

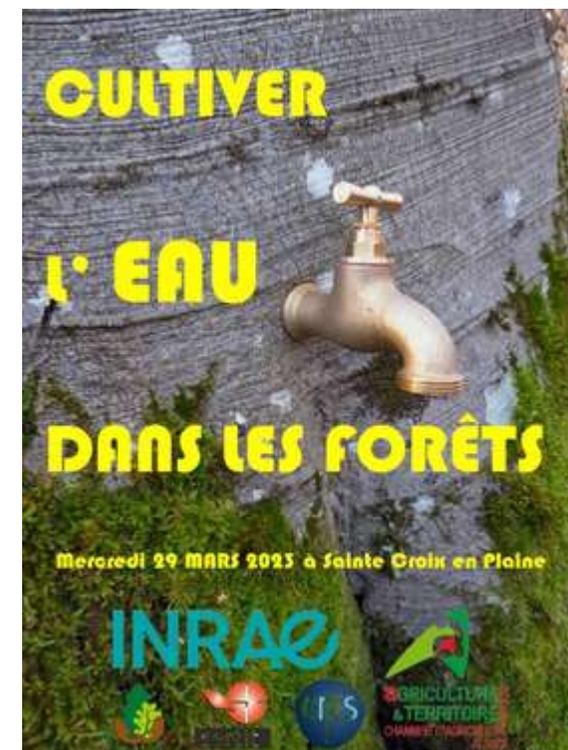
## ➤ L'eau verte : comment doser les arbres et les feuilles pour partager l'eau ?

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

UMR  
**Silva**

  
**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**  
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**INRAE**

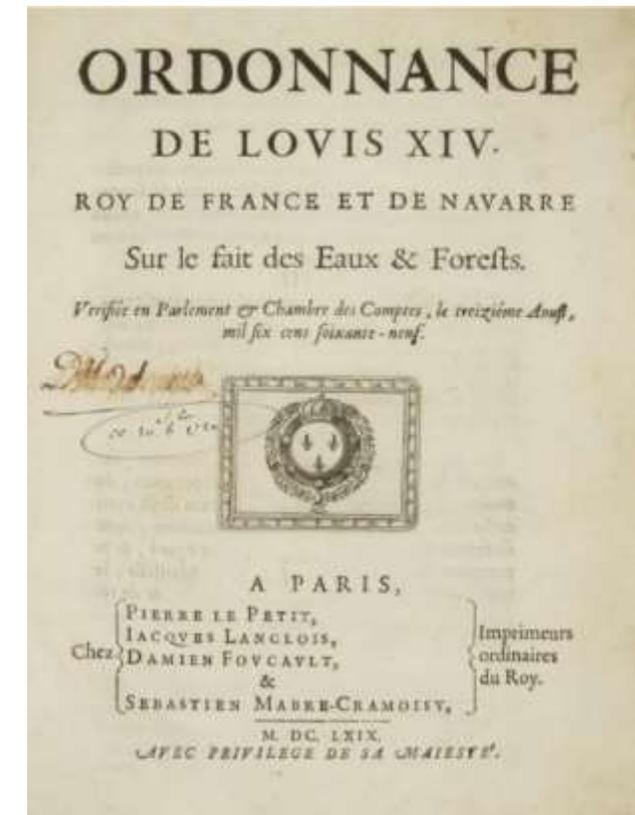


➤ Eaux et forêts : un vieux couple officialisé dès 1219

C'est au XIII<sup>e</sup> siècle qu'apparaît l'appellation « Eaux et Forêts », dans une ordonnance, à la demande du roi Philippe II Auguste.

Conforté en 1669 par une ordonnance de Louis XIV

Des liens fonctionnels progressivement théorisés au XIX<sup>e</sup> siècle



# INRAE

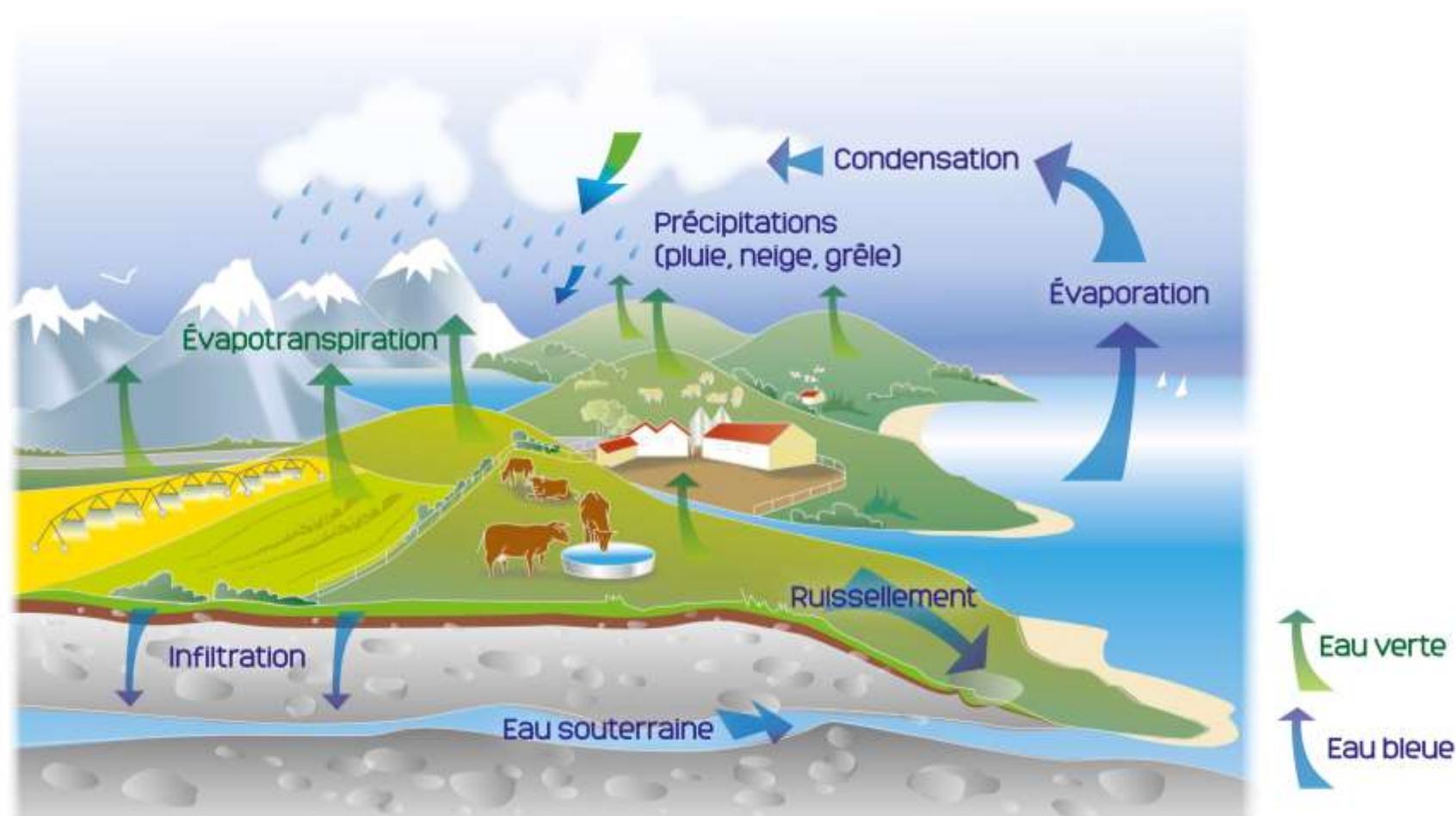
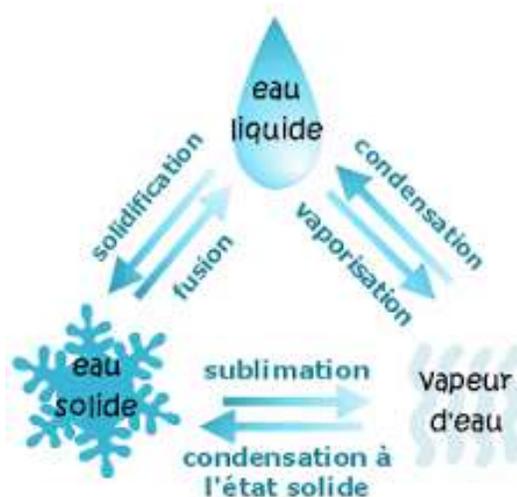
## ➤ Le cycle de l'eau : notions d'eau verte et d'eau bleue



# ➤ Le cycle de l'eau

Un cycle bouclé à l'échelle globale, mais pas nécessairement à l'échelle locale

L'eau dans tous ses états



L'eau utilisée pour produire un bien additionne l'eau bleue - l'eau visible des mers, des lacs, des nappes phréatiques... - et l'eau verte, l'eau non visible, absorbée par les plantes et à la surface des sols.

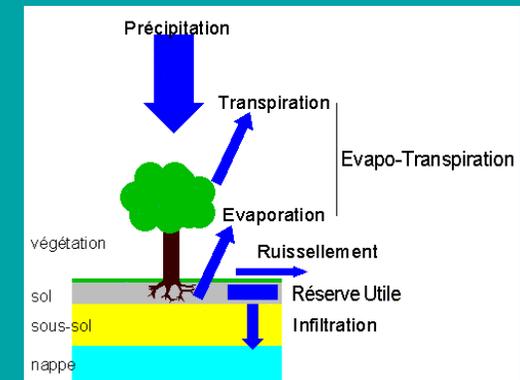


INRAE

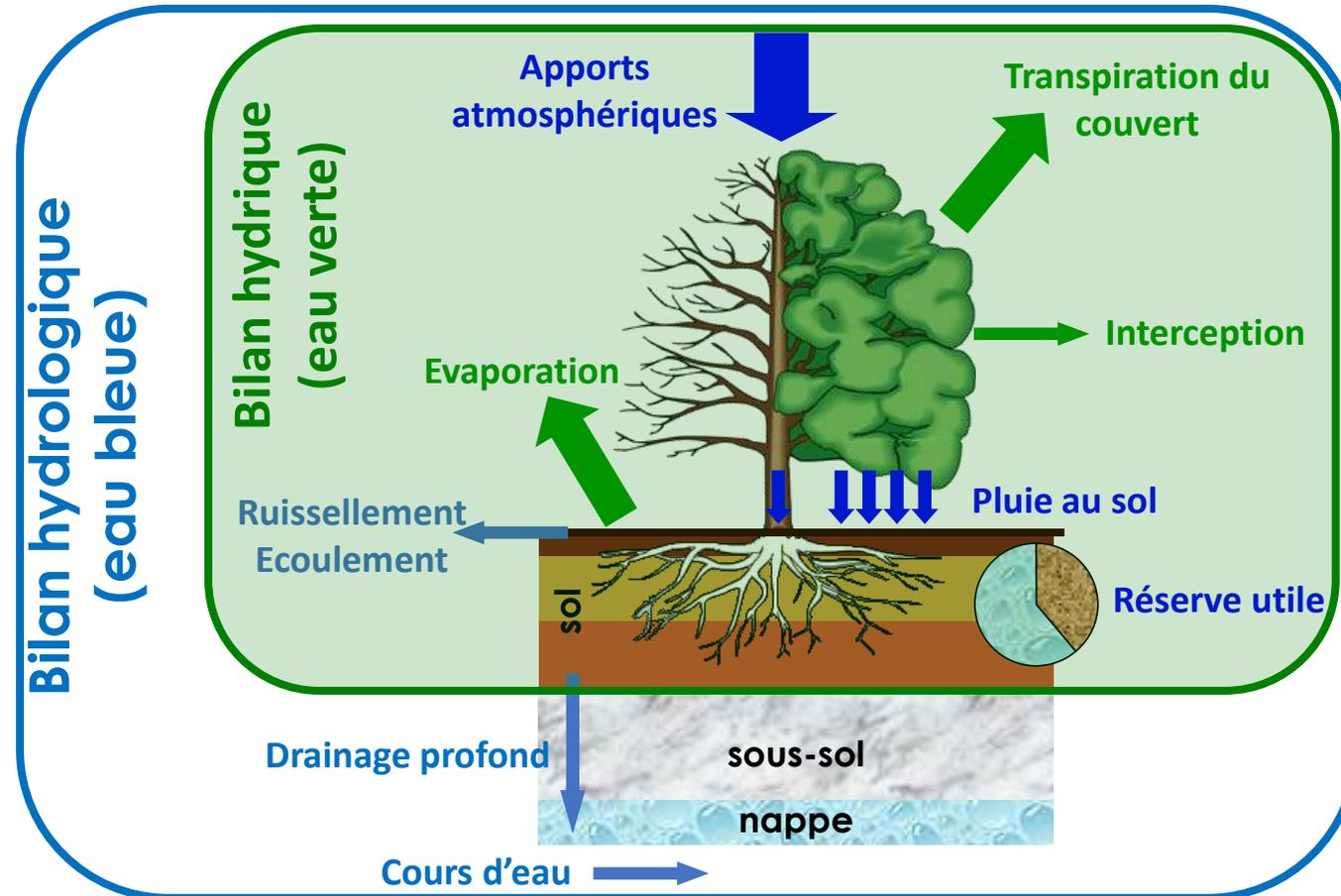
Cultiver l'eau dans les forêts

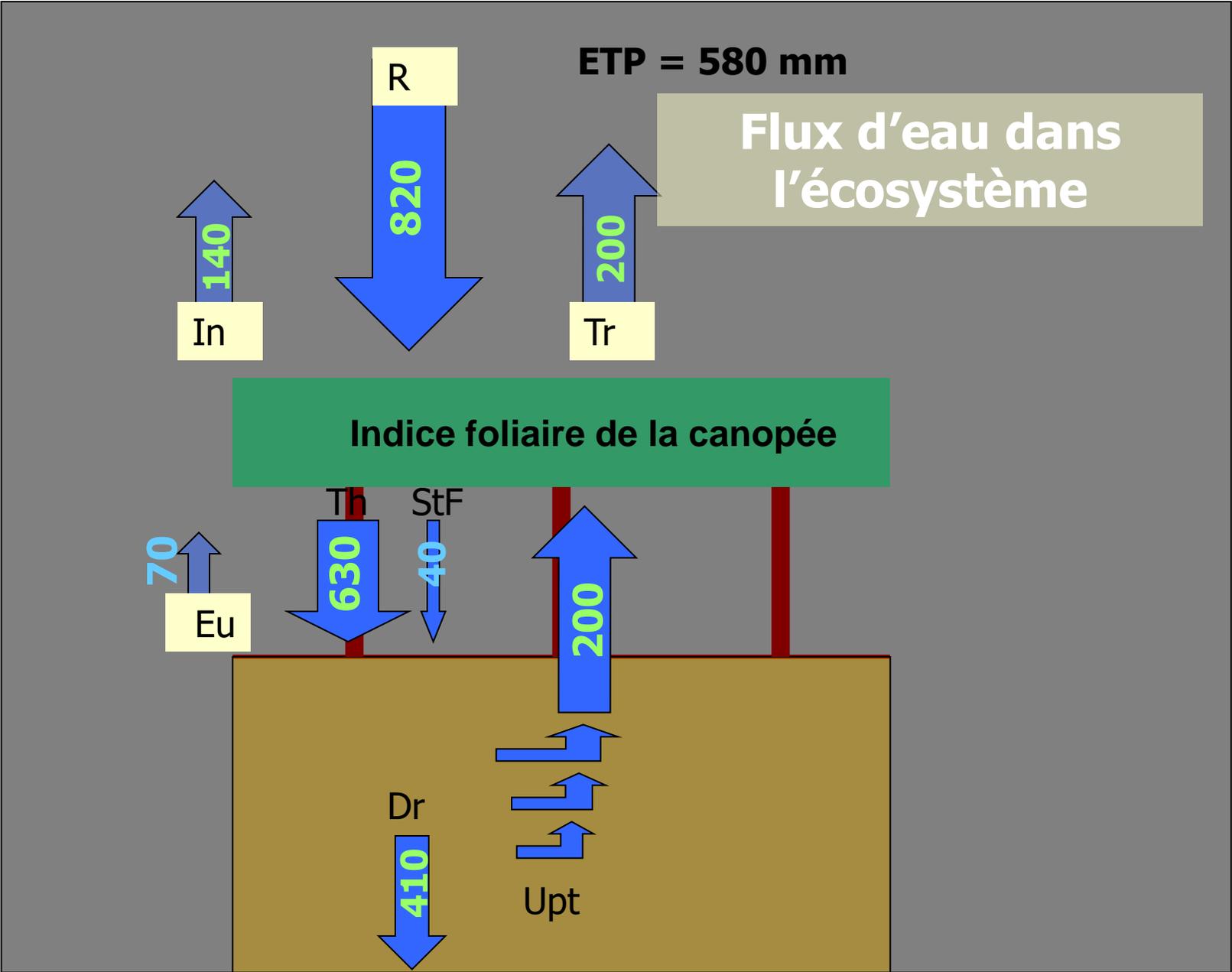
29 mars 2023 / Sainte Croix en Plaine / Nathalie Bréda

## ➤ Bilan hydrique et flux d'eau d'une parcelle en forêt



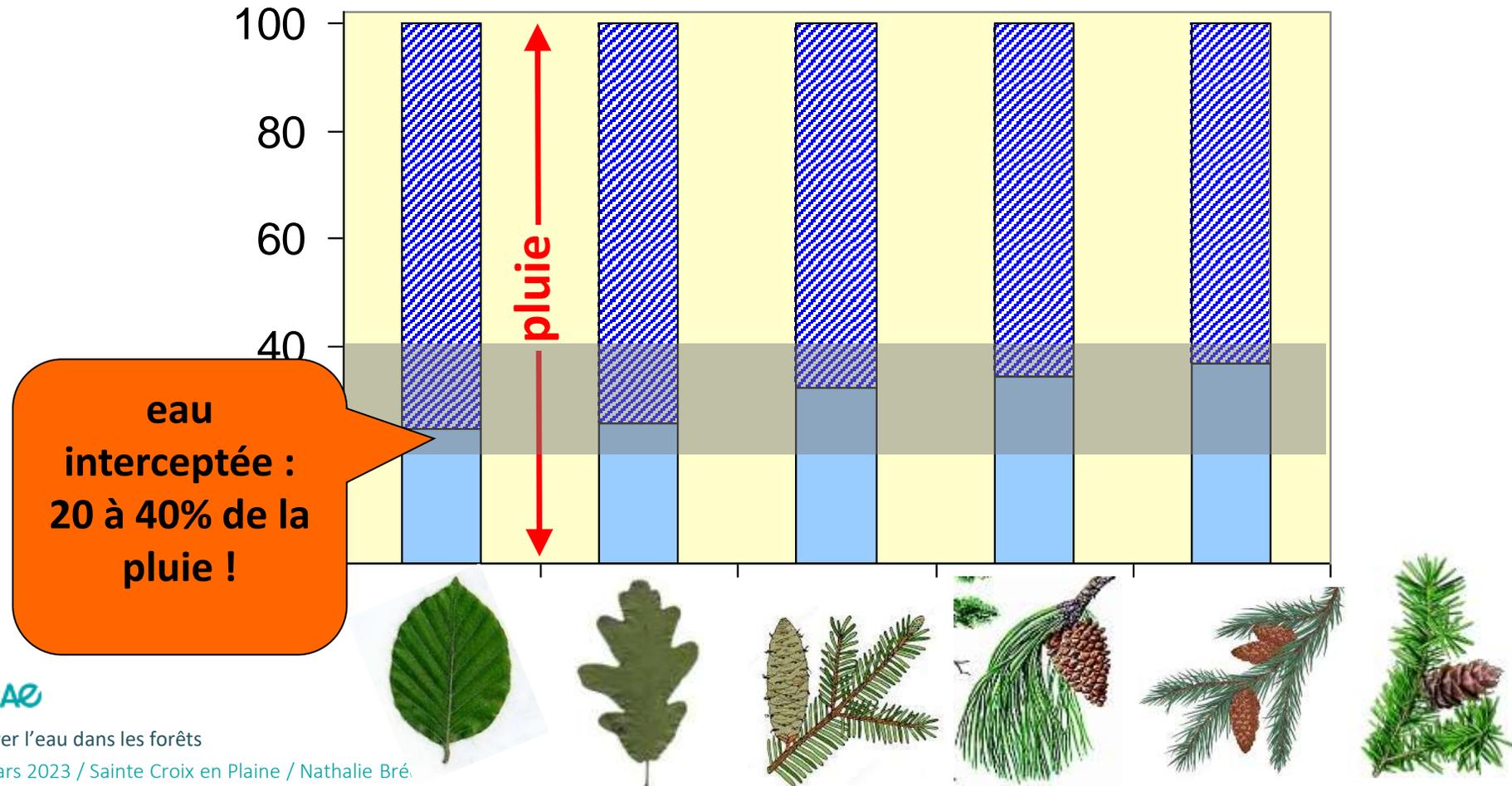
## ➤ Bilan hydrique : de quoi parle-t-on ?



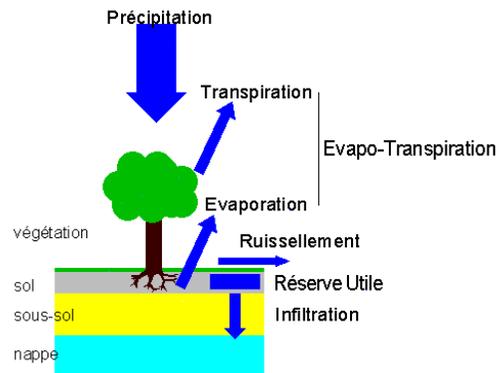


## ➤ L'interception des pluies par le couvert forestier : quelles quantités ?

**% de la pluie interceptée  
= eau "perdue" pour la forêt**



## ➤ Le bilan des entrées et sorties d'eau dans le sol varie tous les jours



## ➤ L'indice foliaire des couverts : késako ?

Une notion ancienne née chez les agronomes

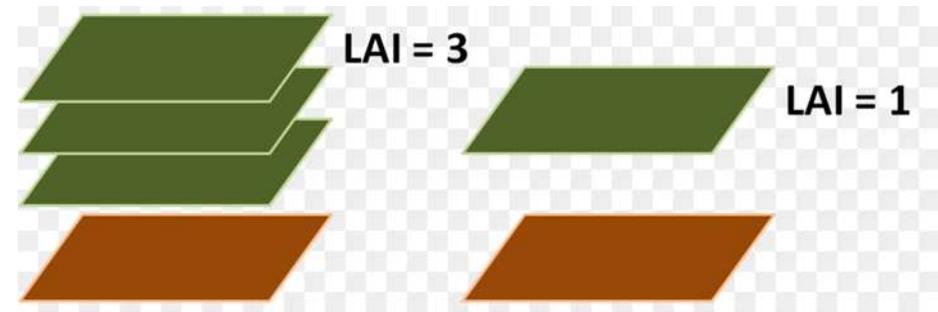


## ➤ L'indice foliaire d'une parcelle

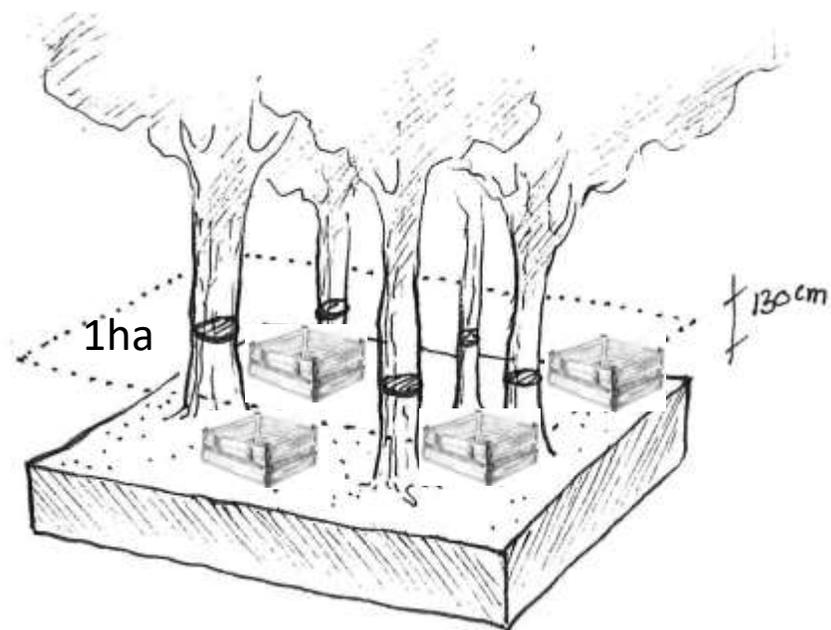
C'est la surface totale (1 face) de tissu foliaire par unité de surface au sol (Watson, 1947).

-> LAI est une quantité sans dimension ( $\text{m}^2$  feuille /  $\text{m}^2$  de sol)

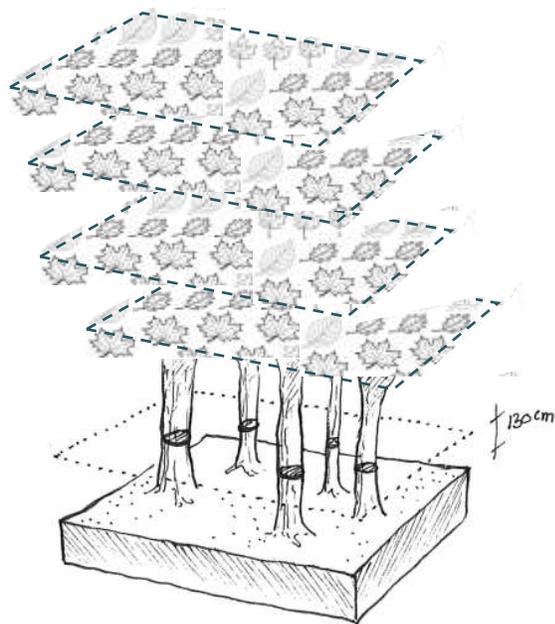
Souvent noté selon la dénomination anglosaxonne : Leaf Area Index ou LAI



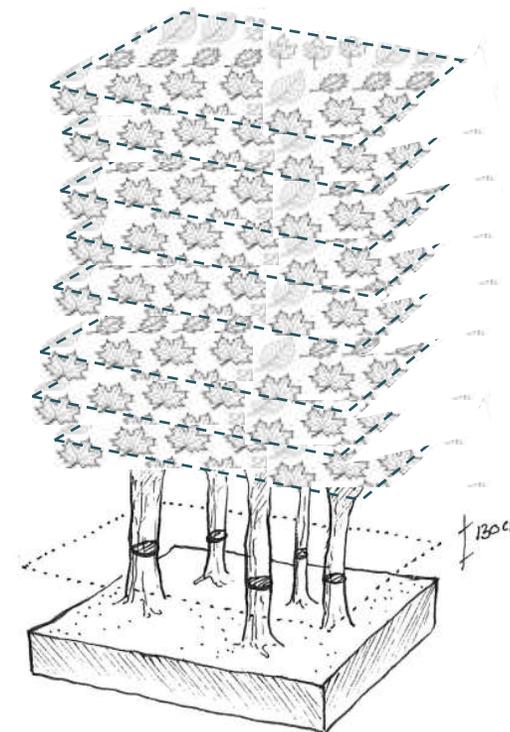
## ➤ Indice foliaire : illustration



**LAI = 4**  
**4 m<sup>2</sup> feuilles/m<sup>2</sup> sol**  
**= 4 ha feuilles/ha forêt**



**LAI = 8**  
**8 m<sup>2</sup> feuilles/m<sup>2</sup> sol**  
**= 8 ha feuilles/ha forêt**



# ➤ Comment mesurer l'indice foliaire ?

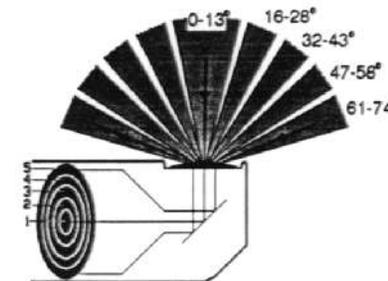
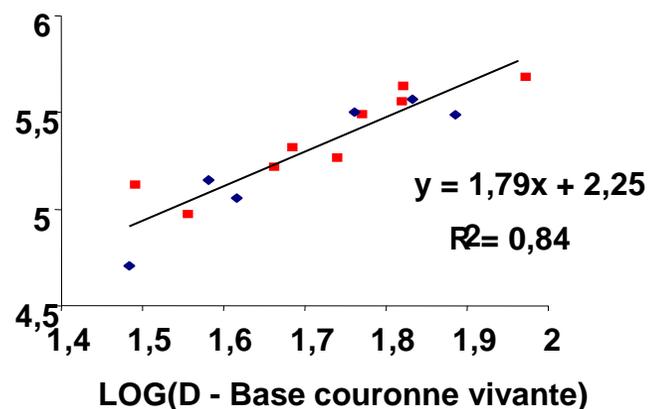
Des méthodes directes



Des méthodes indirectes



LOG(surf foliaire) ■ 40 y. (192 branches)  
◆ 100 y. - 6 arbres (153 branches)



INRAE

Cultiver l'eau dans les forêts

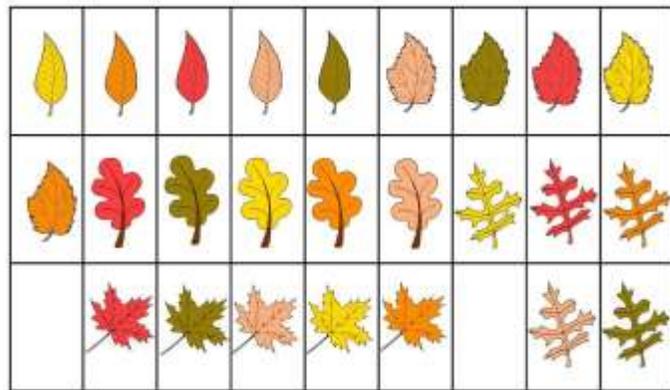
29 mars 2023 / Sainte Croix en Plaine / Nathalie Bréda

# ➤ Déterminer l'indice foliaire des peuplements par collectes de litières



1- collecte

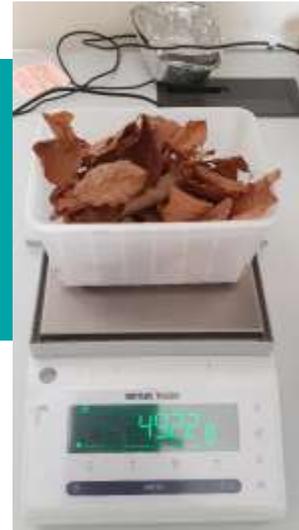
$$\text{Indice foliaire} = \text{Poids sec de feuilles (g/m}^2\text{)} \times \text{surface foliaire/poids sec (m}^2\text{/g)} = \text{m}^2 \text{ feuilles/m}^2 \text{ sol}$$



2- tri des feuilles récoltées par espèce



3-mesures de surface des feuilles fraîches



5-pesée feuilles sèches

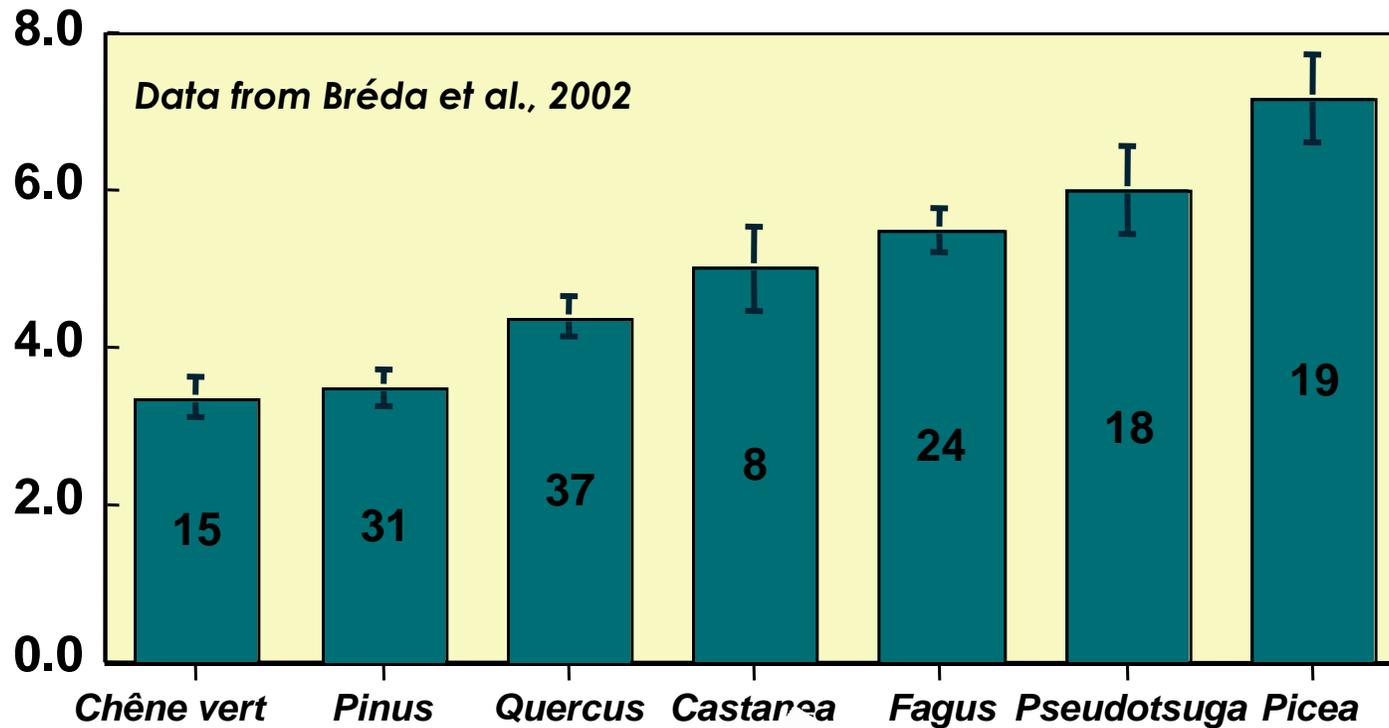


4-séchage à l'étuve

## ➤ Ordres de grandeur d'indice foliaire par espèce

*Indice foliaire (LAI) = surface de feuilles ou d'aiguilles par m<sup>2</sup> de sol*

### Indice foliaire

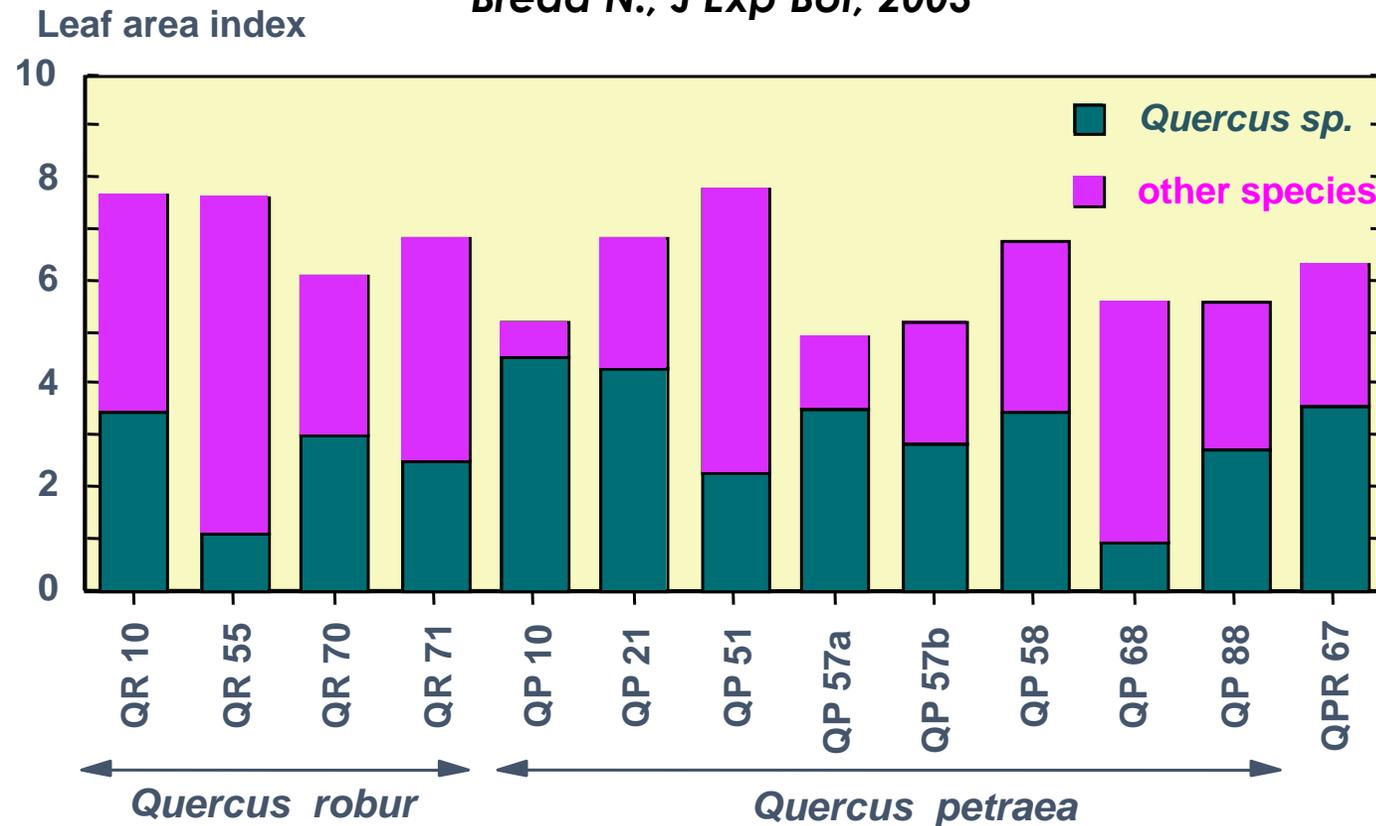


# ➤ L'indice foliaire varie beaucoup entre parcelles

Connaitre la contribution des essences à l'indice foliaire total du peuplement

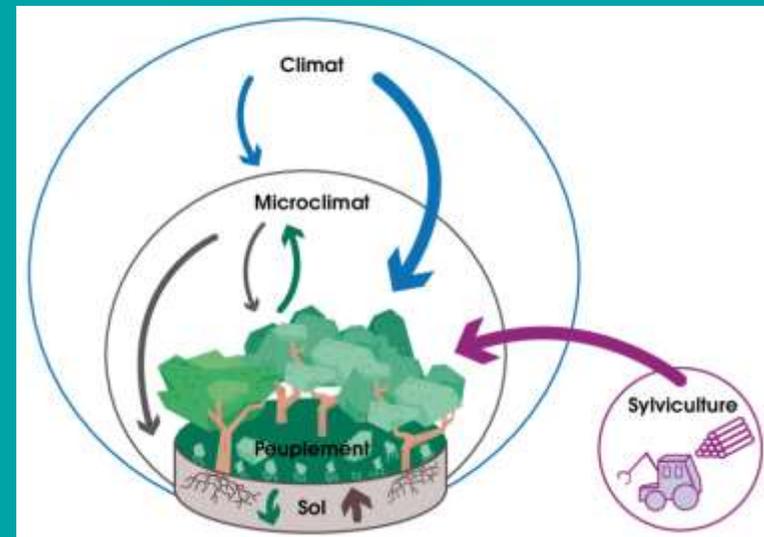


Data from RENECOFOR Network  
Bréda N., J Exp Bot, 2003



## ➤ Les leviers du forestier pour “doser” les flux d’eau

Quels flux peut-on doser par la sylviculture pour “économiser” de l’eau ?



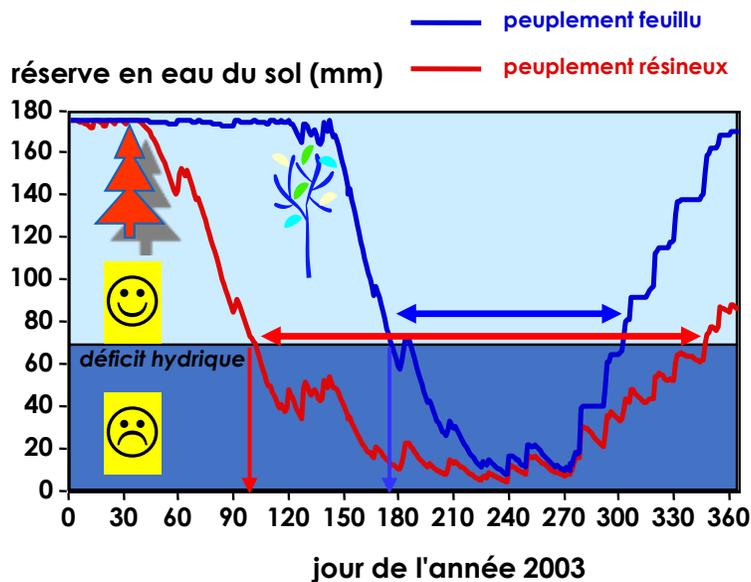
- A climat et sol donnés, quels sont les leviers du forestier pour atténuer la sécheresse et restituer plus d'eau bleue ?

### (1) CHOISIR ENTRE ESPÈCE DÉCIDUE OU SEMPERVIRENTE



## ➤ Différences entre couvert feuillu décidus ou résineux sempervirents

### Phénologie et indice foliaire



- Flux d'eau sous résineux
  - évapotranspiration forte et possible toute l'année
  - Interception forte toute l'année
- Caractéristiques sécheresse
  - Déficit hydrique plus précoce sous résineux
  - Intensité parfois plus forte
  - Réhydratation plus lente
  - Déficit hydrique plus long

D'après Bréda, Granier, Aussenac, 2005

*Pensez-y en réfléchissant aux substitutions d'essences : planter du douglas à la place du hêtre ?*

➤ A climat et sol donnés, quels sont les leviers du forestier pour consommer moins d'eau et atténuer la sécheresse ?

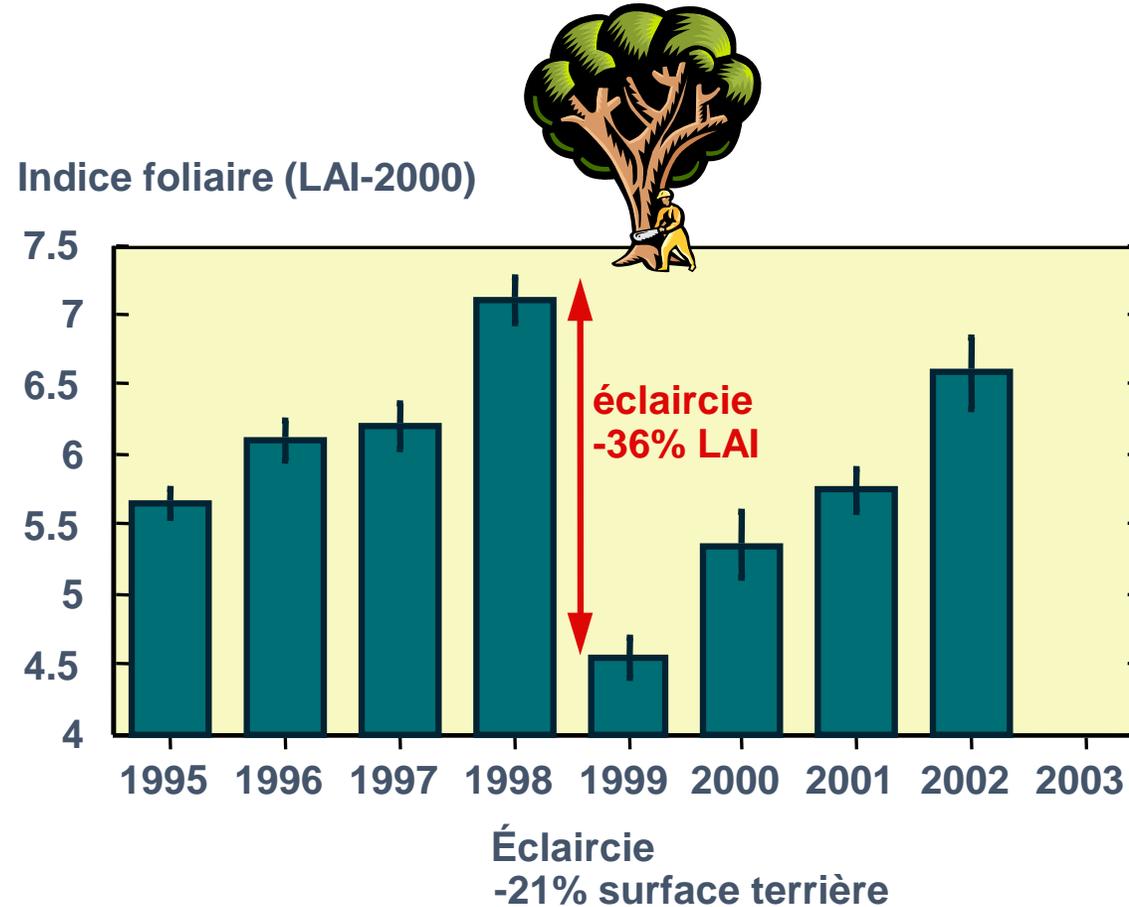


(2) CONTRÔLER LA QUANTITÉ DE FEUILLES OU D'AIGUILLES PAR HA



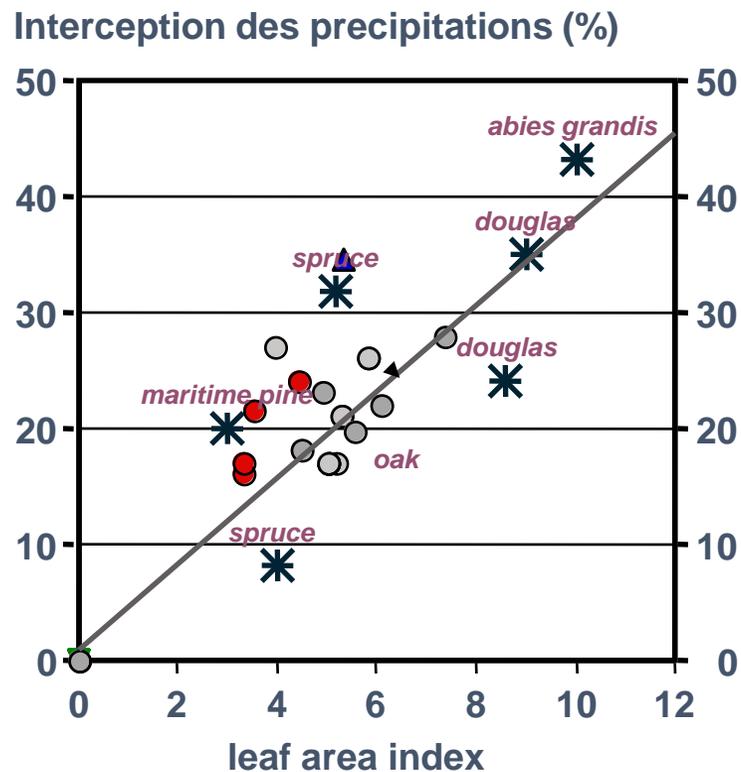
## ➤ Indice foliaire et éclaircie

Couper des arbres c'est aussi couper des feuilles !



# ➤ L'interception des précipitations varie avec l'indice foliaire

Plus il y a de feuilles sur une parcelle, moins la pluie atteint facilement et rapidement le sol



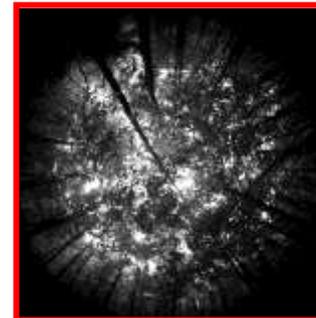
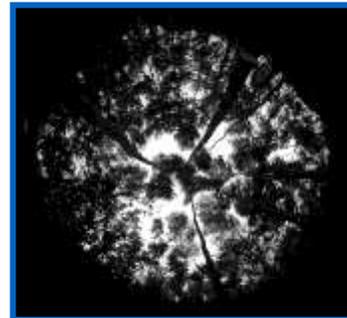
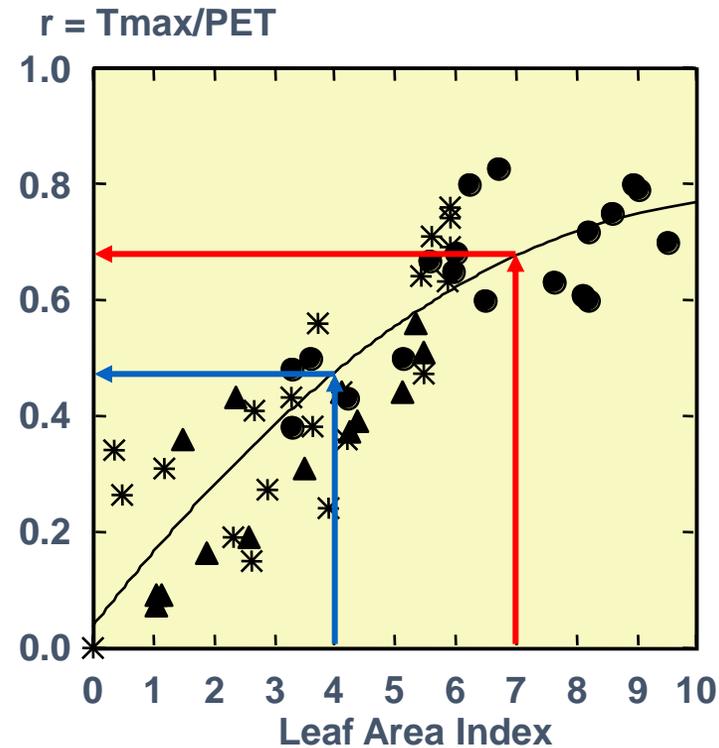
- L'interception diminue lorsque l'indice foliaire est réduit par éclaircie
- A indice foliaire donné, les couverts discontinus interceptent plus de précipitations
  - Capacité de saturation de la canopée plus grande
  - Réévaporation plus élevée

## ➤ La transpiration potentielle des peuplements dépend de l'indice foliaire

Impact de l'éclaircie sur la transpiration potentielle des peuplements



Capteur de flux de sève  
Photo et inventeur A. Granier



Réduire l'indice foliaire joue sur deux flux majeurs :

- la transpiration des arbres
- l'interception des précipitations.

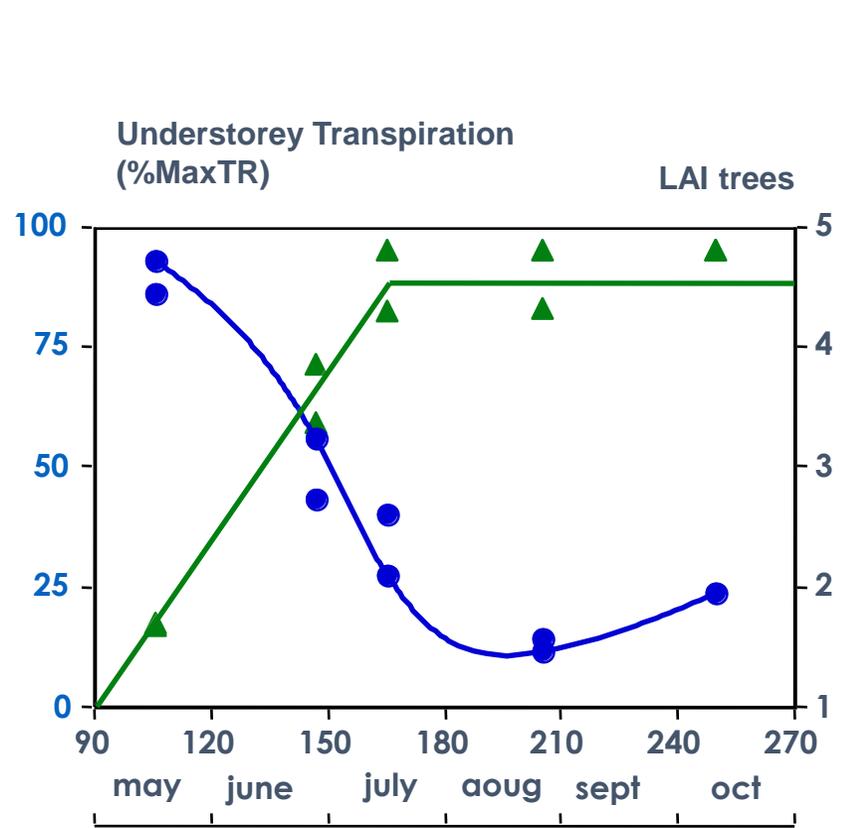
Il en résulte une humidité des sols plus élevée.

# ➤ Contribution de la strate basse à l'évapotranspiration du peuplement

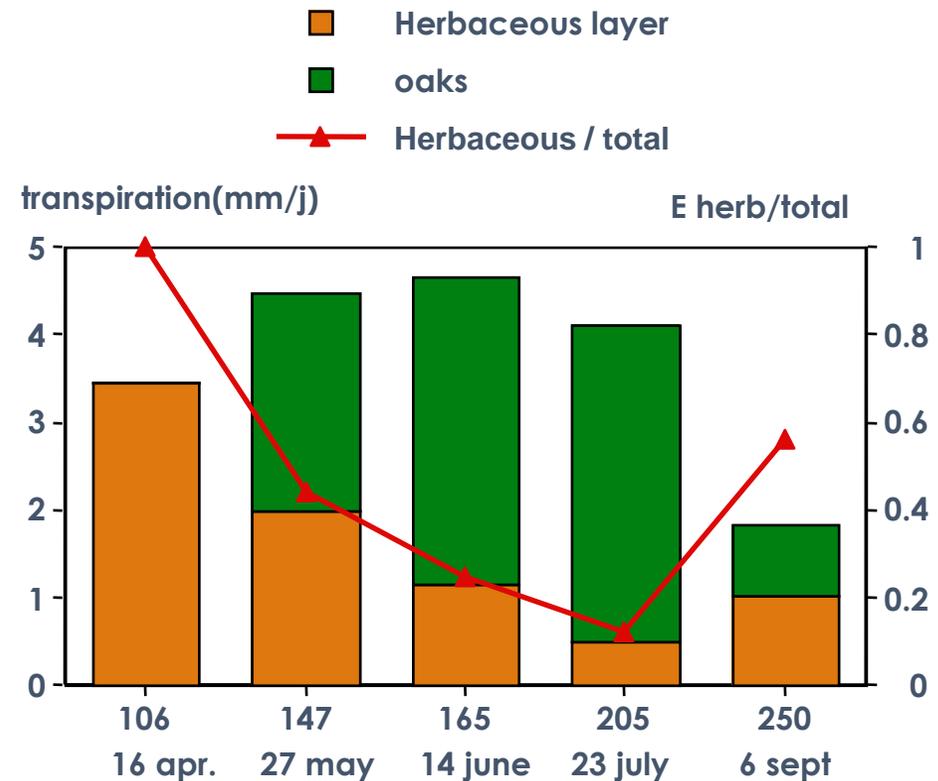


- Dépend de l'énergie reçue
- Or l'atténuation du rayonnement par le couvert arboré dépend de l'indice foliaire des arbres
- La distribution des racines & le contrôle de la transpiration sont contrastés entre herbacé et arbre, ce qui modifie leur transpiration lorsque le sol se dessèche (herbe flétrie),

# ➤ Contribution de la strate herbacée à la transpiration totale du peuplement



d'après Bréda et Peiffer, 1998



Partitionnement phénologique entre strates



## ➤ La sylviculture permet de doser l'indice foliaire

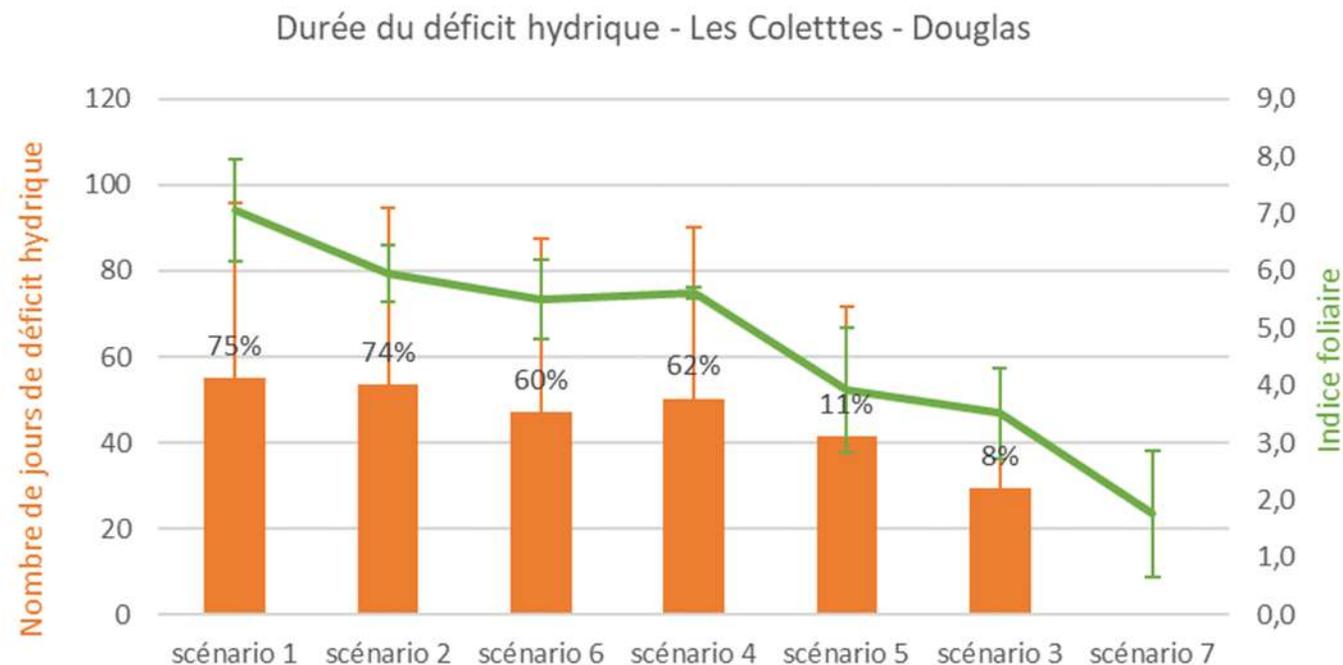
GIS Coop. Les Colettes Auvergne Douglas, 7 itinéraires sylvicoles contrastés



# Indice foliaire & fréquence d'année avec sécheresse (déficit hydrique dans le sol)

GIS Coop. Les Colettes Auvergne Douglas : comparaison de 7 itinéraires sylvicoles contrastés

RU=153 mm  
Pi = 844 mm



Le % d'années avec sécheresse est indiqué (sur 53 années 1950-2011)



INRAE

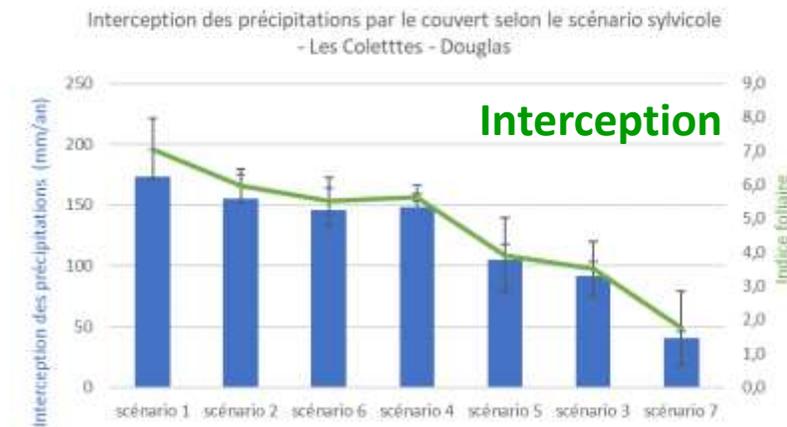
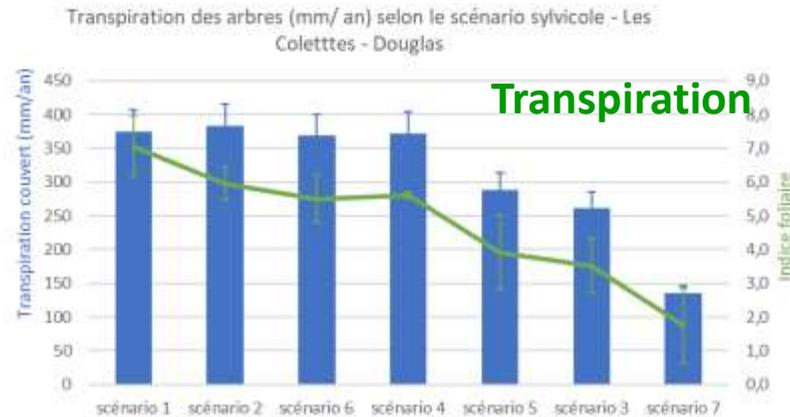
Cultiver l'eau dans les forêts

29 mars 2023 / Sainte Croix en Plaine / Nathalie Bréda

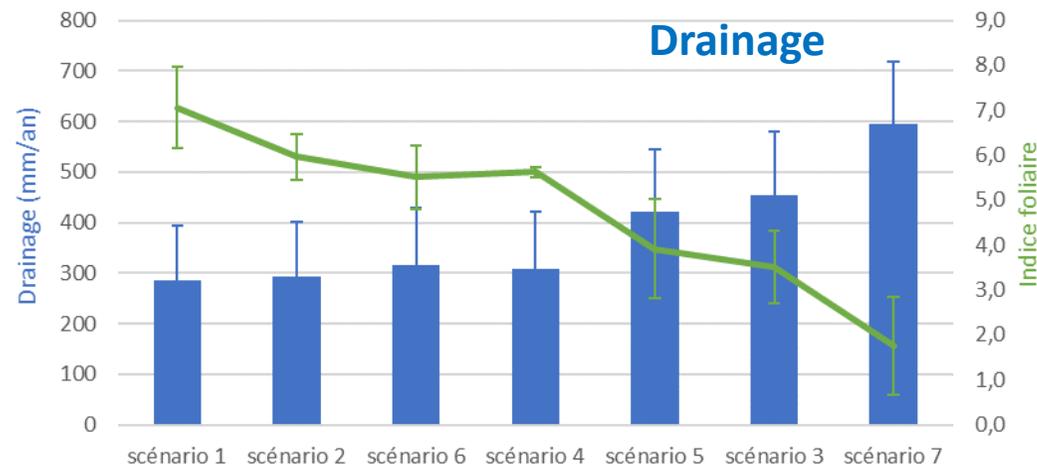
Projet IFASYL (Labex Arbre, RMT Aforce)  
N. Bréda Coord.

# ➤ Gérer l'indice foliaire pour partager les flux d'eau

Essais d'itinéraires sylvicoles GIC Coopérative de données, Les Colette, Douglas, Auvergne  
comparaison de 7 itinéraires sylvicoles contrastés



Restitution d'eau par drainage selon le scénario sylvicole - Les Coletttes - Douglas



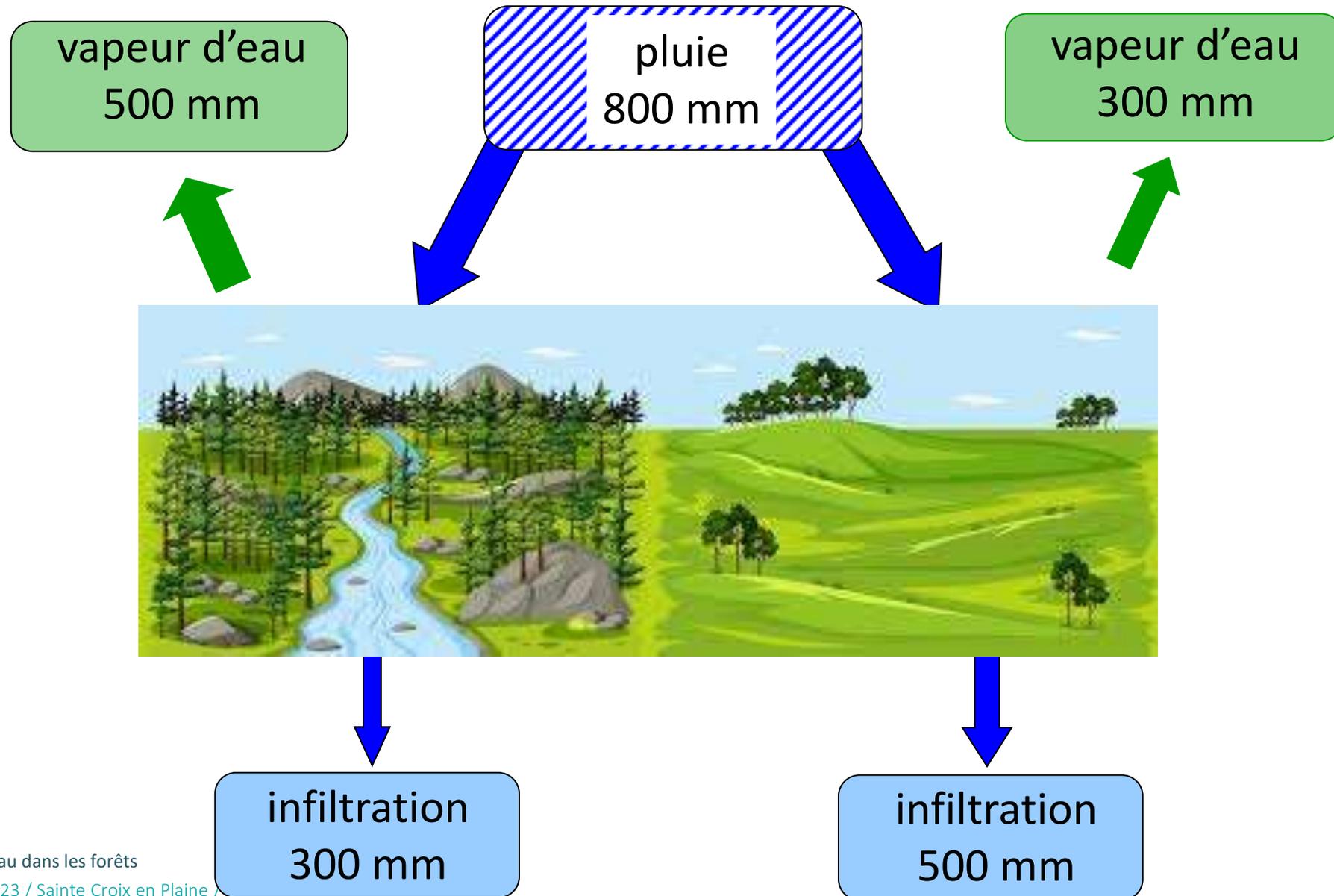
Projet IFASYL (Labex Arbre, RMT Aforce)  
N. Bréda Coordinatrice

- A climat et sol donnés, quels sont les leviers du forestier pour atténuer la sécheresse et restituer plus d'eau bleue ?

### (3) MODIFIER L'OCCUPATION DU SOL



## ➤ Forêt ou prairie : quelles différences de partage de l'eau ?



## ➤ Quelques messages à retenir ...

- L'eau qui n'est pas consommée par les arbres est drainée et retrouvée dans l'eau bleue
- Le principal levier d'action du forestier est de jouer à la fois sur la consommation en eau du peuplement et l'interception des précipitations :
  - en limitant la période de consommation et d'interception (espèces décidues vs sempervirentes)
  - en limitant la surface foliaire du peuplement donc en réduisant le nombre d'arbres
- Les éclaircies sont efficaces pour améliorer la disponibilité de l'eau pour les arbres restants. Ainsi, réduire la durée et l'intensité des périodes de manque d'eau permet :
  - de maintenir une croissance régulière des arbres,
  - voire d'éviter des dépérissements et mortalités d'arbres
- Le bilan hydrique peut être ajusté en optimisant (et non en maximisant) l'indice foliaire total de l'écosystème, en fonction du bilan hydrique local, y compris les précipitations et les capacités de rétention de l'eau du sol.
- Réduire le nombre d'arbres et la surface foliaire des parcelles, c'est choisir un compromis entre
  - Production de bois et résistance à la sécheresse,
  - Eau verte consommée par la forêt ou eau bleue restituée au milieu par drainage, écoulement,

## ➤ Pour aller plus loin ...

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

[https://www.reseau-aforce.fr/data/ouvrage\\_bilan\\_hydrique.pdf](https://www.reseau-aforce.fr/data/ouvrage_bilan_hydrique.pdf)



- 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

### Phénologie et indice foliaire

#### Comment intervient le couvert dans le bilan hydrique ?

L'interface entre le couvert des peuplements et l'atmosphère joue un rôle clé hydrique. Les flux d'eau, entrants et sortants, sont modulés au cours de la couverture qui :

- contrôle l'interception des précipitations
- conditionne le rayonnement transmis au niveau de la strate herbacée
- détermine la transpiration du couvert



### Le bilan hydrique des peuplements forestiers

État des connaissances scientifiques et techniques  
Implications pour la gestion

Coordination  
Sophie BERTIN  
Cécile FÉLIZET

Auteurs  
Sophie BERTIN  
Philippe BAUANDRE  
Jacques BEGUEY  
Dominic BONAL  
Nathalie BRÉDA  
Cécile FÉLIZET  
Philippe FODONNET  
Éric SIVIGNY



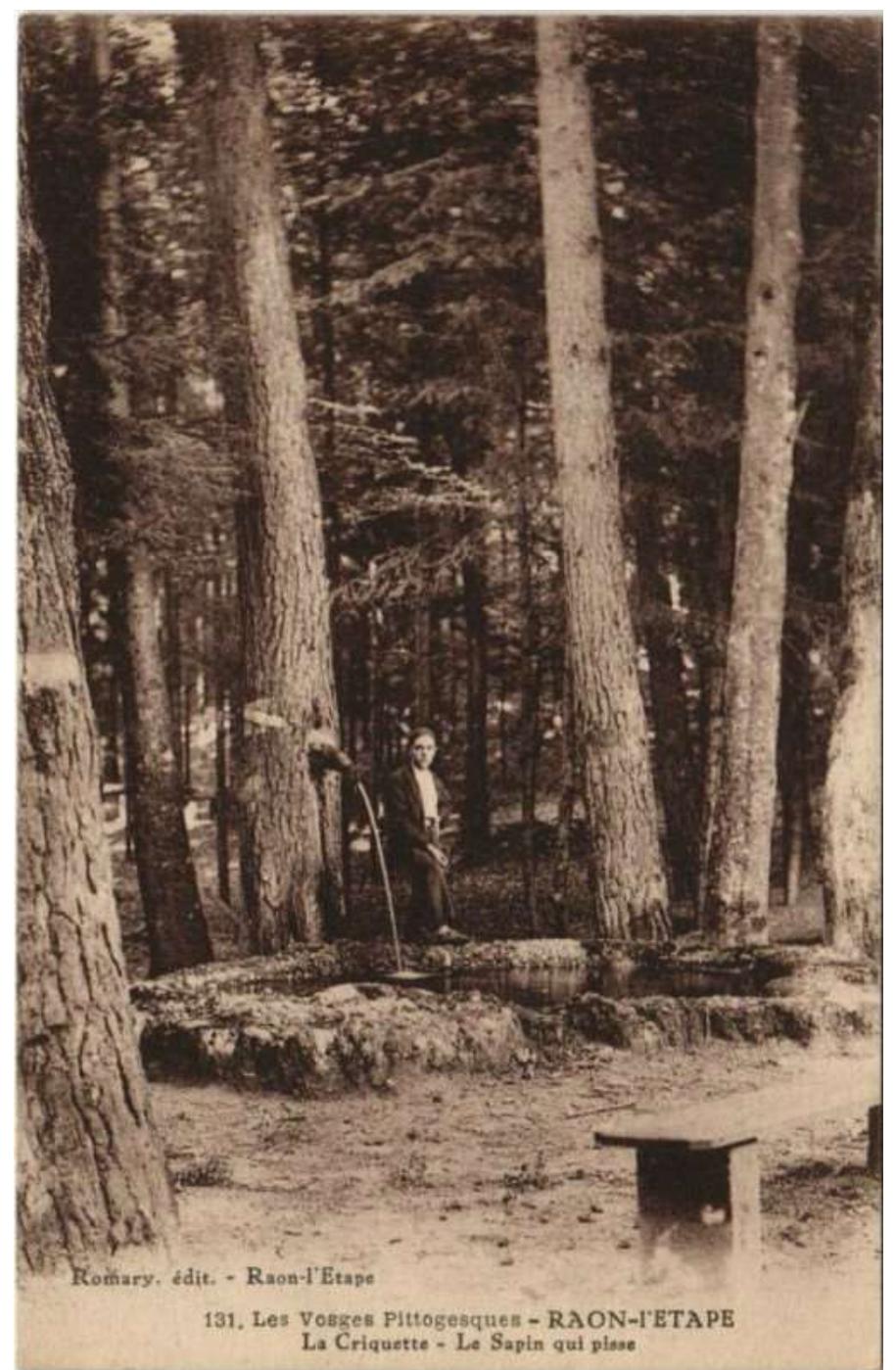
INRAE

Cultiver l'eau dans les forêts

29 mars 2023 / Sainte Croix en Plaine / Nathalie Bréda

➤ Merci de votre attention !

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



**INRAE**

Cultiver l'eau dans les forêts

29 mars 2023 / Sainte Croix en Plaine / Nathalie Bréda