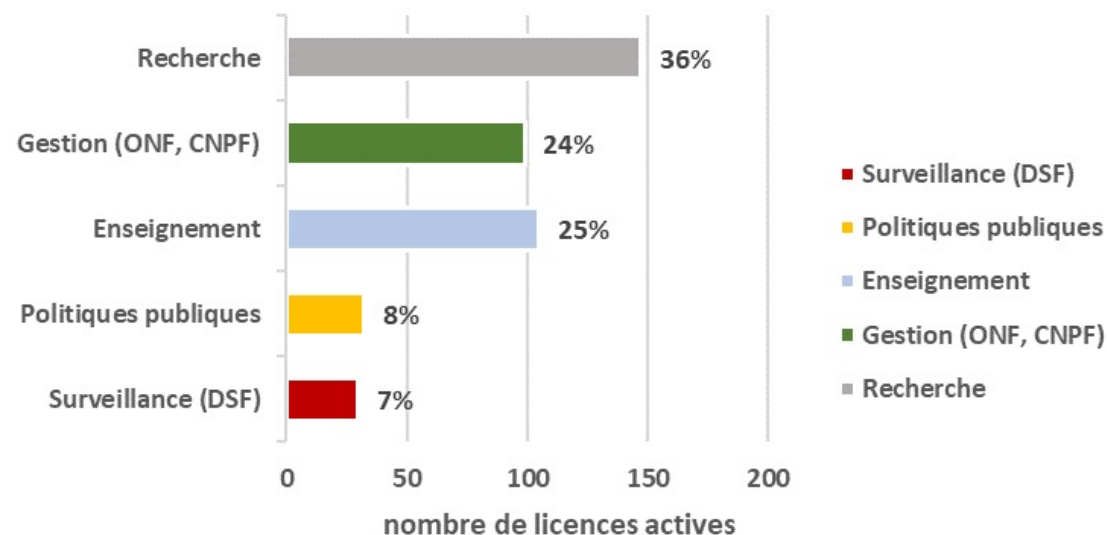
25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA

## ➤ Exécution du modèle Biljou© en ligne : pour quels utilisateurs & besoins ?

Accès moyennant la création d'un compte et l'acceptation d'une licence d'utilisation du logiciel

- **Pour la recherche** services écosystémiques, dendrochronologie, santé des forêts, bilans minéraux, sylviculture, impact et adaptation au changement climatique ...
- **Pour la formation** : projets pédagogiques multidisciplinaires et TP en ligne pour les étudiants
- **Pour la gestion forestière** : aménagement forestier avec prise en compte des risques sécheresse, rôle de la sylviculture, feuillus vs résineux ...
- **Pour la surveillance de la santé des forêts** : diagnostic d'anomalie de régime hydrique, risque et vulnérabilité des peuplements
- **Mais licence ne permettant pas d'usage commercial (Bureaux d'études)**

Principales catégories d'utilisateurs



Au 31 décembre 2022 :

446 licences avec compte actif, dans 29 pays

20% d'utilisateurs de la version anglaise

2/3 non recherche



INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA



## ➤ BILJOU© : un site web, 2 langues (français & anglais), 3 et bientôt 4 services

- [Pages web d'E-learning](#)
- [Un outil permettant d'exécuter Biljou© en ligne](#)
- [Une interface de consultation d'indicateurs de sécheresse](#) pré calculés en France métropolitaine
  - [en climat passé](#) : à partir de l'archive SAFRAN (1959-2019)
  - [en climats futurs](#) : à partir de scénarios de forçage radiatif (RCP) x modèles climatiques x méthode de descente d'échelles (*automne 2023*)



**BILJOU**  
Modèle de bilan hydrique forestier  
INRAE - UMR Silva

Bienvenue Nathalie Breda | Gérer mon compte | Se déconnecter

- Accueil
- Présentation du projet
- Questions des utilisateurs
- Forêts et Eau
  - Bilan Hydrique**
  - Transpiration et régulation
  - Interception des précipitations
  - Réserve en eau du sol
  - Indice foliaire et phénologie
  - Météorologie
  - Drainage
  - Indicateurs de sécheresse
  - Modélisation
  - Eau verte à Eau bleue
- Utiliser l'outil (accès réservé)
  - Référence à l'outil
  - Guide utilisateur
- Cartes de sécheresse
  - Accès aux cartes
- Contact

### Bilan hydrique

#### Définition

Etablir un bilan de matière (ici pour l'eau) consiste à :

1. définir un système physique
2. quantifier les flux d'eau qui entrent et qui sortent du système sur un intervalle de temps fixé
3. écrire l'équation de conservation de la matière

$$\text{somme des flux qui entrent} - \text{somme des flux qui sortent} = \text{variation du stock}$$

#### Le choix du système

Ce bilan est établi pour une surface au sol unitaire et homogène, en général 1 m<sup>2</sup> ou bien 1 ha. Le système considéré inclut les houppiers des arbres et la partie du sol contenant les systèmes racinaires. Les flux élémentaires sont exprimés en mm d'eau (1 mm = 1 L/m<sup>2</sup>).

#### Les flux entrants

Ce sont principalement les **précipitations** ; il peut toutefois y avoir des remontées capillaires, notamment lors de la présence d'une nappe. Des **flux latéraux** (ruissellement, drainages latéraux) peuvent aussi exister, mais on se placera dans des situations où les flux provenant de l'amont sont égaux à ceux qui sortent en aval de la parcelle.

#### Les flux sortants

- La **transpiration des arbres (T)**, résultant d'un transfert de l'eau absorbée dans le sol par les racines fines vers les feuilles via le xylème des arbres,
- L'**interception des précipitations (In)**, qui représente le flux d'eau qui s'évapore à la surface des feuilles lorsque celles-ci sont humectées par la pluie. Il faut signaler que la neige peut elle aussi être interceptée et qu'une partie s'évapore (sublimation)



INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA

## ➤ BILJOU© web-services

- 1) E-learning web pages : bilan hydrique, transpiration et sa régulation, réserve en eau du sol, phénologie et LAI, météorologie, drainage, indicateur de sécheresse, modélisation, eau verte et eau bleue ; littérature et pdf à télécharger, en français ou anglais ; pour chaque flux d'eau ou paramètre : ordre de grandeur, unités, métrologie

**BILJOU**  
Modèle de bilan hydrique forestier  
INRAE - UMR Silva

Bienvenue Nathalie Breda | Gérer mon compte | Se déconnecter

Accueil  
Présentation du projet  
Questions des utilisateurs  
**Forêts et Eau**  
Bilan Hydrique  
Transpiration et régulation  
Interception des précipitations  
Réserve en eau du sol  
Indice foliaire et phénologie  
Météorologie  
Drainage  
Indicateurs de sécheresse  
Modélisation  
Eau verte & Eau bleue

**Bilan hydrique**

Définition

Etablir un bilan de matière (ici pour l'eau) consiste à :

**BILJOU**  
Modèle de bilan hydrique forestier  
INRAE - UMR Silva

Bienvenue Nathalie Breda | Gérer mon compte | Se déconnecter

Accueil  
Présentation du projet  
Questions des utilisateurs  
**Forêts et Eau**  
Bilan Hydrique  
Transpiration et régulation  
Interception des précipitations  
Réserve en eau du sol  
Indice foliaire et phénologie  
Météorologie  
Drainage  
Indicateurs de sécheresse  
Modélisation  
Eau verte & Eau bleue

Utiliser l'outil (accès réservé)  
Référence à l'outil  
Guide utilisateur

Cartes de sécheresse  
Accès aux cartes

Contact

**L'eau verte et l'eau bleue**

L'eau des précipitations peut être décomposée en deux fractions selon sa vitesse de transit dans le cycle de l'eau. La distinction eau bleue / eau verte a été proposée par Falkenberg en 1995.

Quand il pleut, une fraction de l'eau qui atteint le sol contribue à l'eau bleue (par ruissellement superficiel et par drainage vers les nappes d'eau souterraine) : le reste constitue l'eau verte.

- L'eau - bleue - est celle qui transite rapidement dans les cours d'eau, les lacs, les nappes phréatiques ; elle représente environ 40% de la masse totale des précipitations.
- L'eau - verte -, stockée dans le sol et la biomasse, qui est évaporée ou absorbée et évapotranspirée par les plantes et retourne directement à l'atmosphère ; c'est de loin la plus grande quantité, puisqu'elle totalise 60% de la masse des précipitations.
- L'eau bleue est transformée en eau verte par l'irrigation
- L'eau bleue peut être transportée, l'eau verte doit être consommée sur place par les plantes.
- L'eau verte est une ressource majeure, mais encore mal connue et sous-évaluée, pour la production agricole et forestière ; elle peut être quantifiée par les modèles de bilan hydrique. Ainsi, l'ETR calculée par le modèle Biljou constitue l'eau verte du peuplement, le flux de drainage constitue l'eau bleue restituée au milieu.

L'eau bleue utilisée par l'industrie et les ménages est en grande partie remise dans le circuit après traitement ; en revanche, l'eau bleue consommée par l'agriculture (irrigation) ou stockée dans le bois, n'est pas remise en circulation : elle reste liée dans les produits agricoles ou est transpirée et retourne comme eau verte dans l'atmosphère.

L'eau verte est nécessaire pour alimenter et maintenir les processus au sein des écosystèmes, ainsi que les fonctions, biens et services dispensés par ces écosystèmes. En même temps, il convient de fournir de l'eau bleue à la société. L'adaptation au changement climatique doit anticiper la gestion de ce compromis : assurer la fourniture d'eau aux arbres, aux animaux et aux personnes.

En plus du maintien de la santé des écosystèmes, les écosystèmes forestiers contribuent aux fonctions de régulations et aux services écosystémiques qui y sont liés : régulation des processus écologiques, cycles biogéochimiques, processus biosphériques. Les forêts contribuent en outre à la régulation du bilan de carbone, à la régulation du climat (via l'évapotranspiration réelle), à la régulation et à la fourniture d'eau, à la conservation et la formation des sols, aux cycles des éléments minéraux.

Eau verte et eau bleue. Source : Falkenmark and Rockström 2005.



INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA



## ➤ BILJOU© : 2<sup>nd</sup> service

- 1) E-learning web pages: bilan hydrique, transpiration et sa régulation, réserve en eau du sol, phénologie et LAI, météorologie, drainage, indicateur de sécheresse, modélisation, eau verte et eau bleue ; littérature et pdf à télécharger, en français ou anglais
- 2) Un outil de calcul en ligne : pour calculer vous même le bilan hydrique jour par jour de votre peuplement d'intérêt, en décrivant ses caractéristiques de sol et de couvert et en fournissant un fichier de données météorologiques ; fonctionnalités : interface graphique, téléchargement des résultats et de graphiques

**Météo quotidienne**  
(pluie, température, vitesse du vent, rayonnement global, humidité de l'air)

**BILJOU**  
Forest water balance model  
INRA EEF Joint Research Unit, Forest Ecology and Ecophysiology  
Welcome Nath Breda | Manage your account | Log out

**Stand and soil characteristics**

Characteristics file :  
Parcourir... param\_P34.txt

Hide the form

Simulation title: P34 Douglas

**Geographic data**

Latitude : 48  
Longitude : 6  
Elevation : 200

**Stand**

Type :  Evergreen  
 Deciduous

Budburst day (doy) : 1  
Complete leaf fall day (doy) : 366  
LAI max : 6.0

**Soil**

Number of strata :  2  3

	Depth of the layer (cm)	Water reserve (mm)	Proportion of roots	Gravimetric water content	Bulk density
Layer 1	59	81	0.8	0.09	1.2
Layer 2	110	72	0.2	0.09	1.4

**Meteorological data**

Meteorological data file :  
Parcourir... MTOpl34english.txt

Run the simulation Reset forms

**Localisation**

**Peuplement**

**Sol-racines**



INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA

# ➤ BILJOU© services: exécution en ligne du modèle, visualisation & téléchargement des résultats

## Tableau de bord de vos résultats de simulation

Titre et date	Caractéristiques	Données soumises	Fichiers résultats	Actions
F129 safran (23 Apr 2023 18:16:36)	LAI : 6 RU : 153 mm Nb d'années : 56 ans	Caractéristiques du site Données météorologiques	Résultats journaliers Résultats annuels	Afficher / Modifier / Supprimer

ANNEE	In	ETP	ETR	TR	Dr	NJstress	Istress	DEBstress
1959	64	725	396	282	222	97	51,9	195
1960	112	593	396	235	509	0	0	
1961	94	648	433	290	421	27	2,9	260
1962	78	675	382	252	319	121	40,6	175
1963	100	597	414	265	341	0	0	
1964	73	698	376	256	254	77	38	183
1965	109	564	381	224	601	0	0	
1966	106	629	425	270	503	0	0	
1967	109	677	445	283	419	18	3,3	206
1968	108	588	392	235	521	0	0	
1969	86	607	412	282	436	21	1	221
1970	115	629	440	280	588	0	0	
1971	92	688	443	298	146	70	11,2	205
1972	87	586	394	258	308	0	0	
1973	92	664	450	305	279	23	4,4	246

**BILJOU**  
Modèle de bilan hydrique forestier  
INRAE - UMRI 5184

**Résultats de simulation**  
Les calculs de la simulation se sont déroulés avec succès.  
Vous pouvez examiner les résultats à l'aide du tableau de bord et des graphiques présentés ci-dessous.

**Tableau de bord de vos résultats de simulation**

Titre et date	Caractéristiques	Données soumises	Fichiers résultats	Actions
F129 safran (23 Apr 2023 18:16:36)	LAI : 6 RU : 153 mm Nb d'années : 56 ans	Caractéristiques du site Données météorologiques	Résultats journaliers Résultats annuels	Afficher / Modifier / Supprimer

**Graphiques de vos résultats de simulation**

**Chronique journalière de REW**  
De 12 Aout, 1993 à 12 Aout, 2023

**Drainage (données annuelles)**  
De 1999 à 2014

**ETP et ETR**  
De 1999 à 2014

Contenu en eau relatif

Drainage (eau bleue)

Evapotranspiration réelle (eau verte)



INRAE

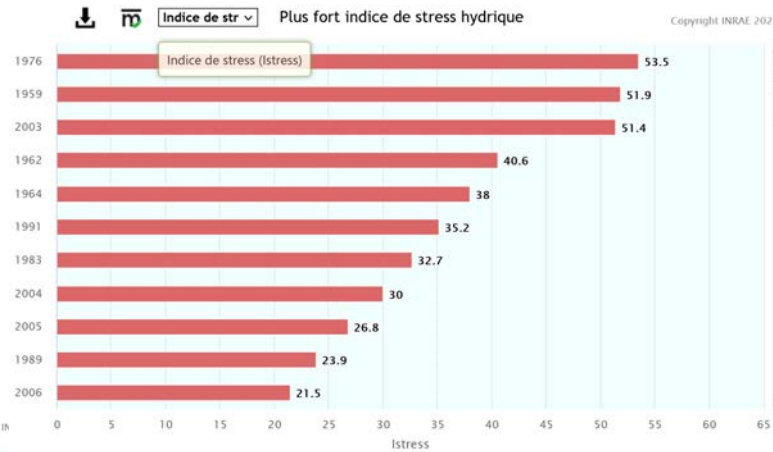
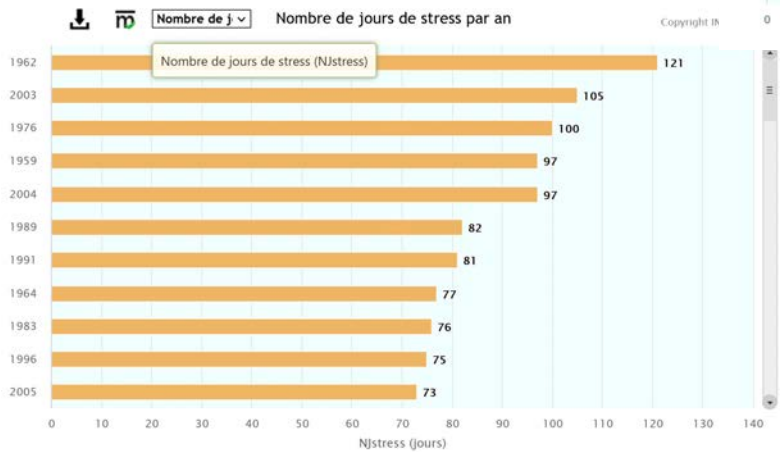
Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA

## ➤ BILJOU© services : autre fonctionnalité graphique : classement des années par caractéristiques des déficits hydriques

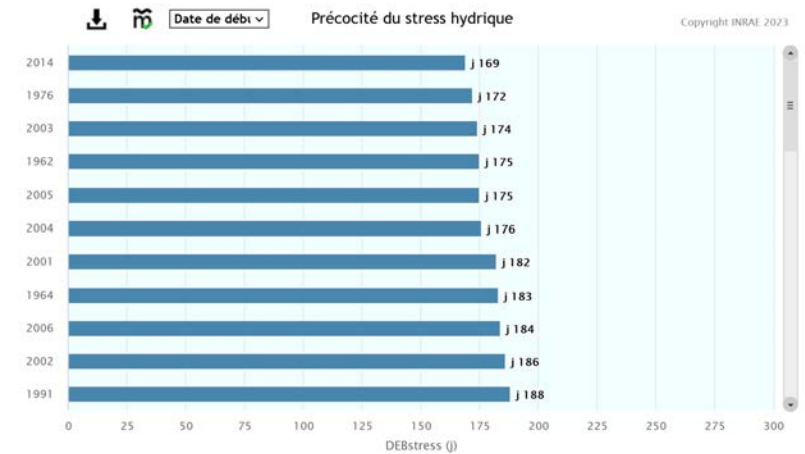
« hit parade » des années sèches correspondant à la simulation réalisée par l'utilisateur

### Durée du déficit hydrique



Intensité du déficit hydrique

### Précocité du déficit hydrique



INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA

## ➤ BILJOU© web : 3<sup>ème</sup> service

- 1) **E-learning web pages**: bilan hydrique, transpiration et sa régulation, réserve en eau du sol, phénologie et LAI, météorologie, drainage, indicateur de sécheresse, modélisation, eau verte et eau bleue ; littérature et pdf à télécharger, en français ou anglais
- 2) **Un outil de calcul en ligne** : pour calculer vous même le bilan hydrique quotidien de votre peuplement d'intérêt, en utilisant ses caractéristiques de sol et de couvert en un fichier de données climatiques; interface graphique, facilité de téléchargement des résultats et de graphiques
- 3) **Une interface de consultation d'indicateurs de sécheresse** pré calculés en France métropolitaine, stockés en base de données, à partir de l'archive SAFRAN (1959-2019) ; service de création de requête par l'utilisateur, par type de couvert, réserve en eau utile, indice foliaire, année et type d'indicateurs
  - 1) **en climat passé** : à partir de l'archive SAFRAN (1959-2019)

**BILJOU**  
Modèle de bilan hydrique forestier  
INRAE - UMR Silva

Bienvenue Jean Dupont | Gérer mon compte | Se déconnecter

- Accueil
- Présentation du projet
- Questions des utilisateurs
- Forêts et Eau
  - Bilan Hydrique
  - Transpiration et régulation
  - Interception des précipitations
  - Réserve en eau du sol
  - Indice foliaire et phénologie
  - Météorologie
  - Drainage
  - Indicateurs de sécheresse
  - Modélisation
  - Eau verte & Eau bleue
- Utiliser l'outil (accès réservé)
- Référence à l'outil
- Accès utilisateur
- Cartes de sécheresse**
- Accès aux cartes
- Contact

### Cartes d'indicateurs de sécheresse

#### Objectifs et utilisateurs visés

La sécheresse édaphique est l'aléa climatique qui impacte le plus la variabilité interannuelle de la productivité de la forêt en France. Elle détermine également une grande part des variations interannuelles de l'état des cimes telles qu'elles sont observées sur le réseau systématique de suivi de l'état sanitaire des forêts. Or sans quantification et cartographie, il est très difficile de se souvenir des années les plus sèches, de leur extension spatiale en France, ou encore de leur précocité ou durée.

Pour interpréter leurs observations et leurs mesures, les gestionnaires des forêts, les agents en charge de l'inventaire de la ressource forêt bois ou de la surveillance de la santé des forêts ont besoin d'informations spatialisées et rétrospectives sur les sécheresses subies par les forêts en France métropolitaine. En effet, l'impact des sécheresses s'exprime souvent sur l'état des couronnes de manière différée d'une ou plusieurs années. Les interrogations des praticiens peuvent aussi venir a posteriori, lors de l'observation de cernes de croissance au moment de l'exploitation des arbres, voir lors d'un signalement de dépérissement.

Pour répondre à ce besoin, ces pages du site Biljou web présentent l'évolution passée des réserves d'eau dans le sol sous divers types de forêts, à travers d'indicateurs annuels ou moyens de déficit hydrique du sol, permettant la comparaison spatiale ou temporelle de l'intensité, de la précocité ou de la durée des épisodes de sécheresse.

Nous proposons à l'utilisateur la consultation de cartes de sécheresse pré-calculées par nos soins par modélisation de bilan hydrique avec le logiciel Biljou©. L'interface offre des fonctionnalités conviviales et ergonomiques de cartographie en ligne, permettant une visualisation facile et rapide de très nombreuses cartes de France représentant différents indicateurs de sécheresse.

#### Par qui et comment ont été construites les cartes de sécheresse en forêt ?

L'équipe Biljou© de l'UMR SILVA a procédé en plusieurs étapes pour aboutir aux services climatiques proposés, étapes schématisées ci-dessous.

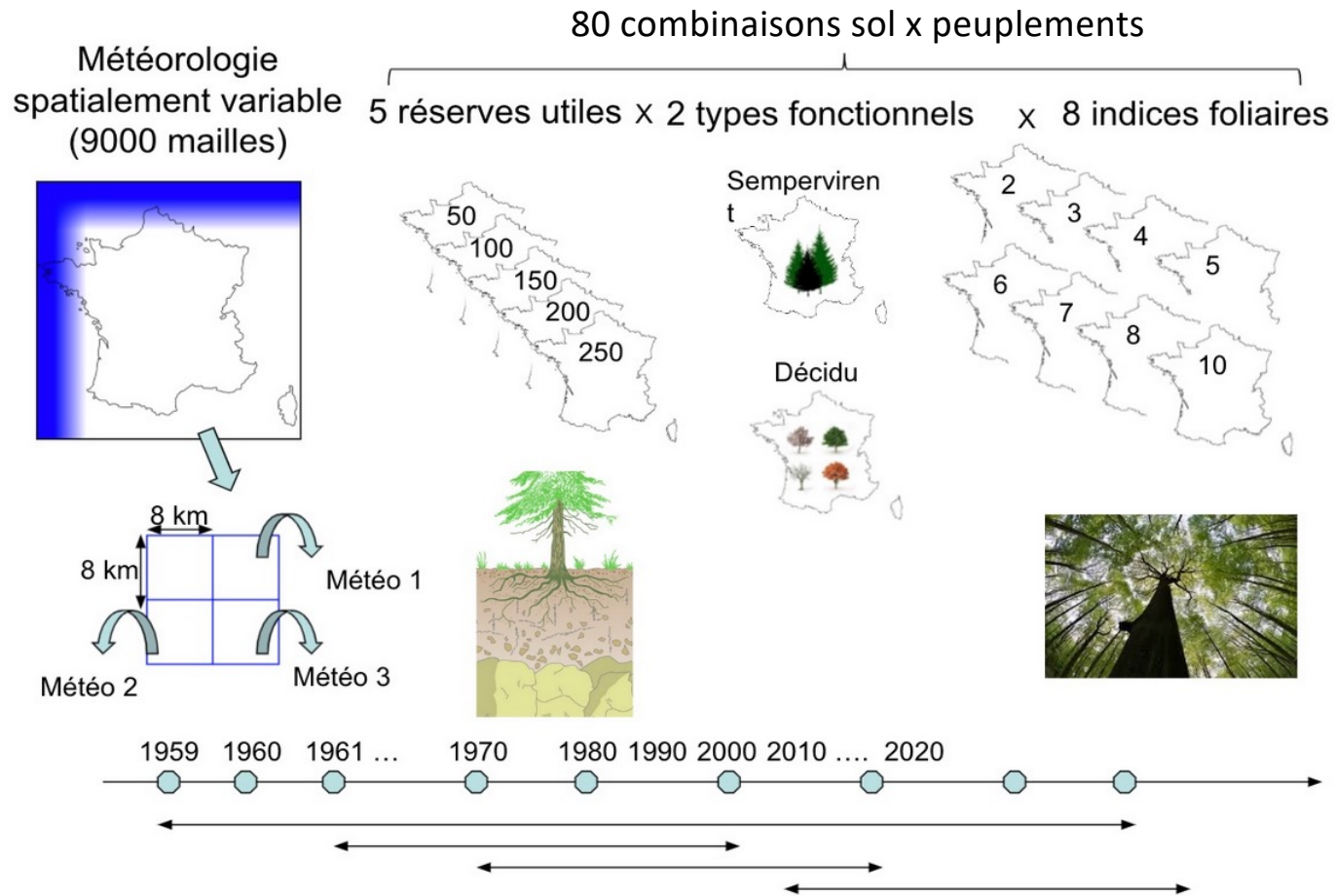


INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA

➤ Générer une base de données d'indicateurs de sécheresse pour toutes combinaisons de forêts x sol sur la France métropolitaine



INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA





- Accueil
- Présentation du projet
- Questions des utilisateurs
- Forêts et Eau
  - Bilan Hydrique
  - Transpiration et régulation
  - Interception des précipitations
  - Réserve en eau du sol
  - Indice foliaire et phénologie
  - Météorologie
  - Drainage
  - Indicateurs de sécheresse
  - Modélisation
  - Eau verte & Eau bleue
- Utiliser l'outil (accès réservé)
  - Référence à l'outil
  - Guide utilisateur
- Cartes de sécheresse
  - Accès aux cartes
- Contact

## Types de cartes de sécheresse

Trois familles de cartes sont consultables et peuvent facilement être affichées alternativement ou côte à côte dans le comparateur.



### Cartes de statistiques d'indicateurs

Les cartes de statistiques d'indicateurs de sécheresse sont calculées à partir d'une série de cartes successives sur une période de temps. Les statistiques sont calculées maille par maille et actuellement sur des périodes de 30 ans et sur la totalité des années disponibles, au choix de l'utilisateur.

Indicateurs proposés : déficit hydrique moyen, date médiane de début de déficit hydrique, durée moyenne du déficit hydrique.

[Accéder aux cartes](#)



### Cartes d'indicateurs de sécheresse

Pour une année donnée et un peuplement type sélectionné, trois cartes sont proposées. Chaque maille de 8 x 8 km comporte une valeur d'un indicateur, coloré selon une légende graduée illustrant les valeurs extrêmes.

Indicateurs proposés : déficit hydrique du sol, durée du déficit hydrique, date de début du déficit hydrique.

[Accéder aux cartes](#)



### Cartes d'indicateurs relatifs ou anomalies

A chacun des trois indicateurs précédents est associée une notion d'indicateur relatif appelé également anomalie. Pour chaque maille, un des indicateurs de sécheresse bruts est exprimé en relatif par rapport à une carte de statistiques de ce même indicateur sur une période au choix de l'utilisateur.

Indicateurs proposés : anomalie du déficit hydrique calculé pour l'année n relatif au déficit hydrique moyen sur une période, anomalie de précocité du déficit hydrique de l'année n relative à la date médiane de début de déficit hydrique sur une période, durée relative du déficit hydrique de l'année n relative à la durée moyenne du déficit hydrique calculée sur une période. Par exemple : carte de déficit hydrique de 1959 relatif au déficit hydrique moyen calculé sur la période 1959 à 2011

[Accéder aux cartes](#)



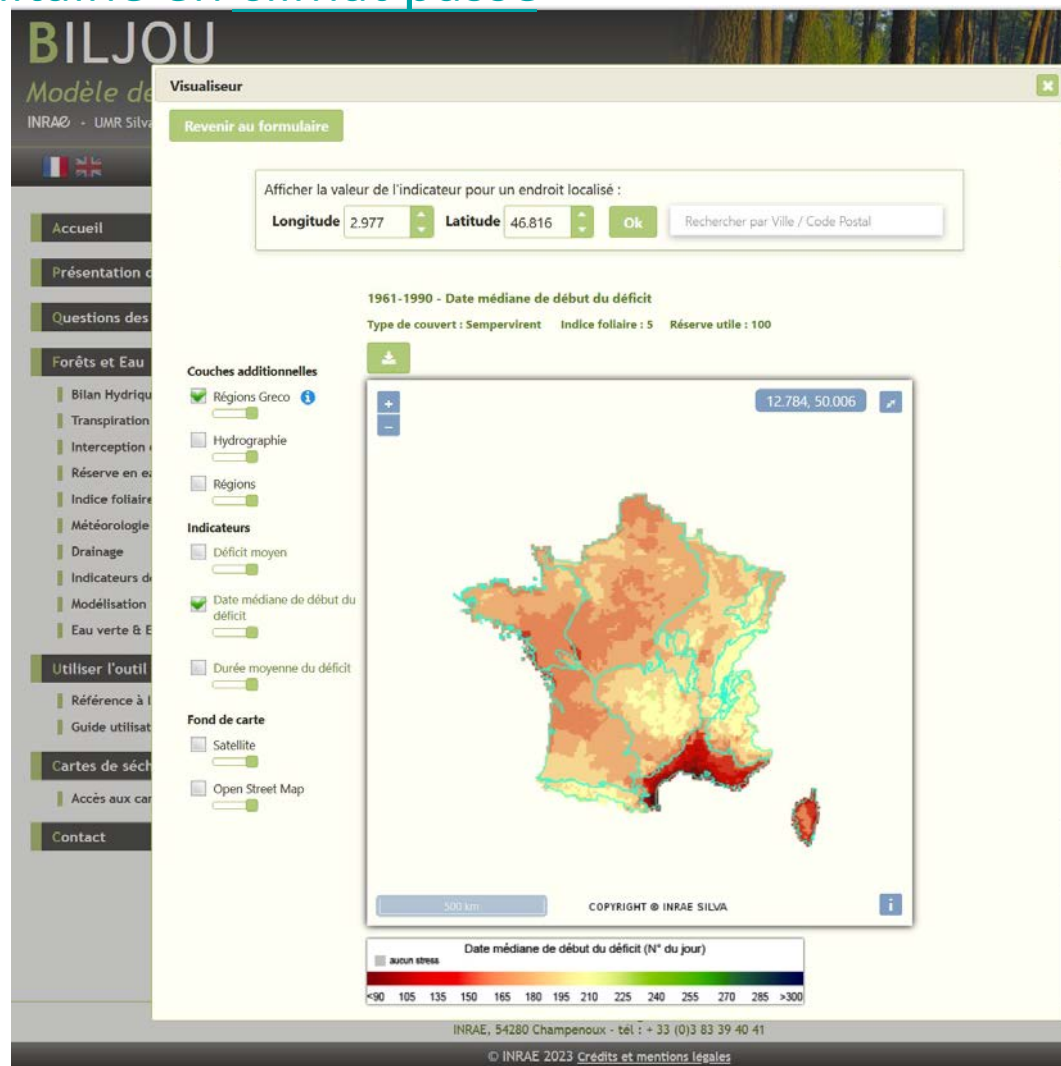
➤ Biljou©: interrogation d'une base de données d'indicateurs de sécheresse en France métropolitaine en climat passé

Date médiane de jour de début de déficit hydrique entre 1961 et 1990

Requête : couvert sempervirent, LAI = 5 ;

RU = 100 mm

Figuré bleu : limites des GRECO



# ➤ Biljou©: interrogation d'une base de données d'indicateurs de sécheresse en France métropolitaine en climat passé

**BILJOU**  
Modèle de bilan hydrique forestier  
INRAE - UMR Silva

Bienvenue Nathalie Breda | Gérer mon compte | Se déconnecter

**Visualiseur**

Indicateur de sécheresse : Déficit hydrique

Paramètre à comparer

Type de couvert : Sempervirent

Année : 1976 comparé à 2018

Indice foliaire : 6

Réserve utile : 100

Afficher les cartes

UMR Silva - Unité mixte de recherches INRAE-AgroParisTech-Université de Lorraine  
INRAE, 54280 Champenoux - tél : + 33 (0)3 83 39 40 41  
© INRAE 2023 Crédits et mentions légales

**BILJOU**

Visualiseur

Revenir au formulaire

Afficher la valeur de l'indicateur pour un endroit localisé :

Longitude 7.344 Latitude 47.752 Ok mulh

1976 - Déficit hydrique  
Type de couvert : Sempervirent Indice foliaire : 6 Réserve utile : 100

2018 - Déficit hydrique  
Type de couvert : Sempervirent Indice foliaire : 6 Réserve utile : 100

Couches additionnelles

- Régions Greco
- Hydrographie
- Régions

Indicateurs

- Déficit hydrique
- Date de début du déficit
- Durée du déficit

Fond de carte

- Satellite
- Open Street Map

1976  
Lon/Lat : 7,344, 47,752  
Déficit hydrique : 74,5

2018  
Lon/Lat : 7,344, 47,752  
Déficit hydrique : 84,1

Déficit hydrique

<10 20 30 40 60 80 100 120 135 >140



INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA



# ➤ Biljou©: interrogation d'une base de données d'indicateurs de sécheresse en France métropolitaine en climat passé



**Visualiseur**

Afficher une seule carte   Comparer deux cartes

	Carte principale	Carte secondaire
Indicateur de sécheresse :	Déficit hydrique	Déficit relatif à la moyenne
Type de couvert :	Decidu	Decidu
Année :	2015	2015
Période :	Non applicable	1961-1990
Indice foliaire :	6	6
Réserve utile :	150	150

Afficher les cartes

**BILJOU**  
Modèle de bilan hydrique forestier  
INRAE - UMR Silva

Visualiseur

Revenir au formulaire

### Intensité de déficit hydrique en 2015

Afficher la valeur de l'indicateur pour un endroit localisé :

Longitude 2.977   Latitude 46.816   Ok   Rechercher par Ville / Code Postal

**Valeur brute**

2015 - Déficit hydrique

Type de couvert : Decidu   Indice foliaire : 6   Réserve utile : 150

500 km   COPYRIGHT © INRAE SILVA

**Anomalie**

2015/1961-1990 - Déficit relatif à la moyenne

Type de couvert : Decidu   Indice foliaire : 6   Réserve utile : 150

500 km   COPYRIGHT © INRAE SILVA

**Indicateurs**

- Regions Greco
- Hydrographie
- Regions
- Déficit hydrique
- Date de début du déficit
- Durée du déficit

**Fond de carte**

- Satellite
- Open Street Map

**Déficit hydrique**

<10 20 30 40 60 80 100 120 135 >140

**Déficit relatif à la moyenne**

Situation plus humide que la normale < 1   Situation plus sèche que la normale > 5

UMR Silva - Unité mixte de recherches INRAE-AgroParisTech-Université de Lorraine  
INRAE, 54280 Champenoux - tel : + 33 (0)3 83 39 40 41  
© INRAE 2023 Crédits et mentions légales



INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA

## ➤ BILJOU© : un site web, 2 langues (français & anglais), 3 et bientôt 4 services

- 1) **E-learning web pages**: bilan hydrique, transpiration et sa régulation, réserve en eau du sol, phénologie et LAI, météorologie, drainage, indicateur de sécheresse, modélisation, eau verte et eau bleue ; littérature et pdf à télécharger, en français ou anglais
- 2) **Un outil de calcul en ligne** : pour calculer vous même le bilan hydrique quotidien de votre peuplement d'intérêt, en utilisant ses caractéristiques de sol et de couvert en un fichier de données climatiques; interface graphique, facilité de téléchargement des résultats et de graphiques
- 3) **Une interface de consultation d'indicateurs de sécheresse** pré calculés en France métropolitaine, stockés en base de données, à partir de l'archive SAFRAN (1959-2019) ; service de création de requête par l'utilisateur, par type de couvert, réserve en eau utile, indice foliaire, année et type d'indicateurs
  - 1) **en climat passé** : à partir de l'archive SAFRAN (1959-2019).
  - 2) **en climats futurs** : à partir de combinaisons [scénarios de forçage radiatif (RCP) x modèles climatiques x méthode de descente d'échelles] disponibles sur DRIAS (***mise en production automne 2023***)



INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA



➤ Biljou©: interrogation d'une base de données d'indicateurs de sécheresse en France métropolitaine en climats futurs

Base de données générée, mise production prévisionnelle de l'interface web : automne 2023

Type fonctionnel x LAI x RU d'intérêt



- Déficit hydrique moyen
- Décidu
- LAI = 6
- RU = 50

Couches additionnelles

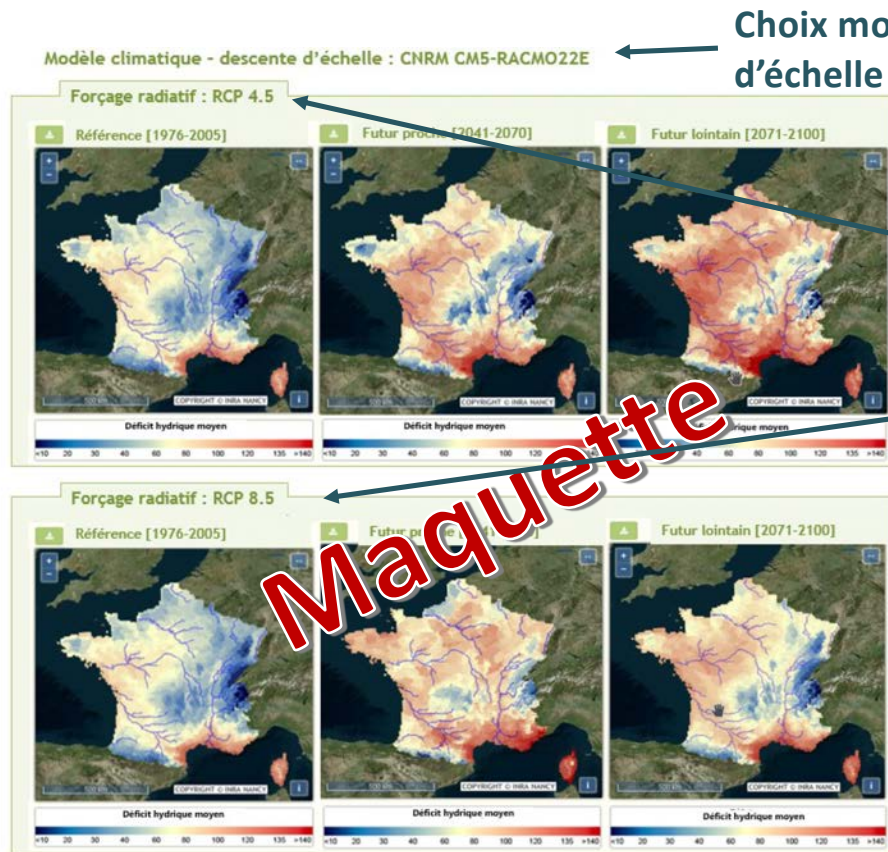
- Régions Greco
- Hydrographie
- Régions

Indicateurs

- Déficit hydrique moyen
- Date médiane de début du déficit hydrique
- Durée moyenne du déficit hydrique

Fond de carte

- Satellite
- Open Street Map



Choix modèle climatique x descente d'échelle

Comparaison de 2 scénarios de forçage radiatif (RCP)

Maquette

Référence passée    Futur proche    Futur lointain

Comparaison de 3 fenêtres temporelles



INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA

  
**PRÉFET DE LA RÉGION BOURGOGNE-FRANCHE-COMTE**  
 Direction régionale de l'alimentation, de l'agriculture et de la forêt  
 Service régional de l'alimentation  
 Département de la Santé des Forêts  
 191 rue de Belfort  
 25 000 BESANCON  
 Mél.: dsf.draaf-bourgogne-franche-comte@agriculture.gouv.fr

**COMPTE-RENDU DE LA TOURNÉE DU 5 OCTOBRE 2018**  
 liée aux  
**MORTALITES DE DOUGLAS**  
 En région forestière du Cluniso

## ➤ Exemples non recherche

  
**PRÉFET DE LA RÉGION GRAND EST**  
 Direction régionale de l'alimentation,  
 de l'agriculture et de la forêt  
 Service régional de l'alimentation  
 Pôle régional de la santé des forêts du Grand-Est  
**Compte-rendu de la tournée du 17 juin 2019**  
**Dépérissement du hêtre et du chêne dans les Vosges du Nord**



- Les flux en forêts
- Les données météo disponibles
- L'approche du bilan hydrique et l'outil Biljou (INRAE)
- Et les effets de canicule



  
**BILJOU**  
 Modèle de bilan hydrique forestier  
 Biljou (INRAE)  
 État sanitaire des chênaies et hêtraies CESPRI - Massif de Drouais 2019

Direction  
 Régionale  
 de l'Alimentation,  
 de l'Agriculture  
 et de la Forêt



PREFET DE LA REGION AUVERGNE-RHONE-ALPES

Rang	début du stress		Nb de jours de stress		Indice de stress	
	Années	Indice	Années	Indice	Années	Indice
1	1997	111	2018	109	2018	41.7
2	2007	115	1989	80	1989	26.4
3	1998	140	2003	50	2003	19.1
4	2011	145	2004	41	2015	15.1
5	2015	154	1991	34	1992	13.3
6	2009	155	1990	33	1991	11.8
7	2006	164	2005	32	2004	11.5
8	2004	170	2015	32	1990	11.2
9	2003	171	1992	28	2016	10.3
10	1989	172	2016	25	2005	8.6

Données Biljou période 1988-2018 – classement des années à partie de la plus contraignante

## Etude de l'évolution d'un peuplement de Pin sylvestre selon les changements climatiques

### Rapport de TD



Mirecourt

BTSA Gestion Forestière

HERT Mariline / PATRIGNANI Xavier  
 BTSA Gestion Forestière Session 2017-2019



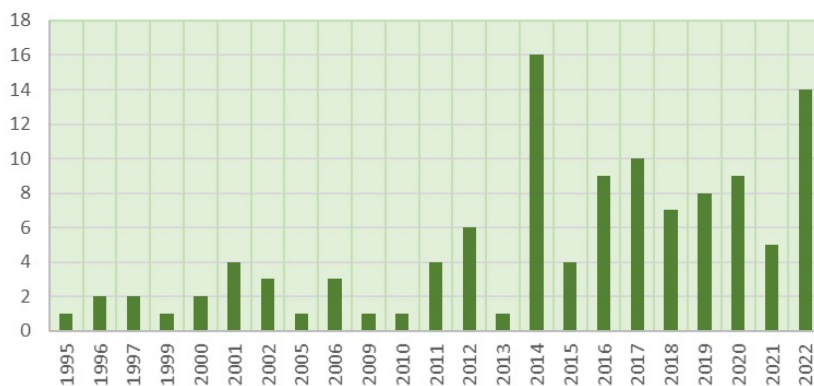
INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et e

# ➤ Rayonnement scientifique

nombre publications scientifique scientifique utilisant Biljou©



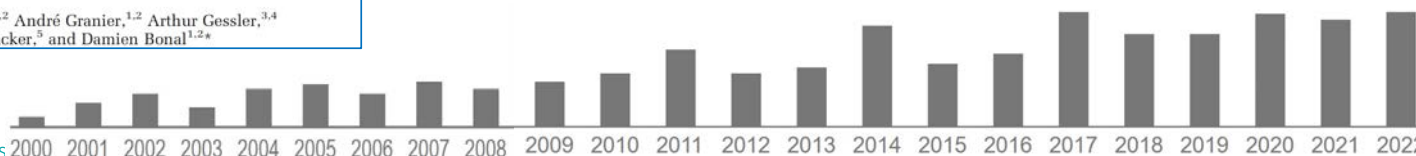
*Boréal*

**Does Drought Influence the Relationship Between Biodiversity and Ecosystem Functioning in Boreal Forests?**

Charlotte Grossiord,<sup>1,2</sup> André Granier,<sup>1,2</sup> Arthur Gessler,<sup>3,4</sup> Tommaso Jucker,<sup>5</sup> and Damien Bonal<sup>1,2\*</sup>

Ecosystems (2014) 17: 394-404  
DOI: 10.1007/s10021-013-9729-1

ECOSYSTEMS  
© 2013 Springer Science+Business Media New York



Plant Ecol (2014) 215:703–719  
DOI 10.1007/s11258-014-0351-x

## Évènement extrême sécheresse

Differential impact of the most extreme drought event over the last half century on growth and sap flow in two coexisting Mediterranean trees

Alicia Forner · Ismael Aranda · André Granier · Fernando Valladares

*Méditerranéen*

*Tempéré Montagne*

*Eau bleue*

**Hybrid Gravimetry to Map Water Storage Dynamics in a Mountain Catchment**

Quentin Chaffaut<sup>1\*</sup>, Nolwenn Lesparre<sup>1</sup>, Frédéric Masson<sup>1</sup>, Jacques Hinderer<sup>1</sup>, Daniel Viville<sup>1</sup>, Jean-Daniel Bernard<sup>1</sup>, Gilbert Ferhat<sup>1,2</sup> and Solenn Cotel<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Université de Strasbourg, CNRS, ENGEEES, ECOST, ITES UMR7063, Strasbourg, France, <sup>2</sup> Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg, Strasbourg, France

frontiers in Water ORIGINAL RESEARCH published: 03 January 2022 doi: 10.3389/fwa.2021.715298

*Sibérien*

Agricultural and Forest Meteorology 282–283 (2020) 107870

Contents lists available at ScienceDirect

**Agricultural and Forest Meteorology**

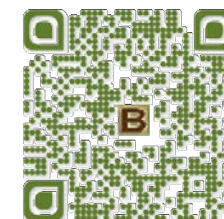
journal homepage: [www.elsevier.com/locate/agrformet](http://www.elsevier.com/locate/agrformet)

**Limiting factors of aspen radial growth along a climatic and soil water budget gradient in south-western Siberia**

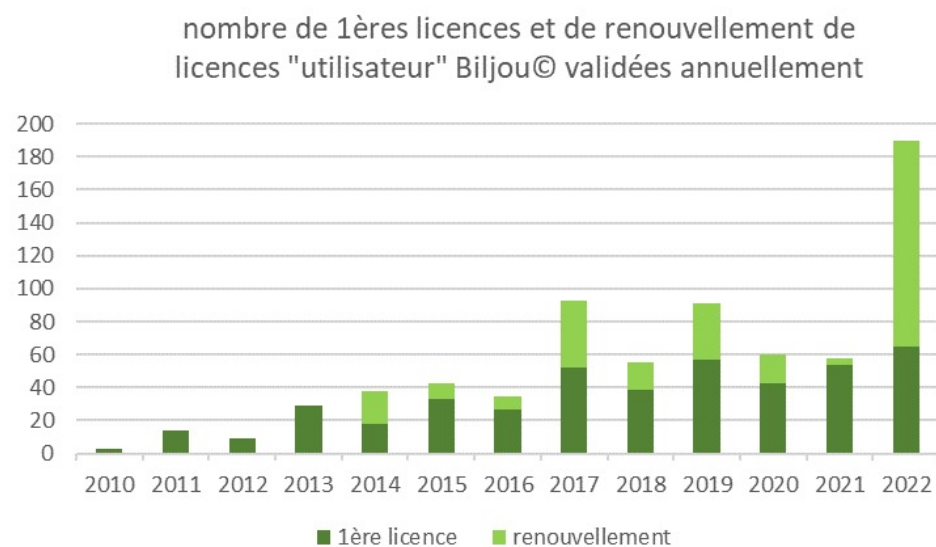
Félix Brédoire<sup>a,b,c,i</sup>, Zachary E. Kayler<sup>d,e</sup>, Jean-Luc Dupouey<sup>f</sup>, Delphine Derrien<sup>a</sup>, Bernd Zeller<sup>a</sup>, Pavel A. Barsukov<sup>g</sup>, Olga Rusalimova<sup>g</sup>, Polina Nikitich<sup>g,h</sup>, Mark R. Bakker<sup>c,b</sup>, Arnaud Legout<sup>a</sup>



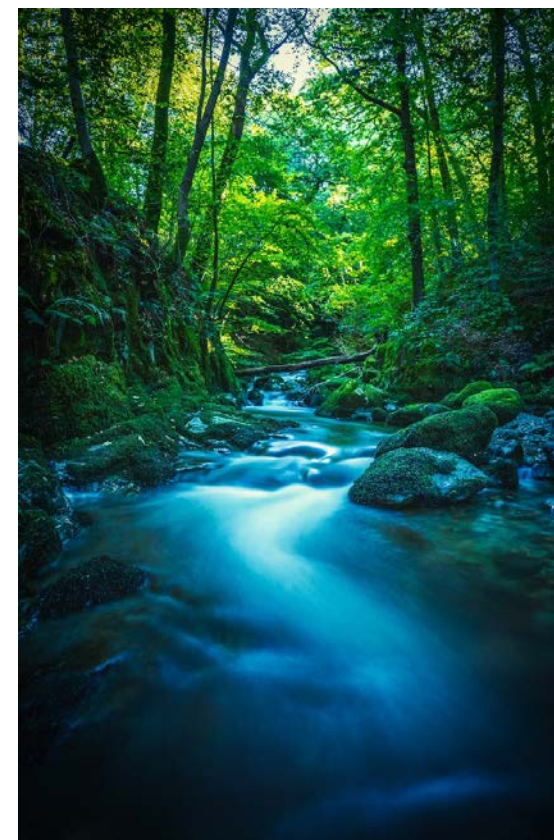
➤ Auto-formez-vous et rejoignez la communauté d'utilisateurs Biljou© !



<https://appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/>



Contact: [nathalie.breda@inrae.fr](mailto:nathalie.breda@inrae.fr)



INRAE

Biljou©

25 avril 2023 / Forêt, sol et eau, Marseille / Nathalie BREDA