



# Quantifier la réserve utile en eau des sols : approches pédologique, écophysiologique et modélisation

« Total Available Water to trees »  
a key, missing parameter for assessing the vulnerability of forests  
in the face of climate change



## Qu'est-ce que TAW ?

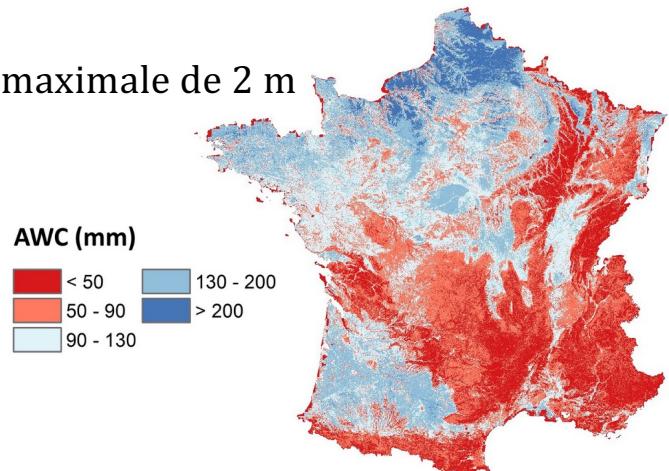
« TAW » = Total Available Water (en mm)

TAW est la *hauteur totale d'eau du sol extractible par la végétation*.

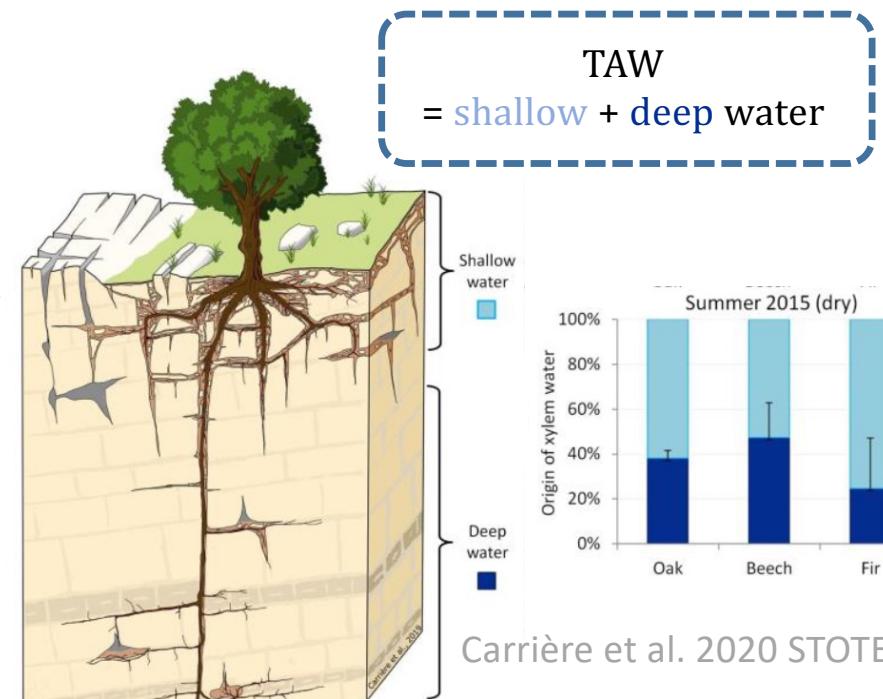
Cela comprend l'eau:

- superficielle et profonde,
- extraite « jusqu'au PFP »,
- éventuellement issue de la zone saturée ou d'écoulement latéraux.

RU à prof. maximale de 2 m



Roman Dobarco et al. 2019 Geoderma



Carrière et al. 2020 STOTEN

La Réserve Utile (ou Réservoir Utilisable Maximal) est une grandeur analogue à TAW :

$$RU = \sum_{z=0}^{z=Prof_{rac}} (1 - \% cailloux) \times (\theta_{CC} - \theta_{PFP}) \times \Delta z$$

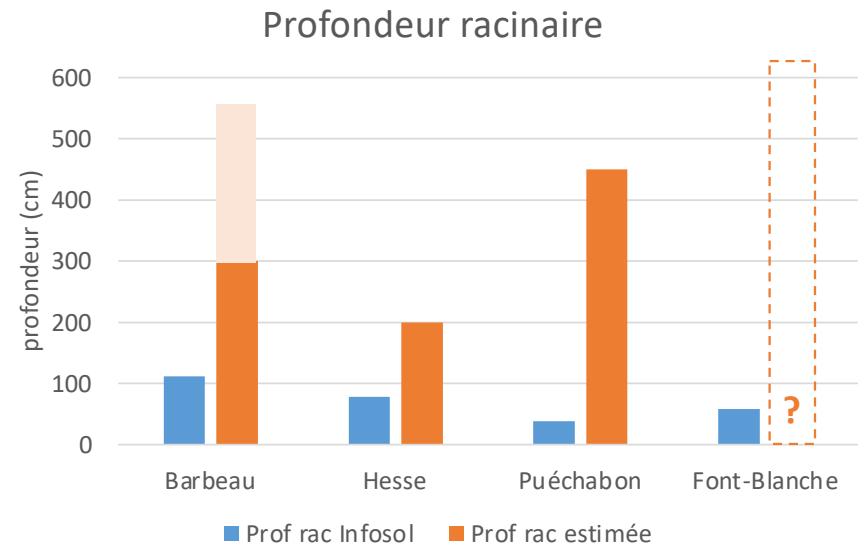
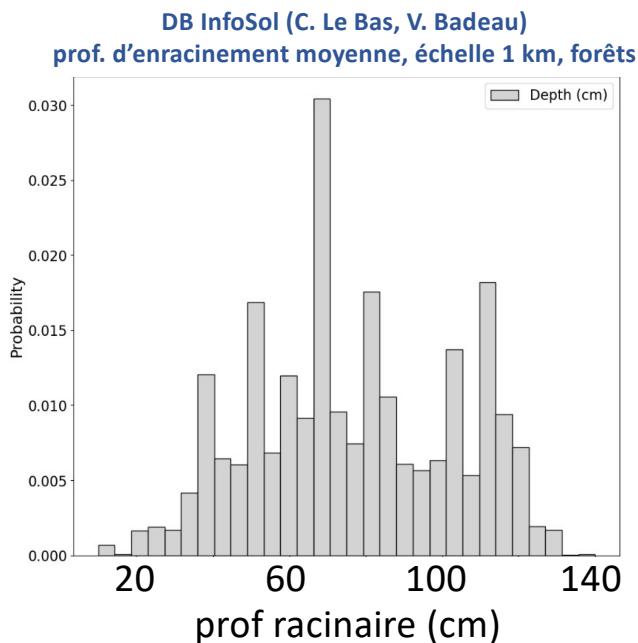
- RU est **habituellement estimée en surface ( $\leq 2$  m)**
- RU néglige l'apport de la zone saturée / écoulement latéraux

## Qu'est-ce que TAW ?

« TAW » = **Total Available Water** (en mm)

TAW met l'accent sur l'accès à l'eau profonde, quand RU se cantonne habituellement à 1-2 m de profondeur

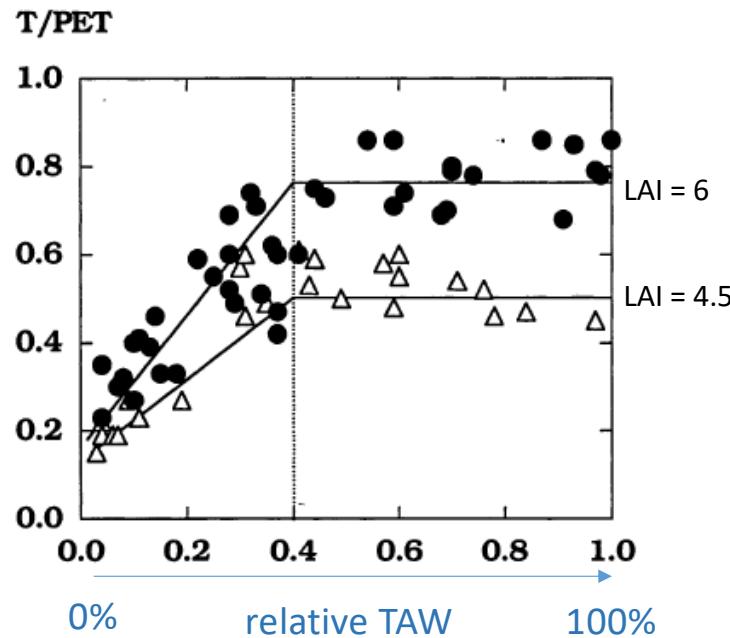
→ Pourtant, dans de nombreux cas, les arbres peuvent extraire de l'eau à plus de 2 m de profondeur !



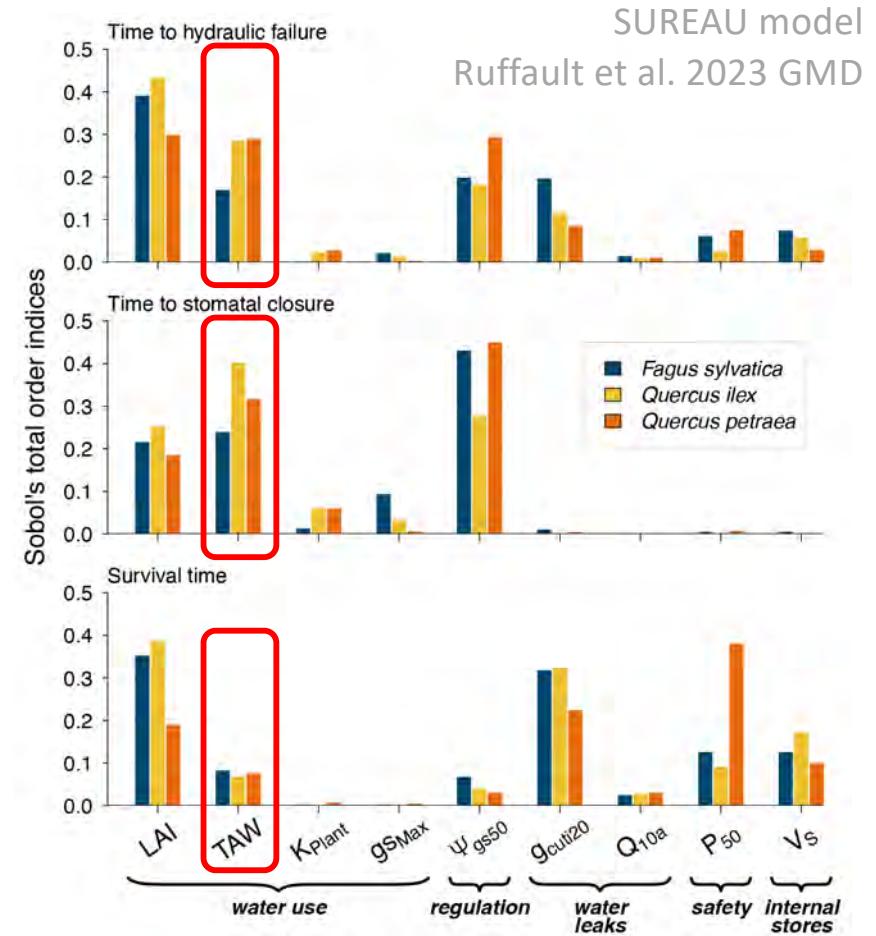
racines profondes à Barbeau, photos © Gaëlle Vincent



# TAW est un paramètre-clé pour le fonctionnement des arbres



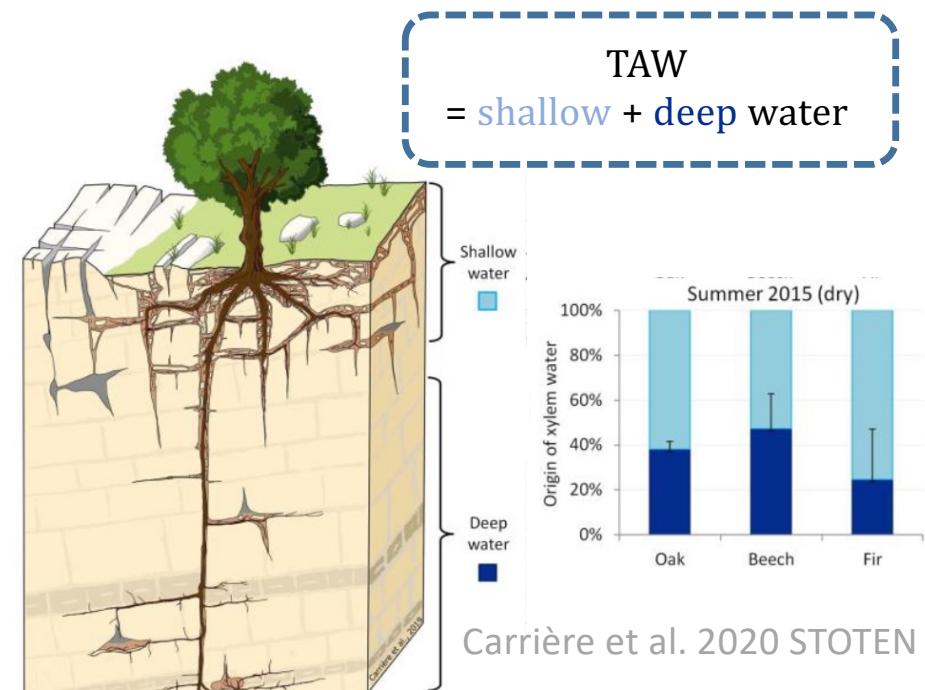
Granier et al. 1999 Ecol. Mod.

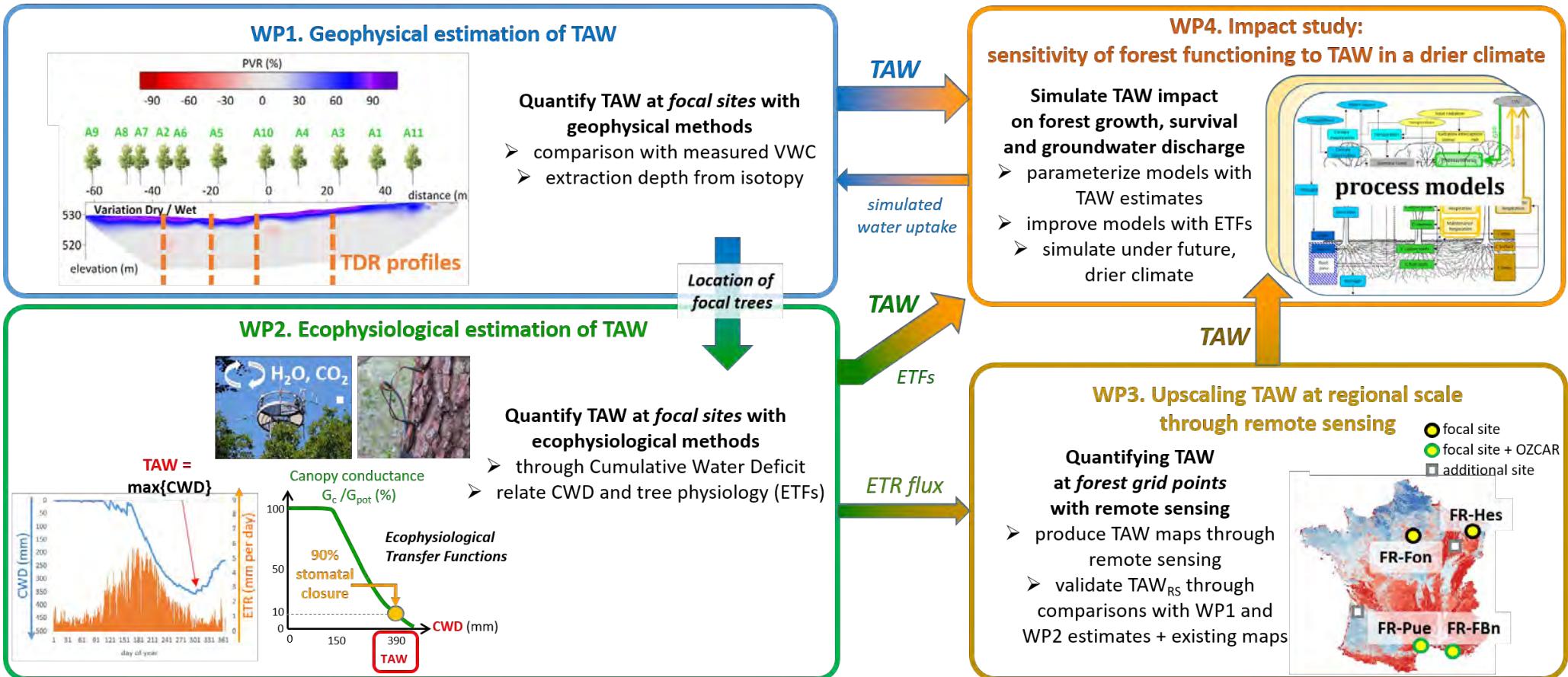


# Projet « Total Available Water to trees » = TAW-tree

## Objectifs du projet

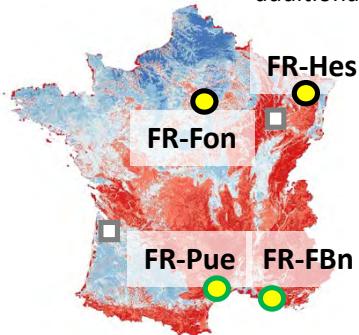
- (1) quantifier la réserve totale disponible (TAW) de parcelles forestières par une combinaison d'approches géophysiques (WP1) et écophysiologiques (WP2),**
- (2) étendre l'estimation de TAW à l'échelle régionale par télédétection (WP3) afin de**
- (3) quantifier par la modélisation l'influence de TAW sur le fonctionnement, la croissance et la vulnérabilité de forêts tempérées et méditerranéennes confrontées au changement climatique (WP4)**





## Sites d'étude

- focal site
- focal site + OZCAR
- additional site

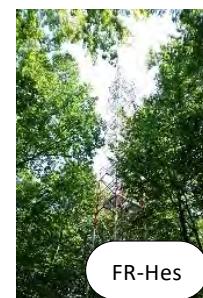


4 **sites focaux** (ICOS : FR-Fon, FR-Hes, FR-Pue, FR-Fbn) → WP1 + WP2 + test sites for WP3

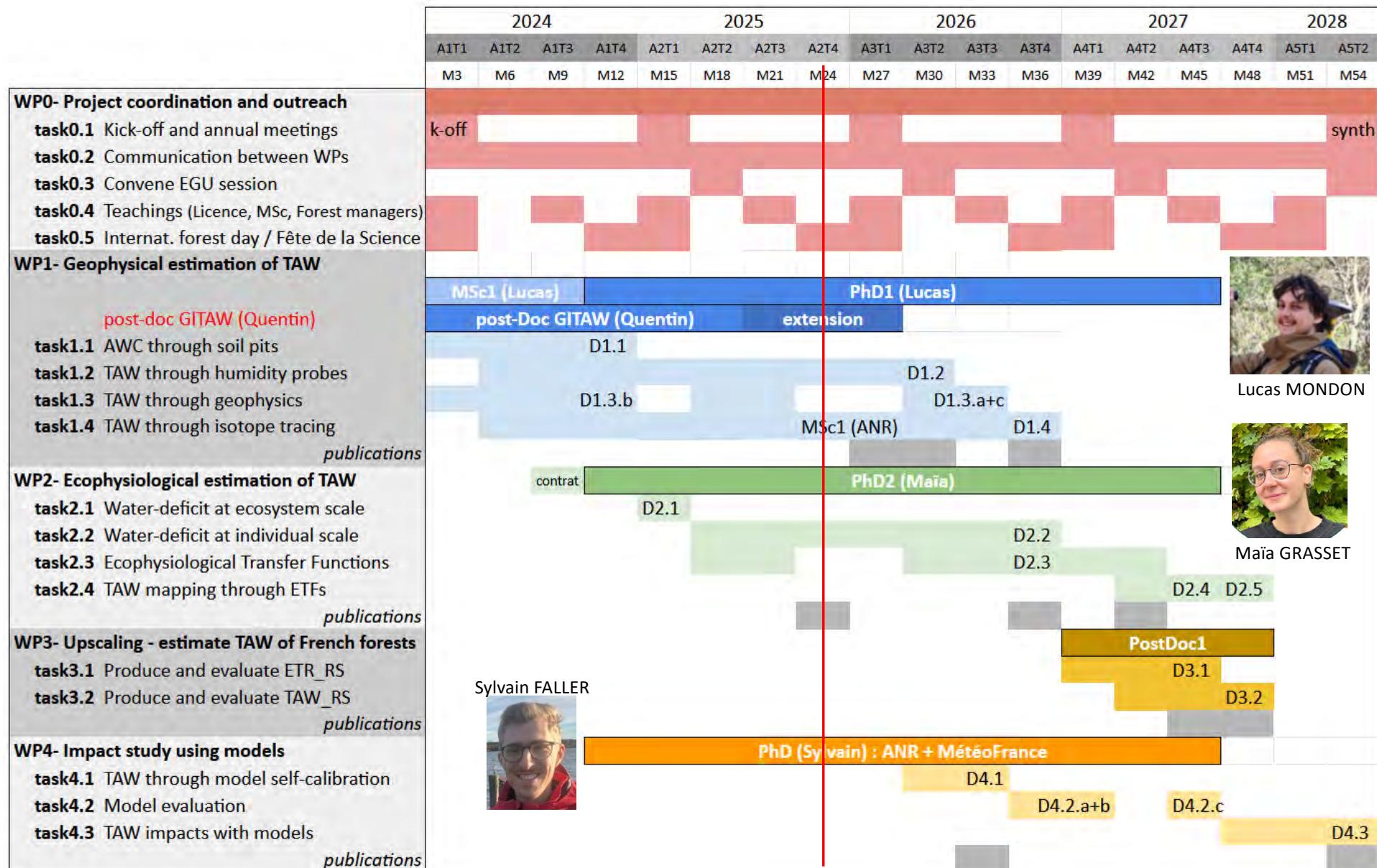
env. 15 **sites additionnels** (ICOS-Europe, all forests) → WP2 + test sites for WP3

2 **bassins versants OZCAR** (MEDCYSS ⇔ FR-Pue, Port-Miou ⇔ FR-Fbn)

« Points de grille » forestiers → WP3 + WP4



	Barbeau	Hesse	Puéchabon	Font-Blanche
espèces	<i>Quercus petraea</i> + <i>Carpinus betulus</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Pinus halepensis</i> + <i>Quercus ilex</i>
P50	-4.5 / -3.7 MPa	-3 MPa	-7 MPa	-5 / -7 MPa
sol	luvisol endostagnique	luvisol	sol calc fersiallitique sur karst	leptosol sur karst
climat	tempéré océanique dégradé	tempéré continental	méditerranéen	méditerranéen

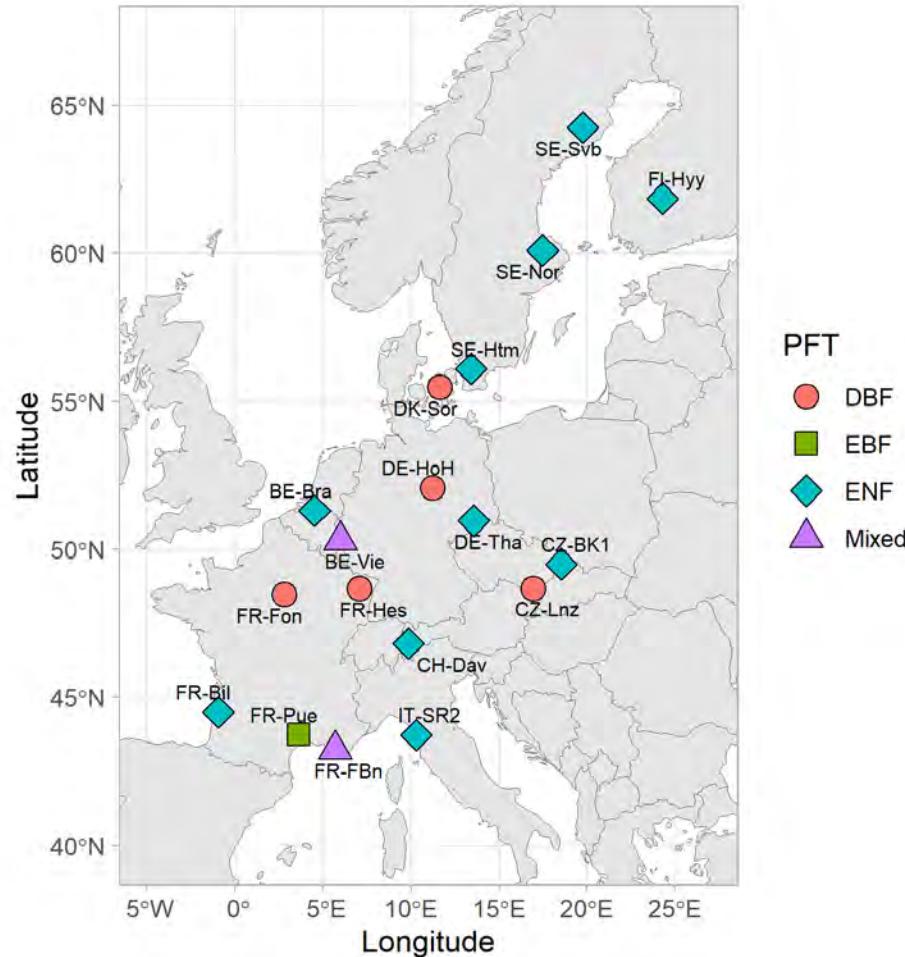


**ICOS**INTEGRATED  
CARBON  
OBSERVATION  
SYSTEM

## TAW-tree WP2 : estimation de TAW sur 15 sites forestiers européens



Maïa GRASSET





*résolution 250-m, global*

% argile / limon / sable  
% éléments grossiers

Fonctions de  
pédo-transfert  
(PTF)

$\theta_{CC}$ ,  $\theta_{PFP}$

Des données plus précises sur les sites : FR-Fon

CZ-Lnz  
DE-HoH  
DK-Sor  
BE-Vie  
FI-Hyy  
FR-FBn  
FR-Pue

**TAW\_pedo** est un « estimateur absolu » de TAW.

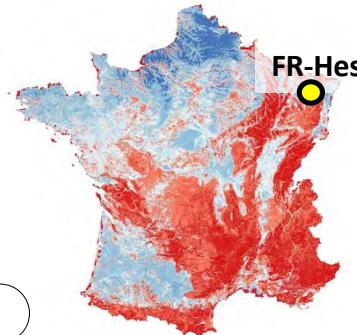
## TAW\_pedo

$$TAW = \sum_{z=0}^{z=RootDep} (1 - \%rock) \times (\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \times \Delta z$$

Hypothèse :  
Enracinement = 200 cm sur tous les sites



FR-Hes  
Hêtraie de Hesse (57)

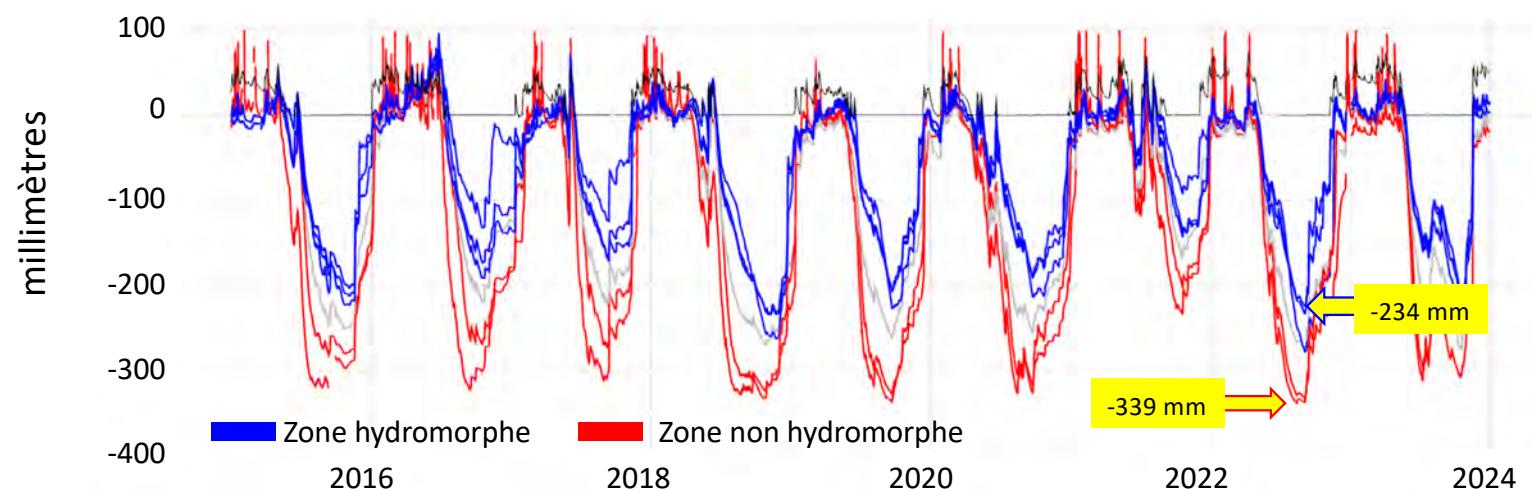


## TAW\_SWC



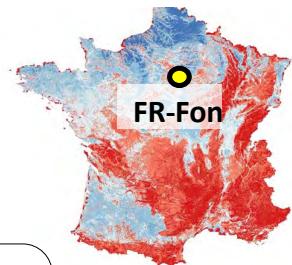
© Sentek

Exemple à FR-Hes  
5 puits de mesure SWC, à profondeur de 150 cm  
extrapolé à 200 cm

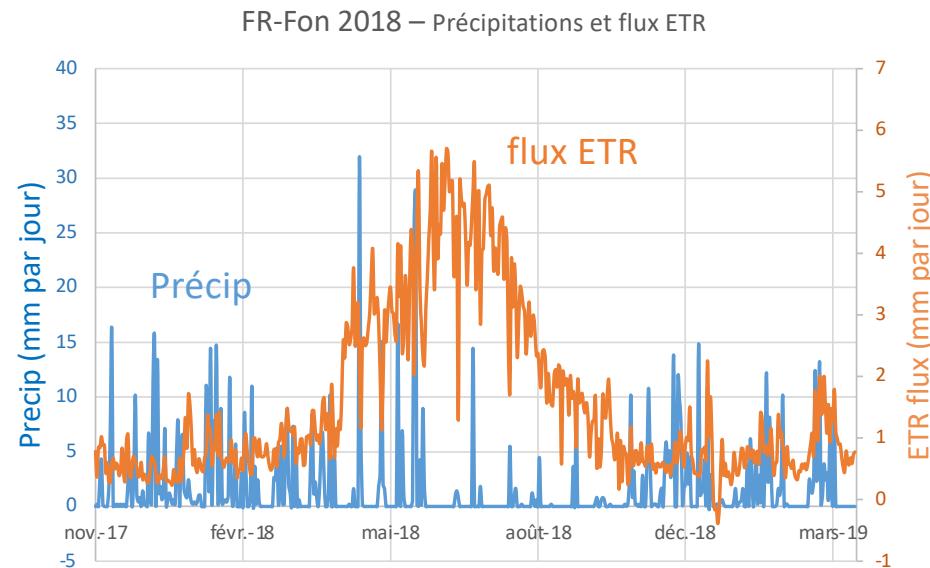




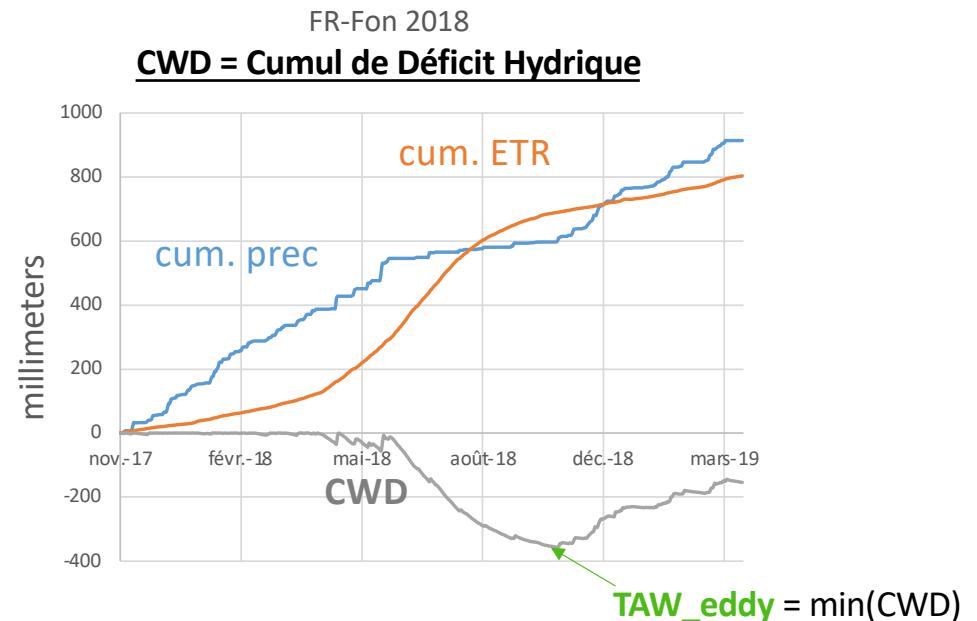
FR-Fon  
Chênaie-Charmaie de Barbeau (77)



## TAW\_eddy



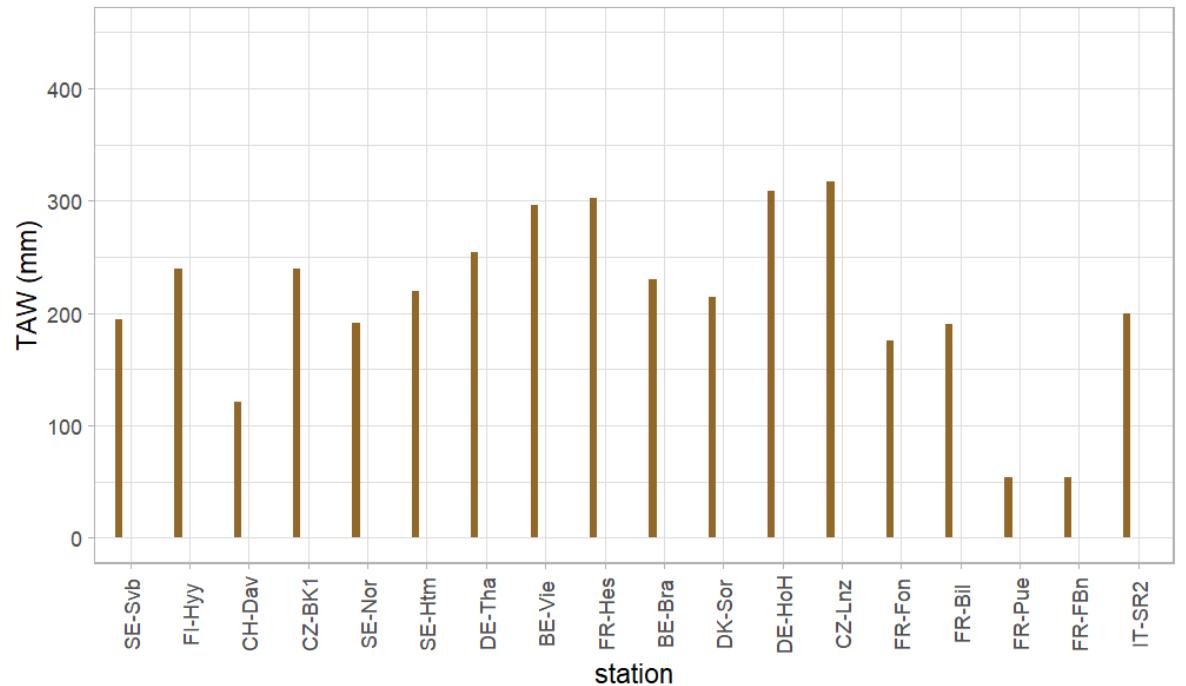
**TAW\_eddy** est un « estimateur prudent ».  
 (la réserve en eau n'a probablement pas été totalement épuisée au plus fort des sécheresses 2015-2022)



$$CWD(1) = 0$$

$$CWD(d + 1) = \min(0, CWD(d) + P(d) - ETR(d))$$

# Comparaison des estimateurs de TAW



Method

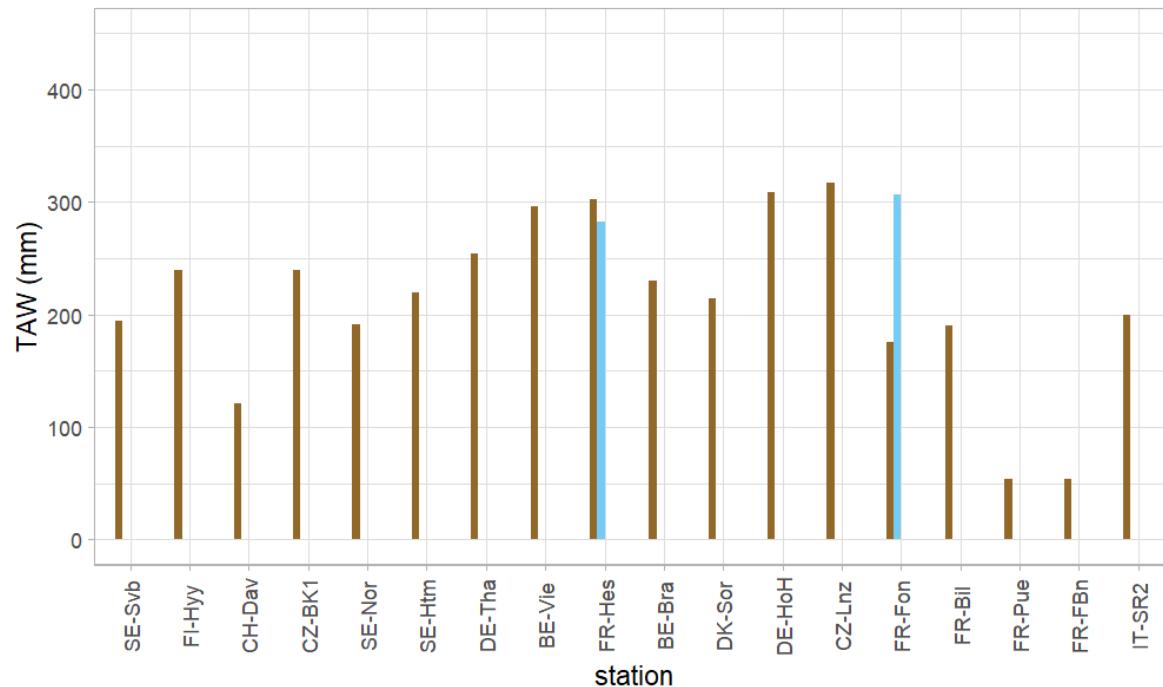
- █ TAW\_pedo
- █ TAW\_swc
- █ TAW\_eddy
- █ TAW\_eddy2

**TAW\_pedo**

54 à 317 mm  
médiane = 217 mm

- Forte influence de la fraction d'éléments grossiers!
- Proportionnel à la profondeur explorée (ici 200 cm) !

# Comparaison des estimateurs de TAW



Method

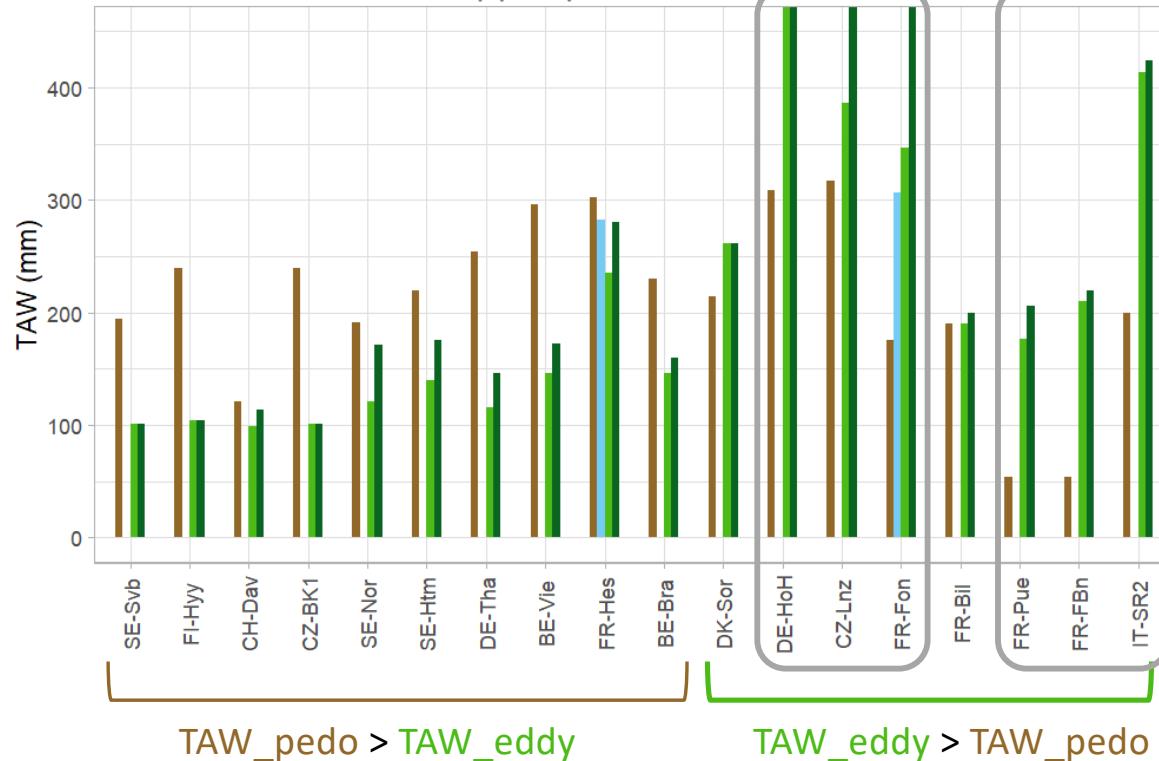
- TAW\_pedo
- TAW\_swc
- TAW\_eddy
- TAW\_eddy2

**TAW\_swc**

- Estimée sur deux sites à ce jour
- Également sensible à la prof. prospectée
- Dans l'ensemble, peu de données d'humidité profonde

# Comparaison des estimateurs de TAW

Ces sites ont accès à des nappes profondes



Sites méditerranéens

Method

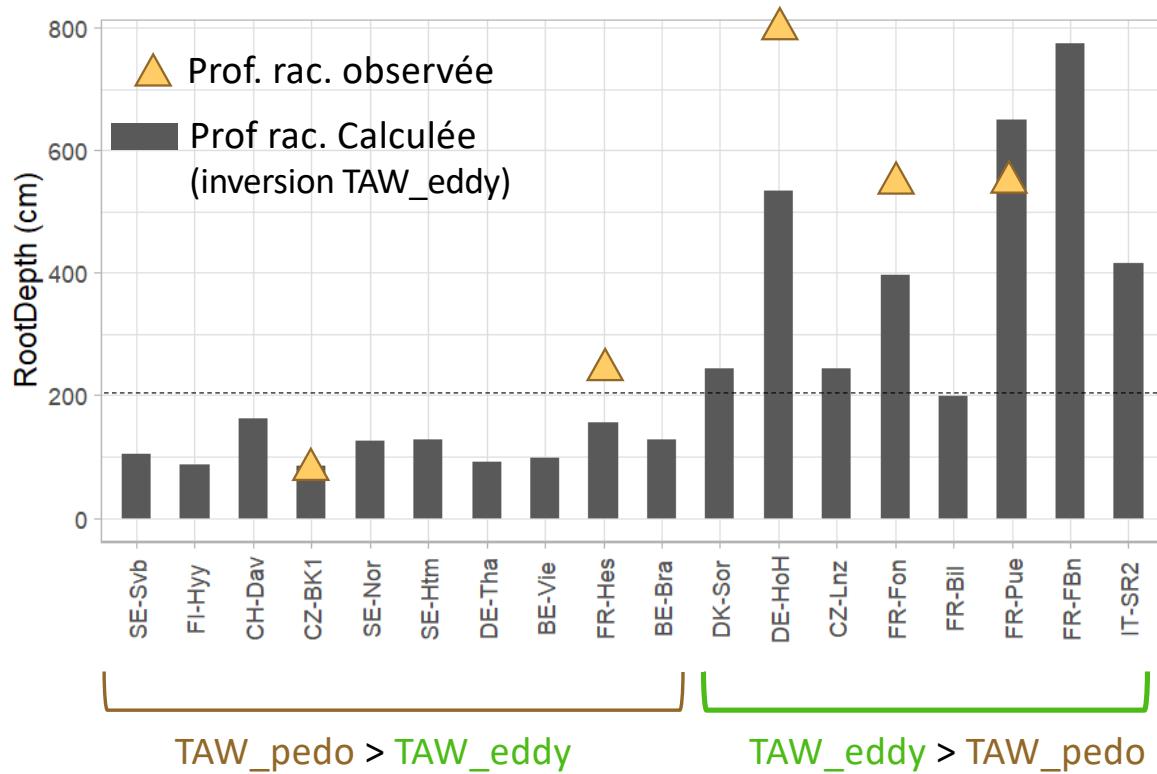
- TAW\_pedo
- TAW\_swc
- TAW\_eddy
- TAW\_eddy2

**TAW\_eddy**

99 à plus de 800 mm  
médiane = 161 mm

- Pour 10 sites : TAW\_pedo > TAW\_eddy  
(Profondeur racinaire réelle < 200 cm ?)
- Pour 8 sites : TAW\_eddy > TAW\_pedo  
Profondeur racinaire > 200 cm  
(ou fonctions de pédotransfert par représentatives)

# Inverser TAW\_eddy pour estimer la profondeur racinaire



$$RootDepth \approx \frac{TAW_{eddy}}{(1 - \%rock) \times (\theta_{FC} - \theta_{PWP})}$$

Par définition,  
la prof. racinaire excède 200 cm  
dès lors que  
 $TAW_{eddy} > TAW_{pedo}$

# Conclusions

*Quantifier TAW reste difficile (... avec des implications sur les simulations de productivité et dépérissement)*

## TAW\_pedo

- Est un estimateur absolu de TAW,
- Requiert une estimation fiable de la profondeur racinaire et de la proportion d'éléments grossiers.

## TAW\_swc

- Est un estimateur prudent de TAW,
- Nécessite des données d'humidité à des profondeurs rarement explorées par les sondes,
- Nécessite des mesures sur années sèches.

## TAW\_eddy

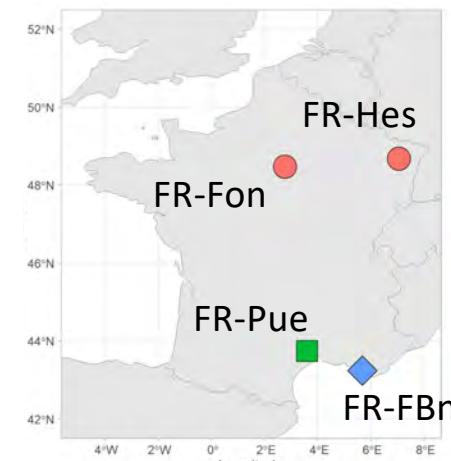
- Est un estimateur prudent de TAW,
- Nécessite des mesures sur années sèches,
- Peut être inversé pour estimer la profondeur racinaire.

**TAW-tree project (2024-2028)**  
*« combining geophysical and ecophysiological approaches to quantify TAW »*

- Tomography measurements (ERT)
- Soil Mapping : multi-depth electromagnetic measurements (CMD)



[nicolas.delpierre@universite-paris-saclay.fr](mailto:nicolas.delpierre@universite-paris-saclay.fr)



*Installing piezometers down -3, -5 and -10 metres at FR-Fon*



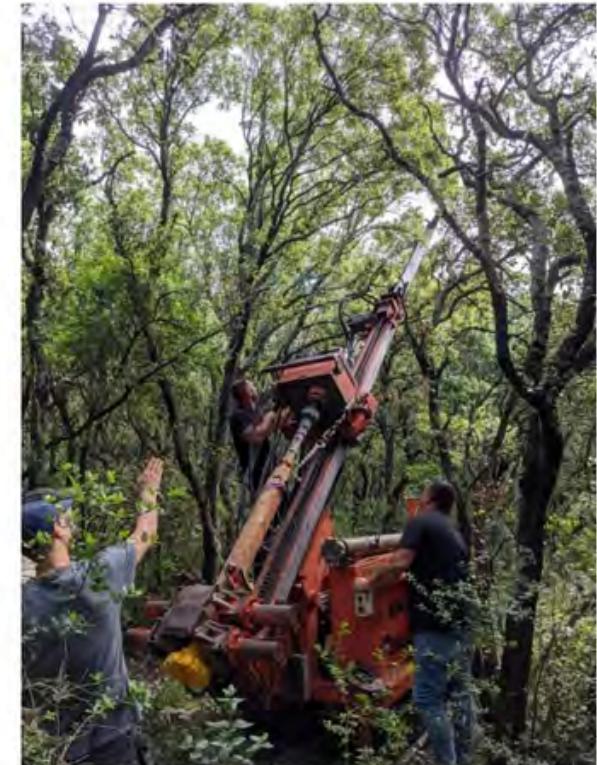
## Forages du sol: exemple de Puéchabon



arrivée sur site



ouverture du chemin



mise en place

## Forages du sol: exemple de Puéchabon



avant



pendant



après

## Géophysique : Puéchabon - mise en place des sondes en forage

cuttings pour enrober les sondes  
d'humidité



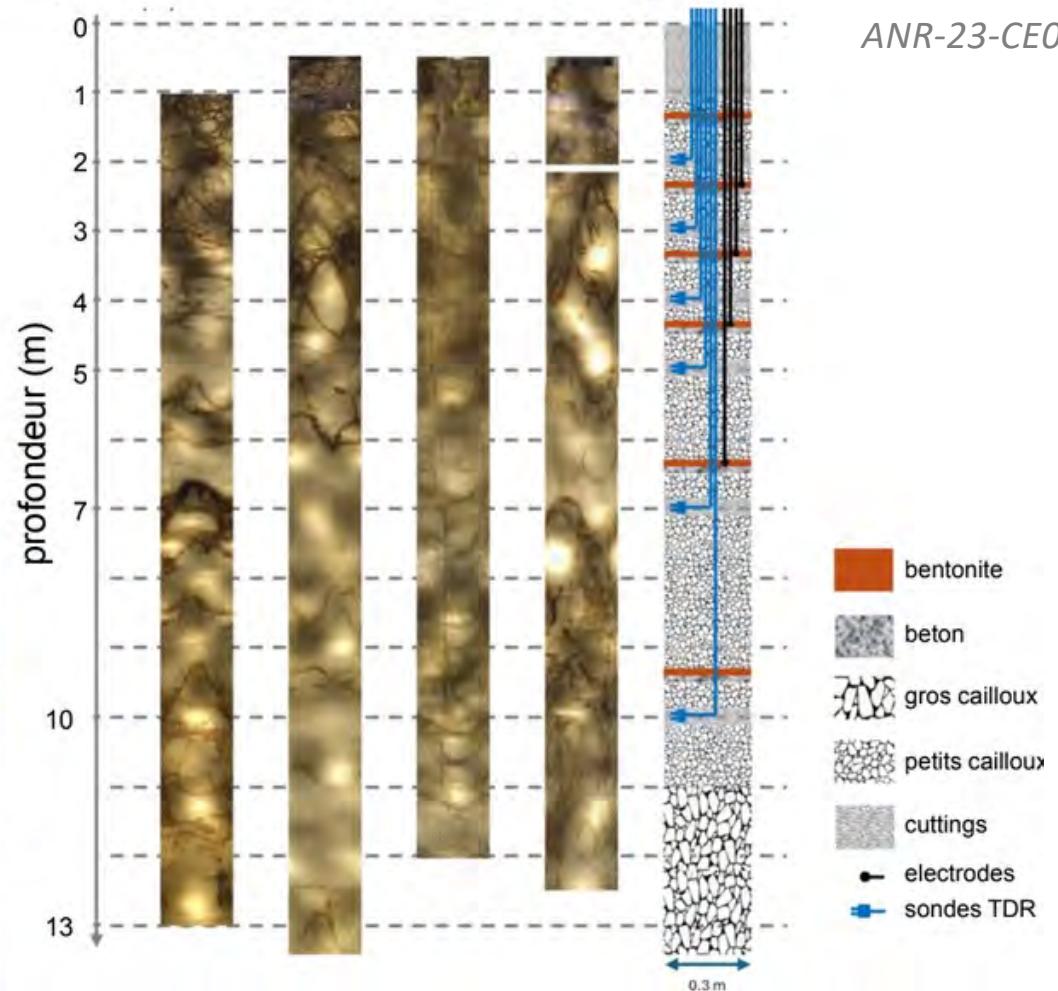
bouchon de béton (ep. 15 cm)



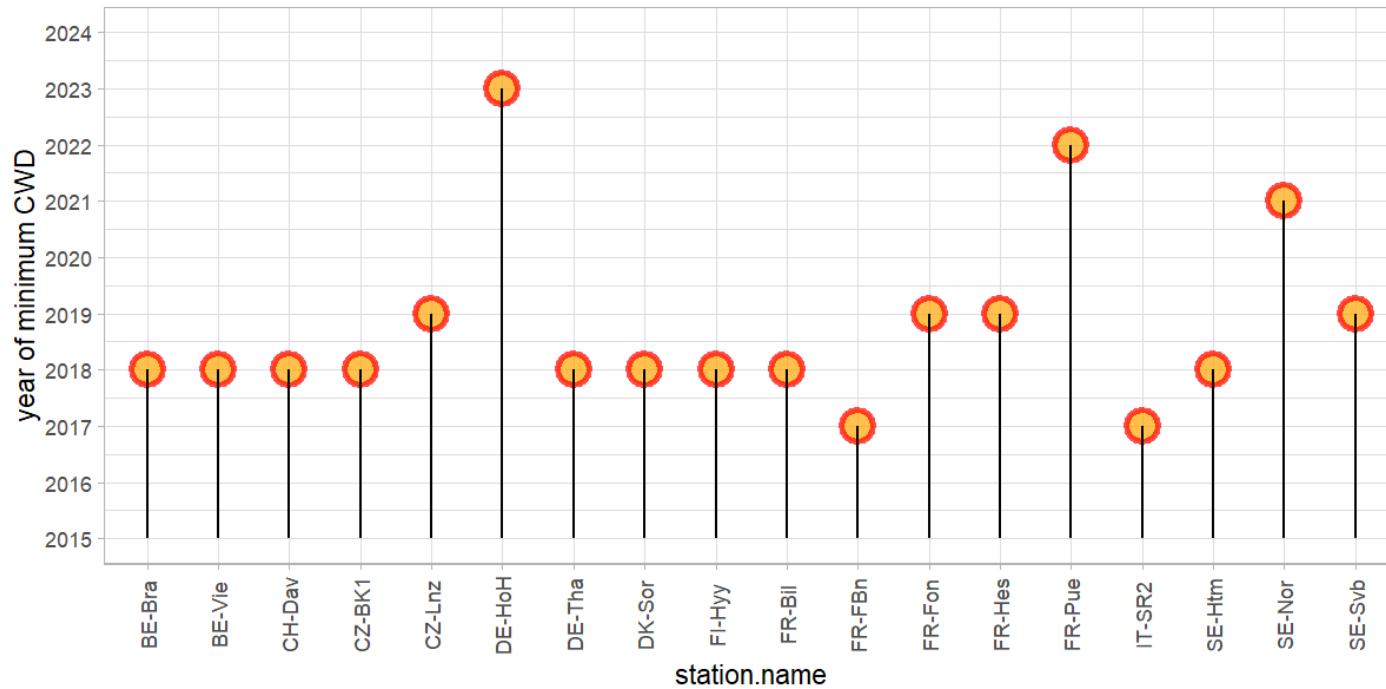
bouchon de bentonite (ep. 10 cm)



## Géophysique : Puéchabon - mise en place des sondes en forage



# Year of highest CWD



Cumulative Water Deficit at FR-Fon over 2005-2022

