

Ce numéro a été publié avec l'aide :

de la Région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur



du Département des Bouches-du-Rhône



du ministère de l'Agriculture  
et de la Souveraineté alimentaire



du ministère de la Transition écologique  
et de la Cohésion du territoire



du Département de Vaucluse

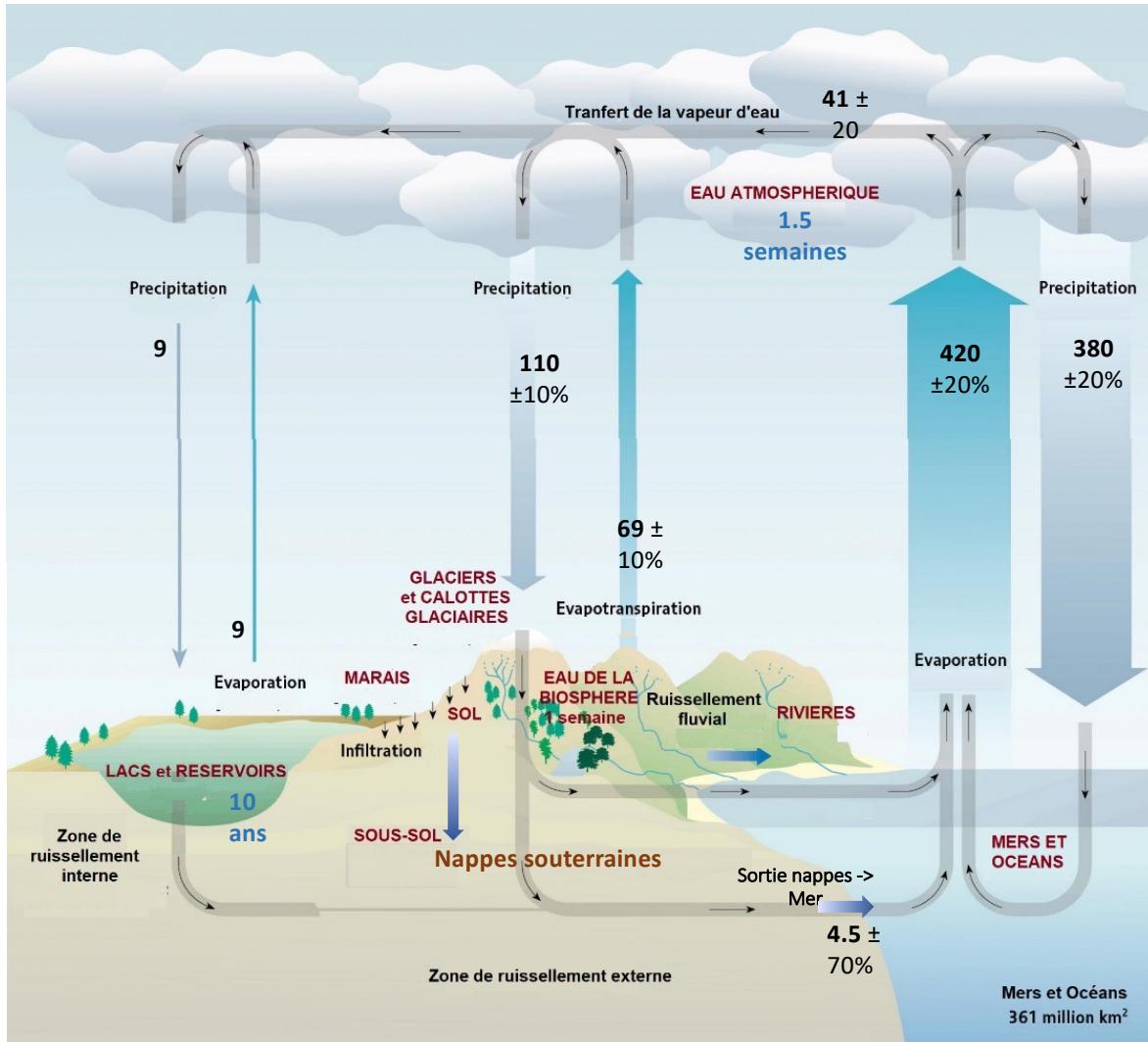


forêt méditerranéenne 14, rue Louis Astouin - 13002 Marseille - Tél. : 04 91 56 06 91 -  
[contact@foret-mediterraneenne.org](mailto:contact@foret-mediterraneenne.org)



Plus de 120 personnes ont participé au séminaire qui s'est tenu les 24 et 25 avril, accueilli par le Conseil départemental des Bouches-du-Rhône à Marseille et financé par la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur et le ministère de la Transition écologique.  
Photo Jacques Degénée.

# Cycle de l'eau à large échelle sans les hommes

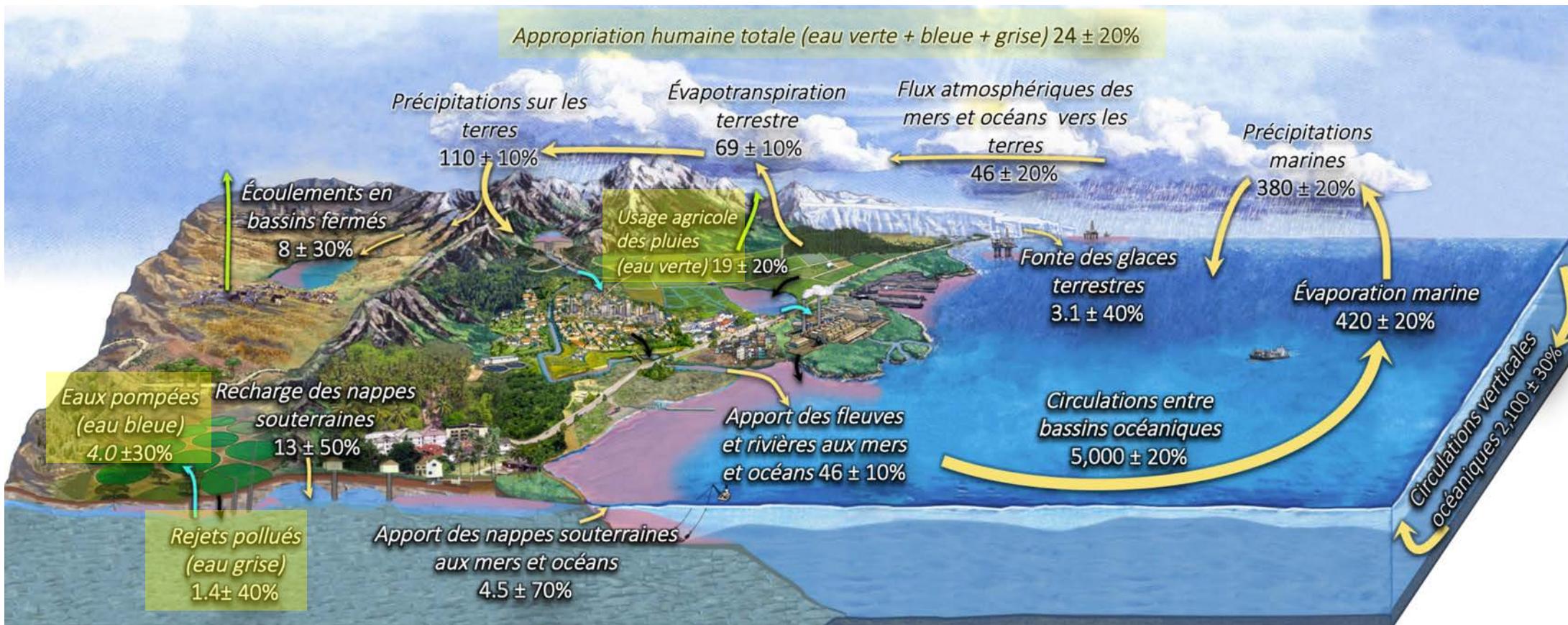


Valeurs en milliers de km<sup>3</sup>/an, ± incertitude en %

- 90% de l'évaporation marine retourne à la mer en précipitations et seul 10% humidité océanique précipite sur les terres
- ~63% précipitations terrestres retournent à l'atmosphère = Evapotranspiration (sol+plantes). 65% évapotranspiration = transpiration
- ~35% précipitations retournent à la mer par ruissèlement rivières et exutoires nappes souterraines.
- ~60% des précipitations continentales viennent de l'évapotranspiration => recyclage humidité (90% en forêts tropicales humides)
- Variabilité des flux suivant la position : de l'équateur aux pôles (climat/biomes)...

## Cycle de l'eau à large échelle avec les hommes...

Valeurs en milliers de km<sup>3</sup>/an, ± incertitude en %

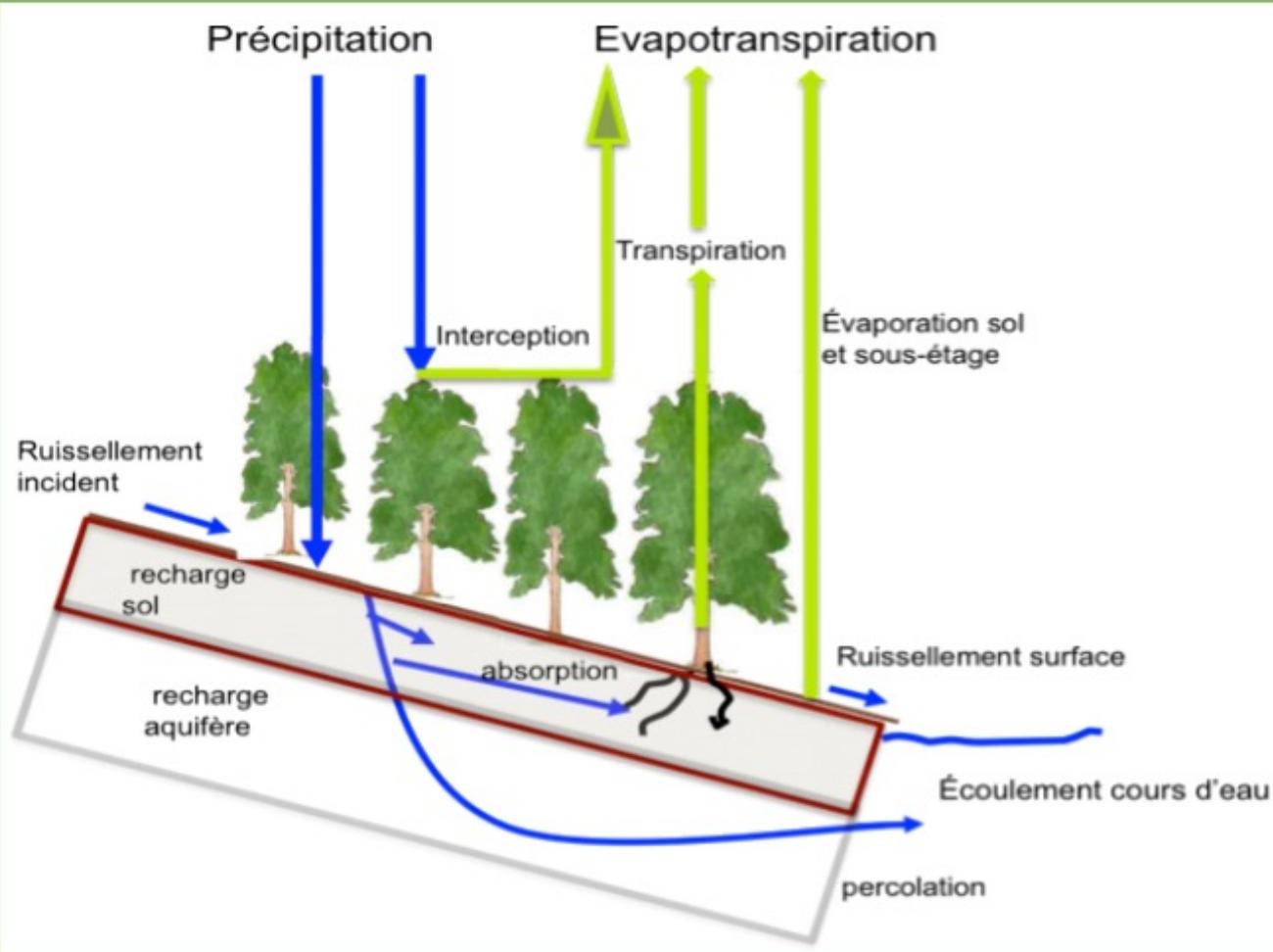


Appropriation humaine représentée par l'utilisation d'eau verte (green), bleue (blue) et grise (grey)

Abbott B.W. et al., Corner D., 2019, Nature Geoscience

→ Utilisation Eau par l'homme ~ 1/4 des précipitations ; ~ 1/2 de l'eau circulant dans les rivières du monde entier !!  
 ~ 70% utilisé pour l'agriculture - Une partie du cycle continental « détourné » de fonction par activité humaine...

# Cycle de l'eau en forêt



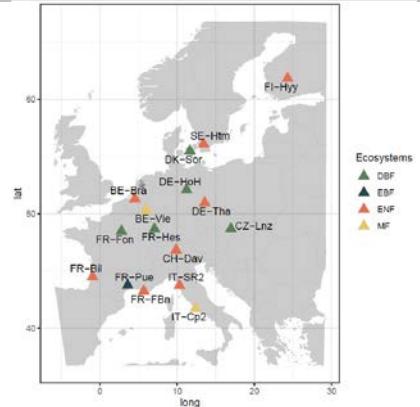
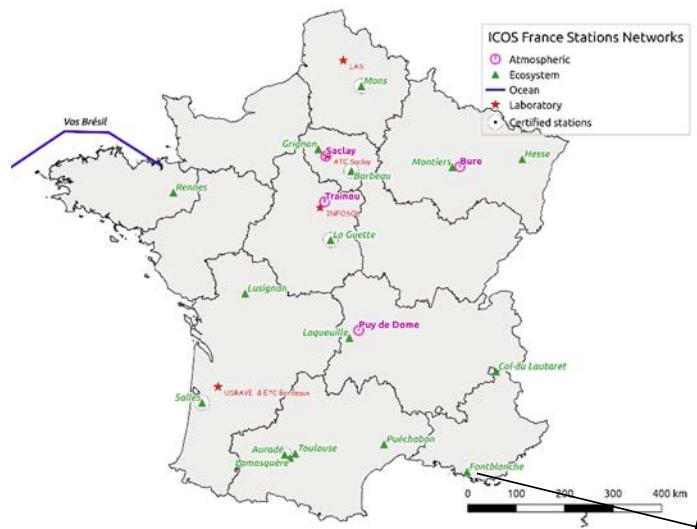
- Les arbres ont besoin d'eau pour croître, stocker du carbone, produire du bois
- Rôle de filtre et de protection des ressources
- 60% de évapotranspiration revient sous forme de pluie

Espèce	Diamètre (cm)	Hauteur (m)	Transpiration (l/jour)
Chêne sessile	9	15	10
Épicéa	15	14	19
Épicéa	16	12	27
Épicéa	23	15	33
Épicéa	36	25	175
Hêtre	54	35	137
Mélèze	—	20	74
Pin d'Alep	—	9	49
Pin maritime	34	20	161
Pin maritime	35	26	125

# Le réseau ICOS France de surveillance en continu du cycle du carbone et de l'eau en forêt

Mesure du bilan d'eau :

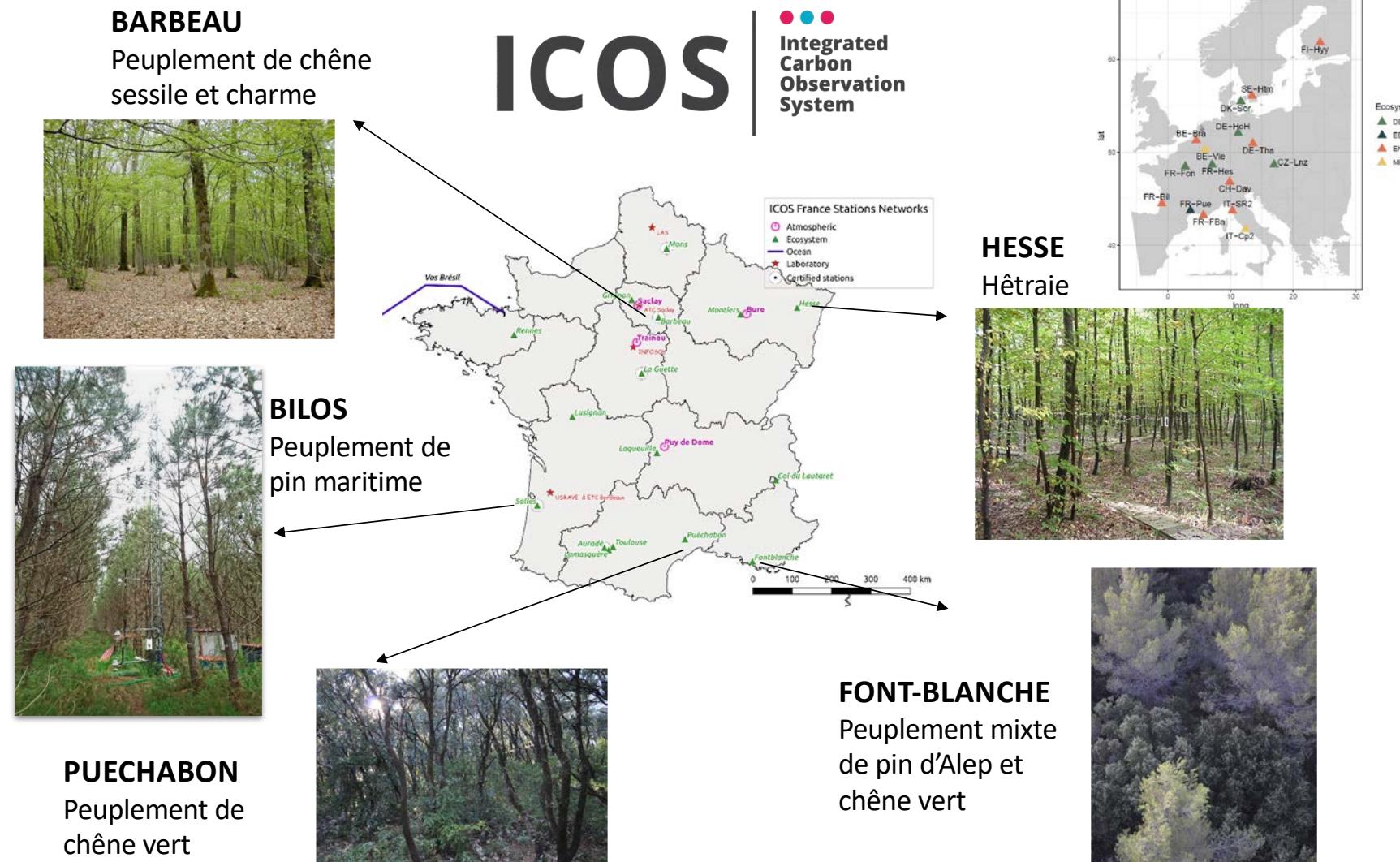
- Pluie
- Evapotranspiration
- Transpiration des arbres

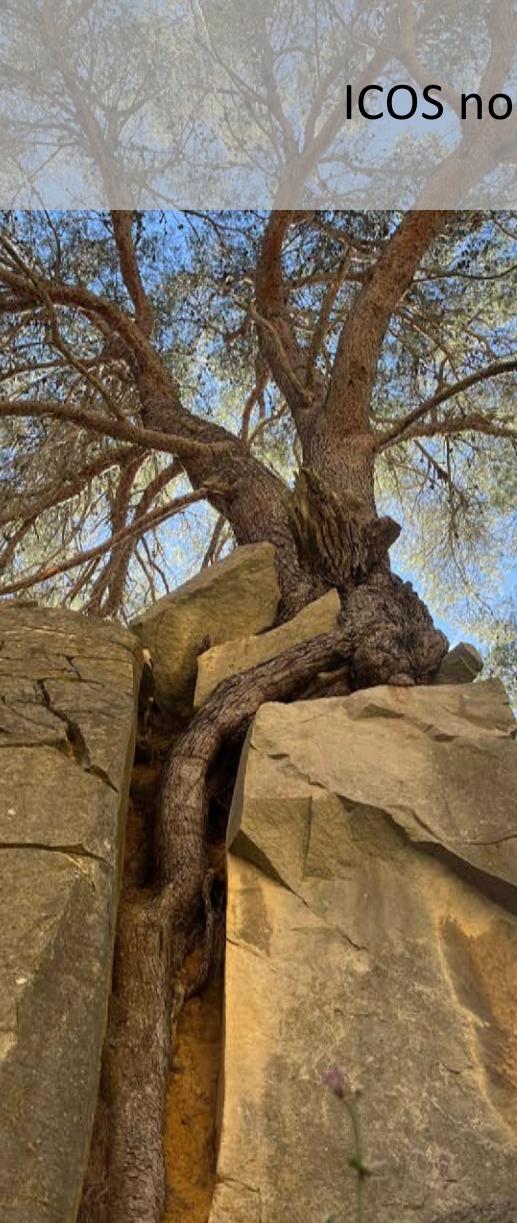


**FONT-BLANCHE**  
Peuplement mixte  
de pin d'Alep et  
chêne vert



Le réseau ICOS France de surveillance en continu du cycle du carbone et de l'eau en forêt

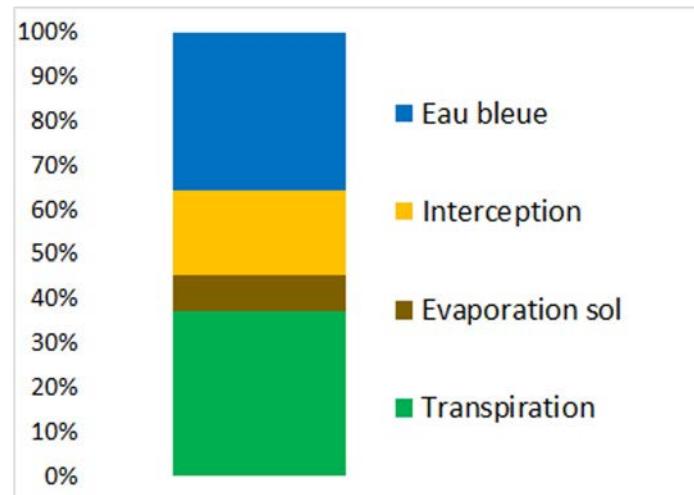




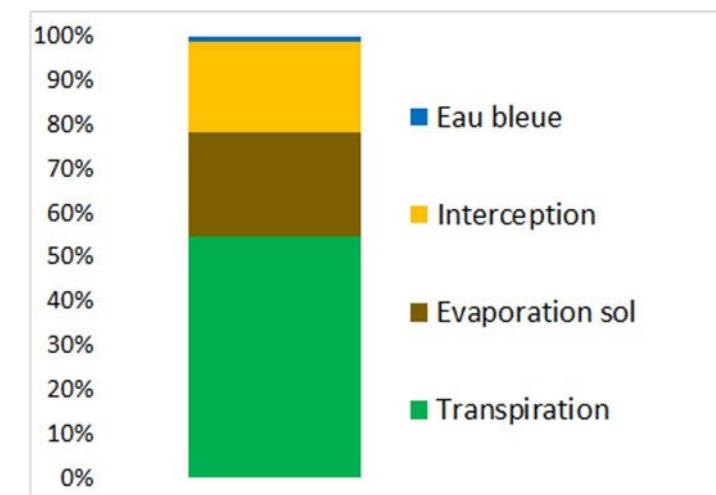
## ICOS nous indique La consommation d'eau des forêts



Forêt méditerranéenne de chêne vert à Puéchabon (Hérault)



Forêt tempérée de chêne sessile à Barbeau-Fontainebleau (77)



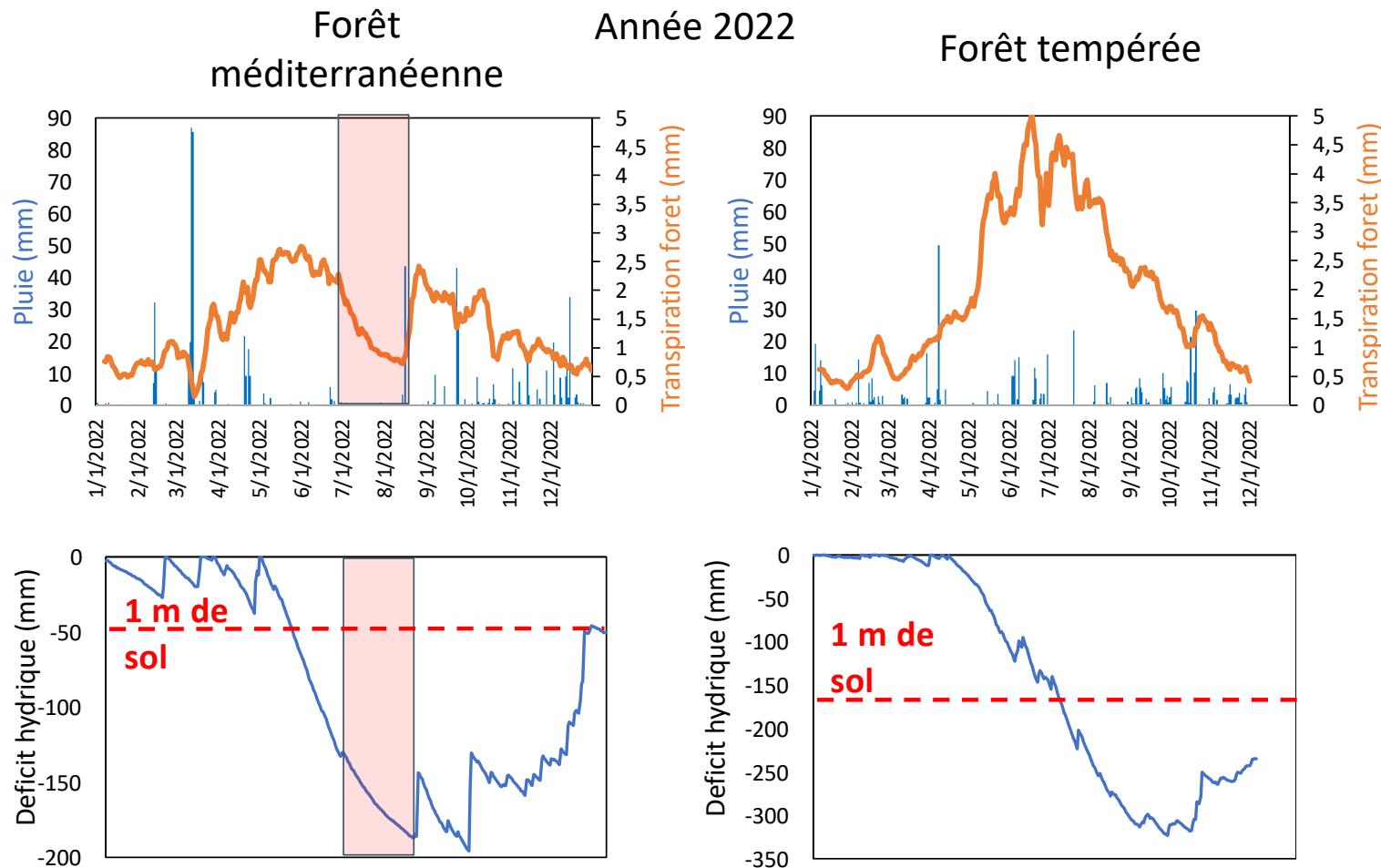
Pluie annuelle = 955 mm

Transpiration arbres  $\simeq$  40% de la pluie  
Interception feuillage  $\simeq$  20% de la pluie  
Evaporation du sol  $\simeq$  8% de la pluie

Pluie annuelle = 684 mm

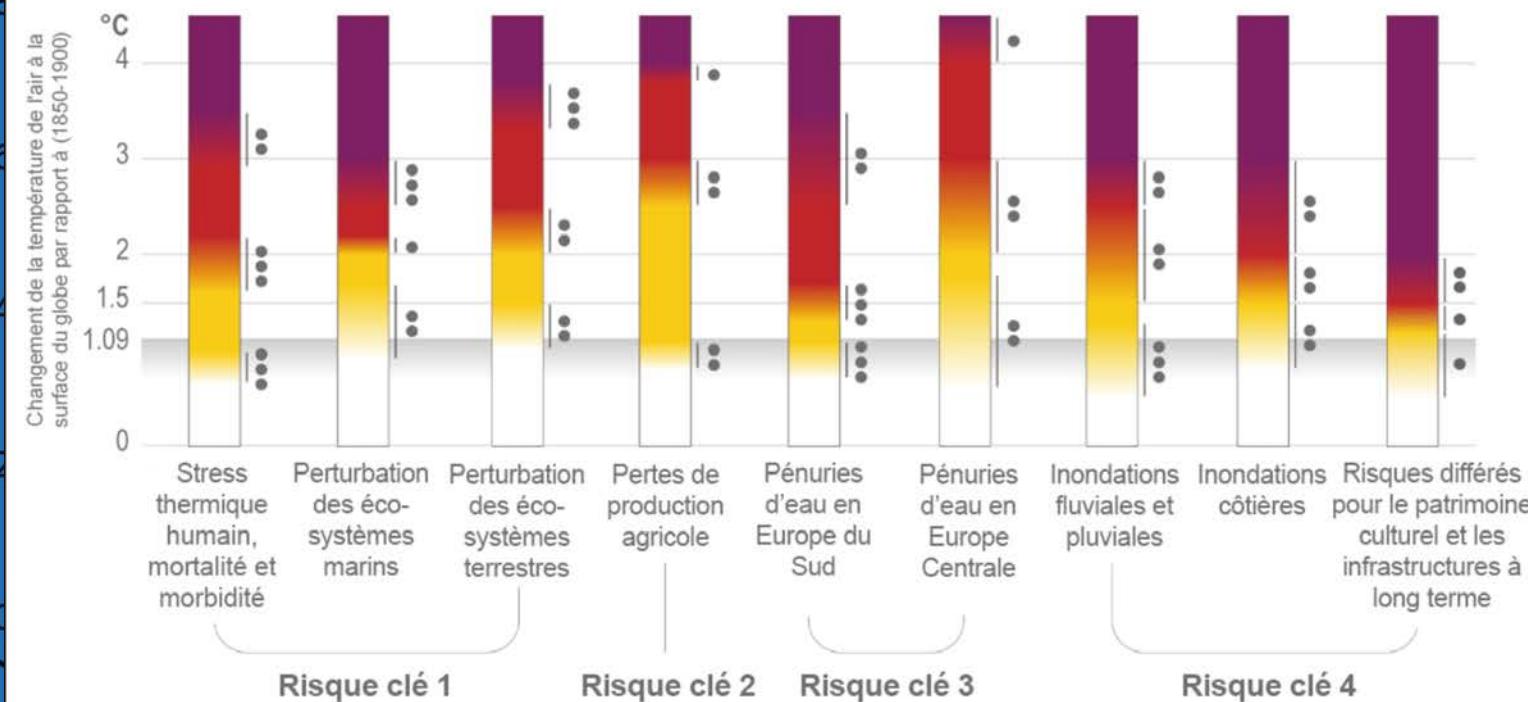
Transpiration arbres  $\simeq$  55% de la pluie  
Interception feuillage  $\simeq$  20% de la pluie  
Evaporation du sol  $\simeq$  23% de la pluie

# Le déficit hydrique et l'importance de la réserve en eau du sol



# Le changement climatique et l'eau

## Risques clés pour l'Europe en cas d'adaptation faible à moyenne

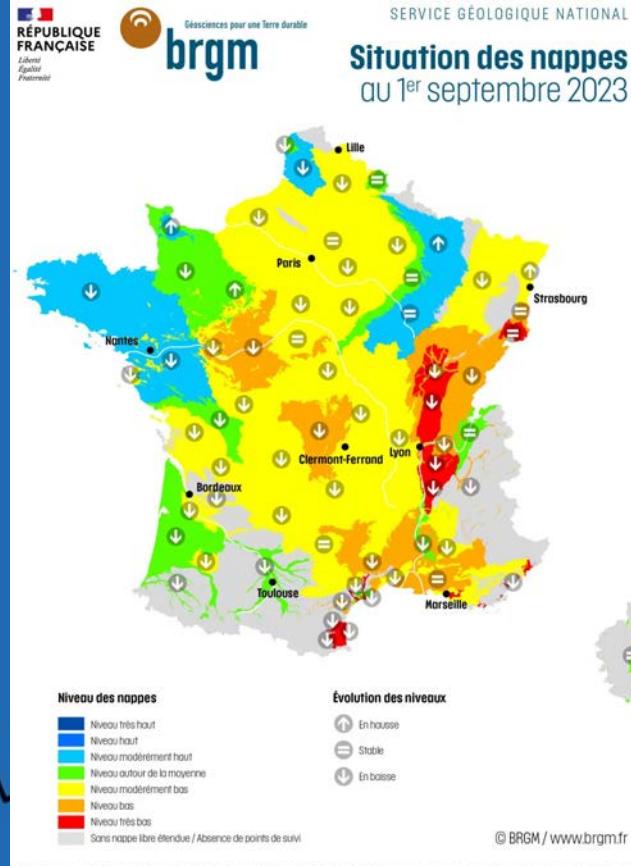


Le gradient de couleur indique le niveau de risque supplémentaire pour la société et les écosystèmes en fonction de l'évolution de la température mondiale. La confiance est fournie pour le changement du niveau de risque à des plages de température données.

AR6 WGII Ch13

Traduction : Réseau Action Climat

# Le changement climatique et l'eau



1890

1935

1950

1960

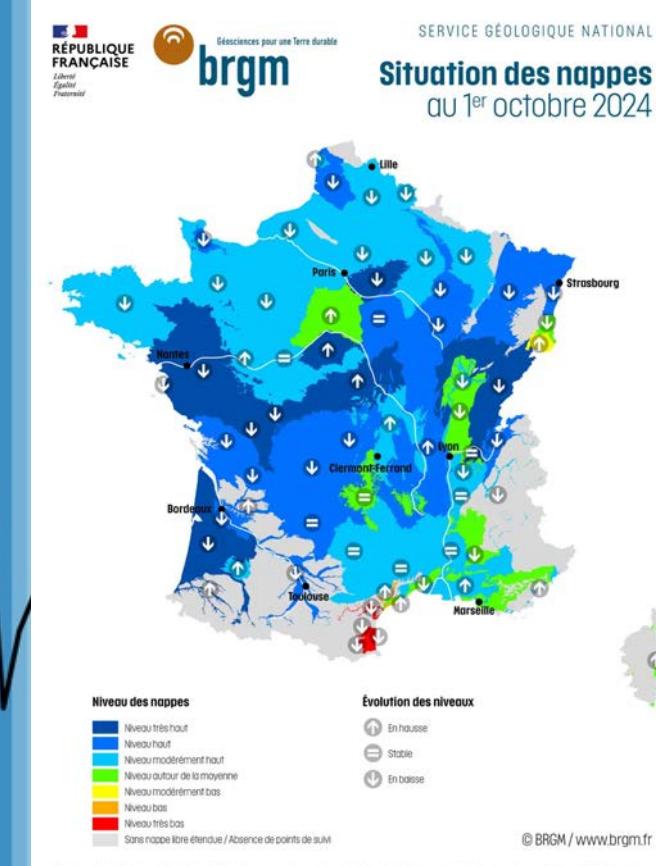
1970

1980

1990

2000

2010



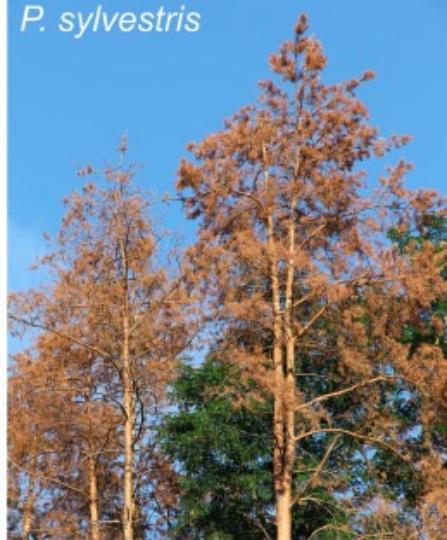
2010

## Le changement climatique et les forêts

*F. sylvatica*



*P. sylvestris*



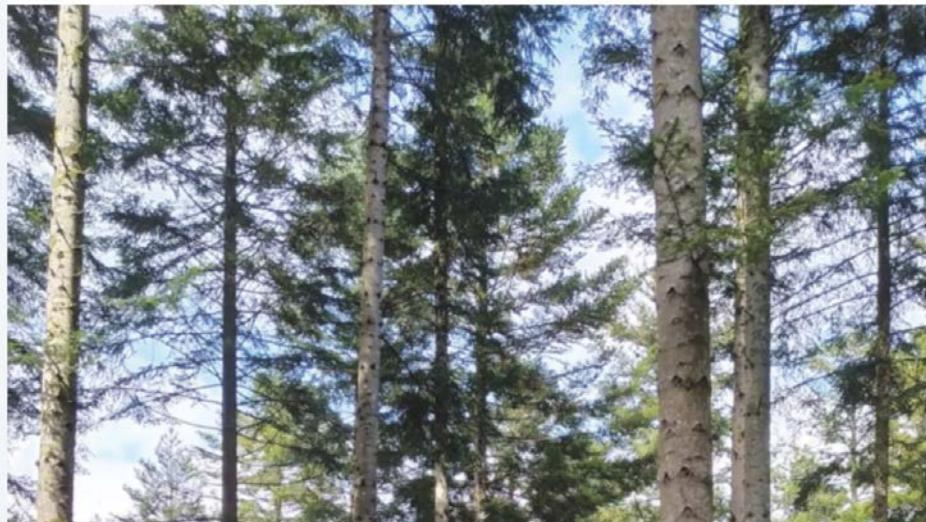
*P. abies*



*A. alba*



195



Les données de l'inventaire forestier national montrent que les forêts françaises sont de plus en plus affectées par le changement climatique

L'IGN, producteur de statistiques forestières nationales et cartographe de l'anthropocène, publie les résultats des cinq dernières campagnes de l'inventaire forestier national.

Malgré l'augmentation de la surface forestière, l'IGN observe :

- un ralentissement de la croissance des arbres
- une très forte accélération de la mortalité des arbres
- une augmentation des prélevements d'arbres

IGN

Octobre 2024  
Toute l'actualité de l'Inventaire forestier

— 1.2

## Le changement climatique et les forêts

*F. sylvatica*



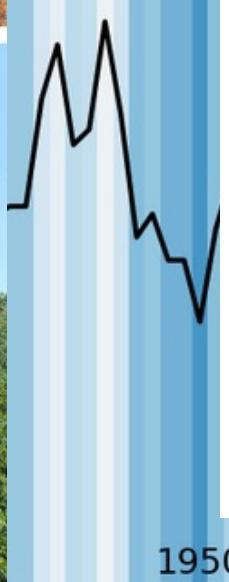
*P. sylvestris*



*P. abies*

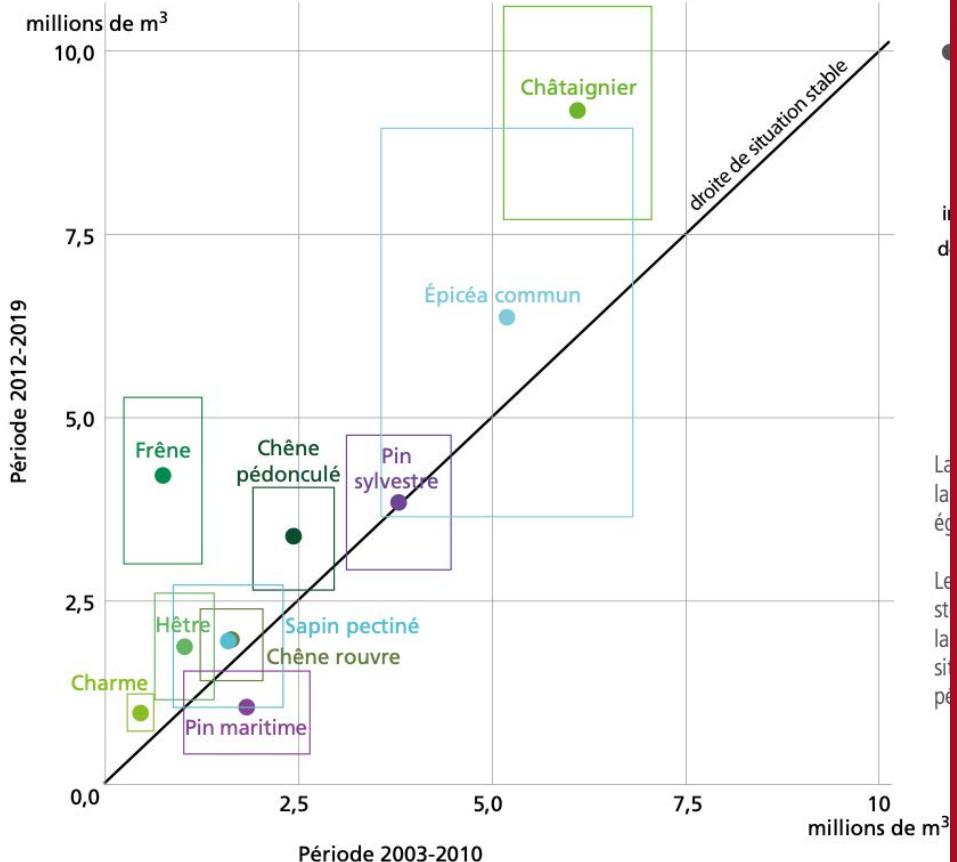


*A. alba*



Source : IF, IGN 2021

Evolution des volumes d'arbres morts en France



IF, IGN 2021

## Modèles



# Des outils de diagnostics : le modèle BILJOU

Pour évaluer la consommation d'eau et le déficit d'eau des forêts :

- **Le modèle Biljou**
- **Plateforme web facile d'accès**

[nancy.inra.fr/biljou/fr/](http://nancy.inra.fr/biljou/fr/)

SuEau-C source ... Ohris 20.06.29.32... Nouvel onglet Forest News, Rese... Colloque Arbre, B... pgAdmin 4 #ShowYourStripes Nos offres de stag... GLENANS

## BILJOU

Modèle de bilan hydrique forestier

INRAE - UMR Silva

Créer un compte | Email : nicolas.martin@inra.fr Mot de passe : Réinitialiser ? OK

**Bienvenue...**

... sur le site web de BILJOU, un modèle de bilan hydrique forestier développé par l'unité mixte de recherche Ecologie et Ecophysiologie Forestière devenue depuis l'UMR Silva.

Le modèle BILJOU est un outil de recherche mis à disposition de la communauté des gestionnaires forestiers, des enseignants et des étudiants, des chercheurs. Il est en évolution constante en fonction des avancées de notre connaissance des mécanismes d'interactions entre les écosystèmes forestiers et leur environnement climatique et édaphique.

L'outil de simulation en ligne proposé ici ne peut être utilisé à des fins commerciales (voir licence).

**Partenaires**

INRAE arbo ECOFOR AFORCE

La première version de ce site a été développée dans le cadre d'un projet du Réseau du GIP ECOFOR. Une deuxième version, bilingue et enrichie de nouvelles fonctionnalités a été dévoilée par le Département santé des forêts du Ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt.

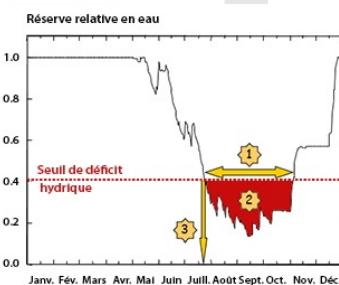
La quatrième version du site, mise en ligne au premier semestre 2022, consiste à évoluer techniques et mise en conformité RGPD : l'outil de calcul en ligne cartographique a été actualisé, la licence d'utilisation a été modifiée, les références

**Utiliser l'outil** (accès réservé)

Guide utilisateur

Cartes de sécheresse

Contact



### 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](#)

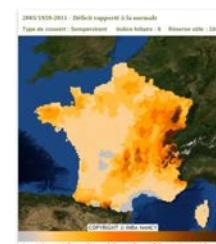


### Cartes d'indicateurs de sécheresse

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](#)



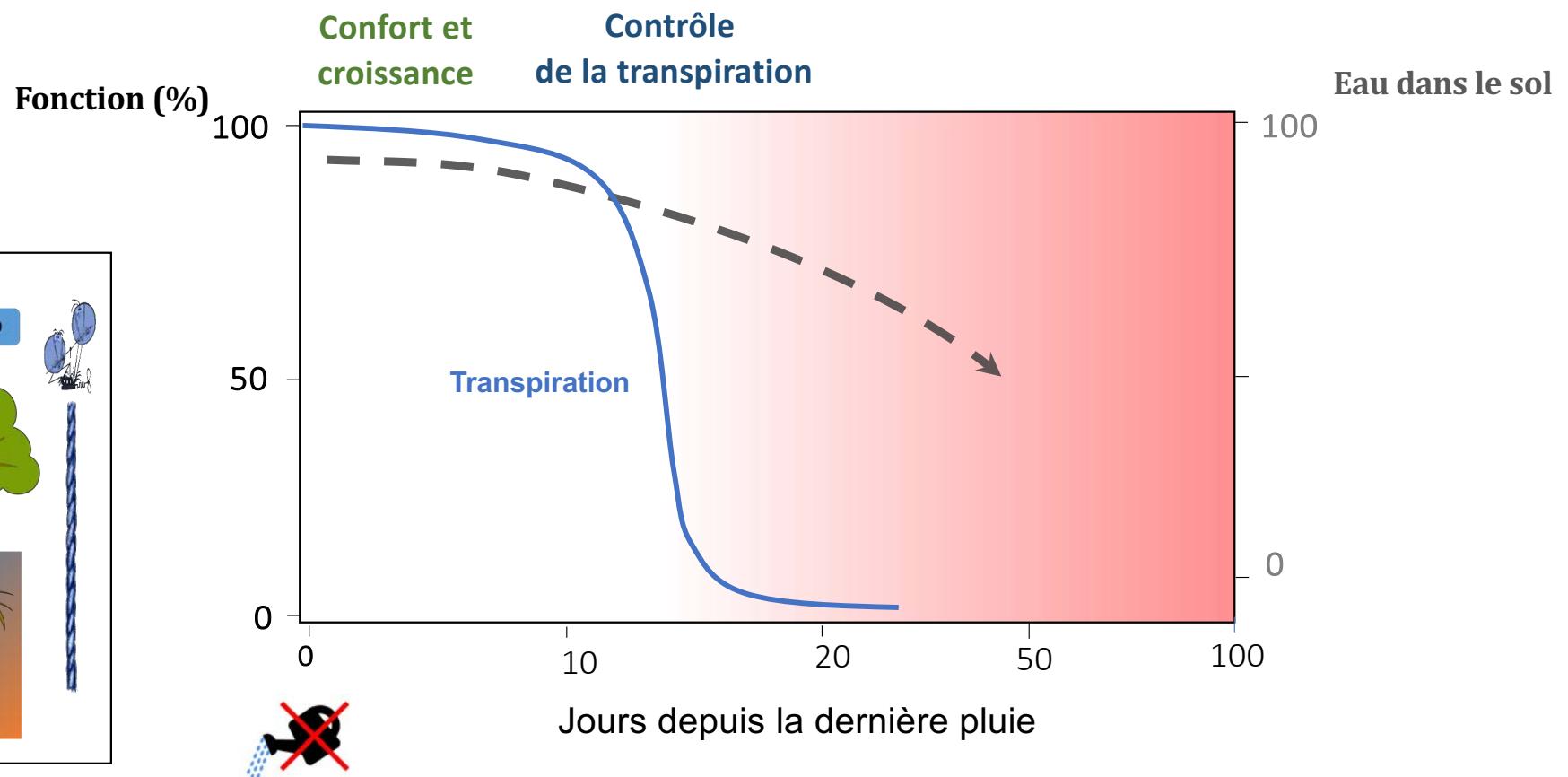
### Cartes d'indicateurs relatifs ou anomalies

A chacun des trois indicateurs précédents est associée une notion d'indicateur relatif 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.

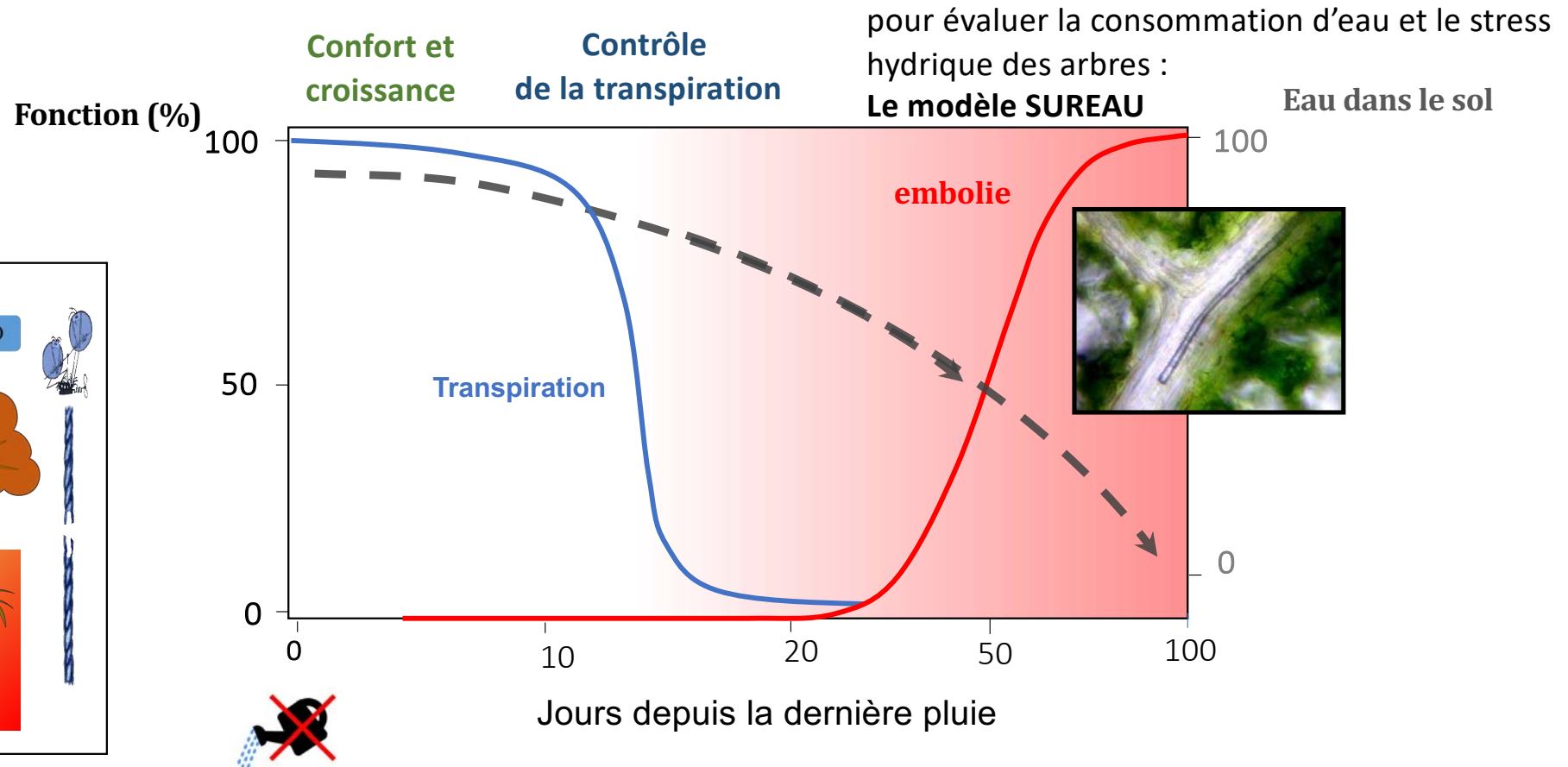
Indicateurs proposés : anomalie du déficit hydrique calculé pour l'année n relatif au déficit hydrique moyen sur une période, anomalie de précocité du déficit hydrique de l'année n relative à la date médiane de début de déficit hydrique sur une période, durée relative du déficit hydrique de l'année n 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](#)

## Le changement climatique et les forêts : le risque d'embolie



## Le changement climatique et les forêts : le risque d'embolie



## Des outils de diagnostics : le modèle SUREAU

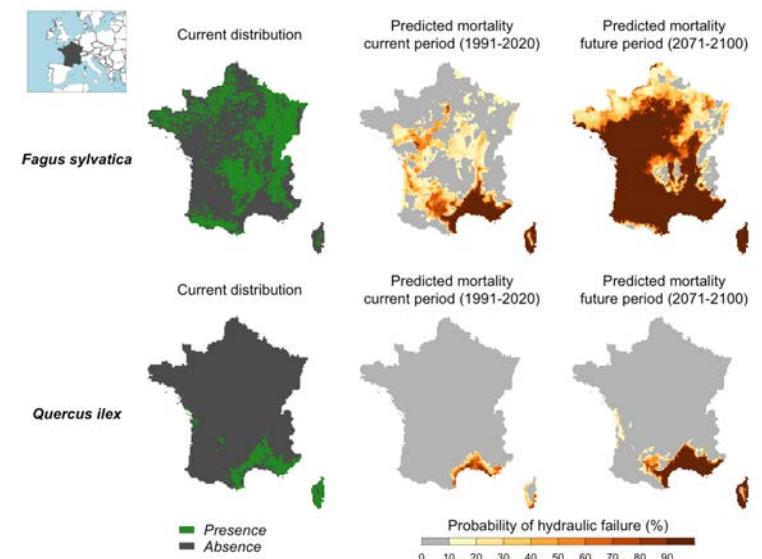
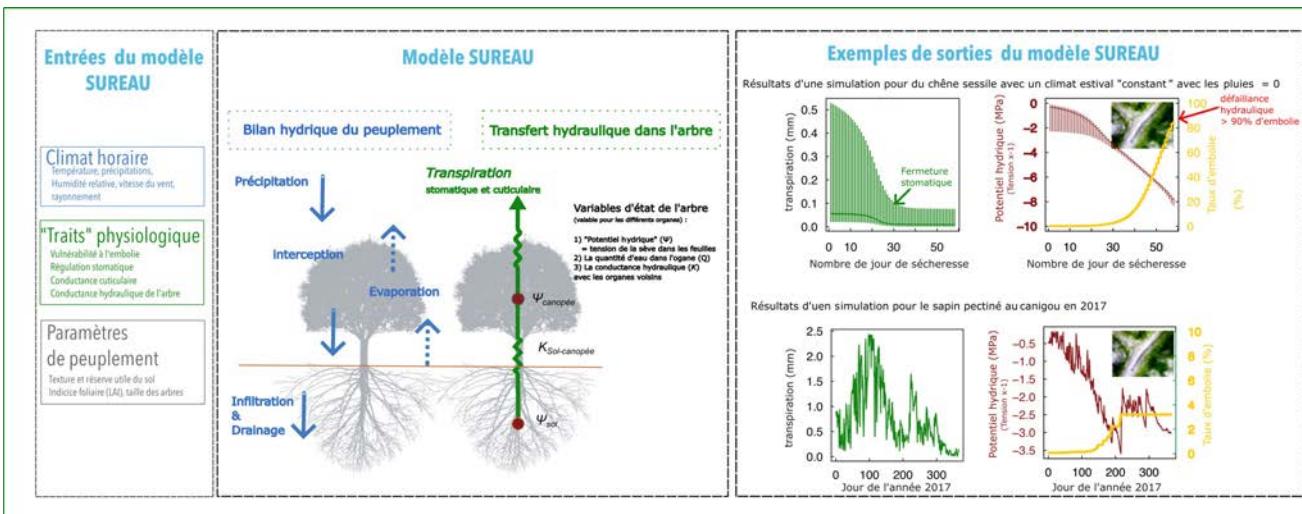
### Modèles



pour évaluer la consommation d'eau et **le stress hydrique des arbres :**

### Le modèle SUREAU

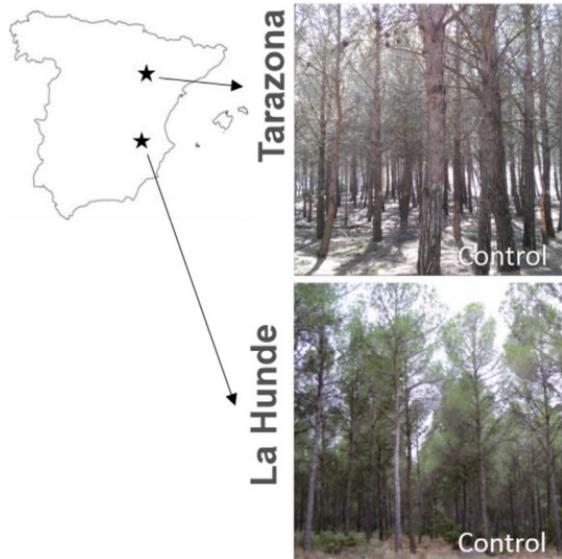
Risque de déprérissement par espèce



Les solutions développées par la recherche

## 2- Des méthodes de gestion

### Réduire la densité pour réduire la consommation d'eau et le stress hydrique



**Mais attention au**

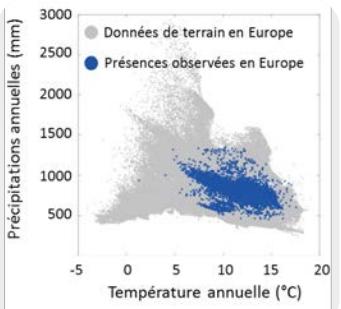
- > Microclimat plus chaud : régénération et sol altérés !
- > Sous-bois qui se développe : risque incendie augmenté !

## Les solutions développées par la recherche

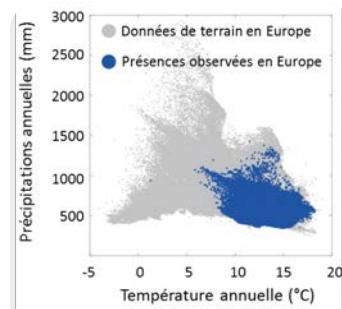
### 2- Des méthodes de gestion

## Utiliser des essences adaptées à la sécheresse et plus sobre en eau

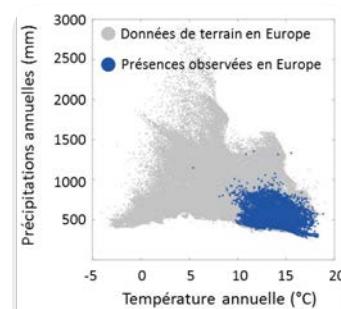
*Quercus pubescens*



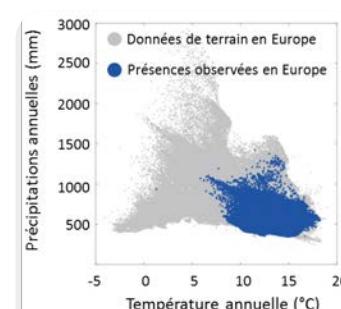
*Quercus ilex*



*Pinus halepensis*



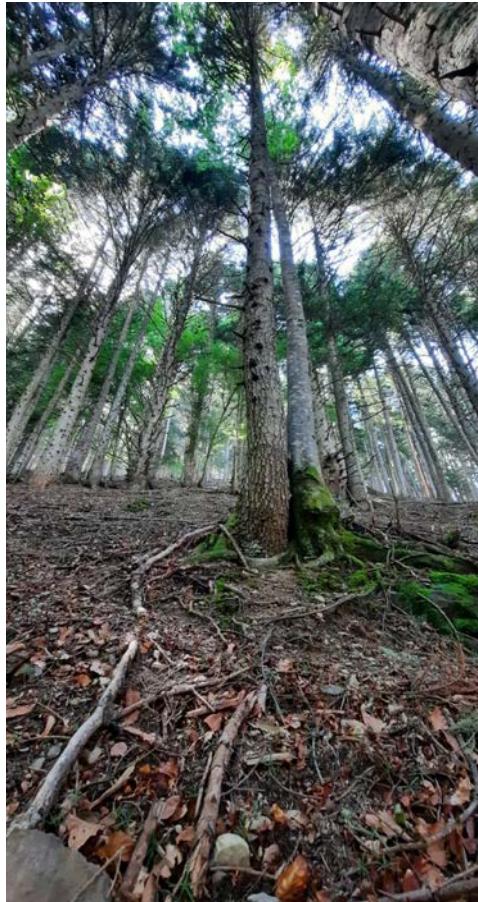
*Cedrus atlantica*



**Attention aux  
coupes de  
remplacement  
(microclimat) et aux  
espèces exotiques !**

Les solutions développées par la recherche  
2- Peuplement mélangé

**Diversifier les peuplements !**



Plantation expérimentale diversifiée d'ORPHEE (TreeDivNet)





### Forêts monospécifiques



### Forêts mélangées

*Consensus scientifique*



Productivité



★★★



Biodiversité



★★



Sensibilité à la sécheresse



★



Sensibilité aux tempêtes



★★



Sensibilité aux ravageurs



★★★★



Microclimat



★★



Risque feu



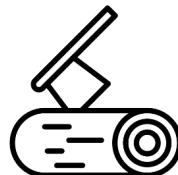
★

Les forêts ne sont pas que du bois ni de l'eau

Stockage carbone  
& régulation du climat



Produits ligneux



Protection  
des sols



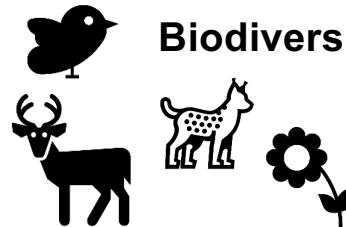
Paysage  
Cadre de vie



Conservation  
Dimension culturelle



Biodiversité



Loisirs



Une gouvernance concertée et rationalisée à échelle territoriale (commune?) et impliquant tous les acteurs est nécessaire

