



Quantifier la réserve utile en eau des sols : approches pédologique, écophysiological 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)

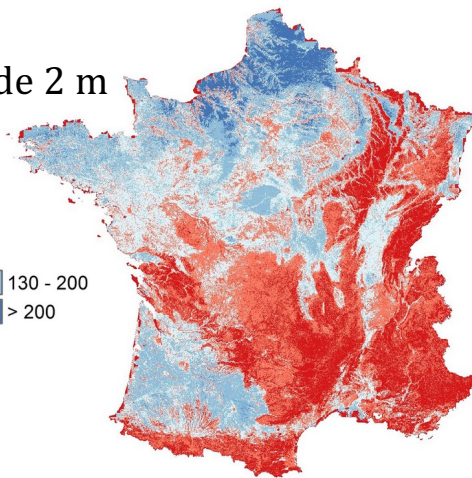
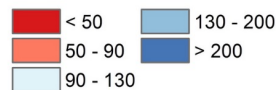
TAW est la *hauteur totale d'eau du sol extractible par la végétation*.

Cela comprend l'eau:

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

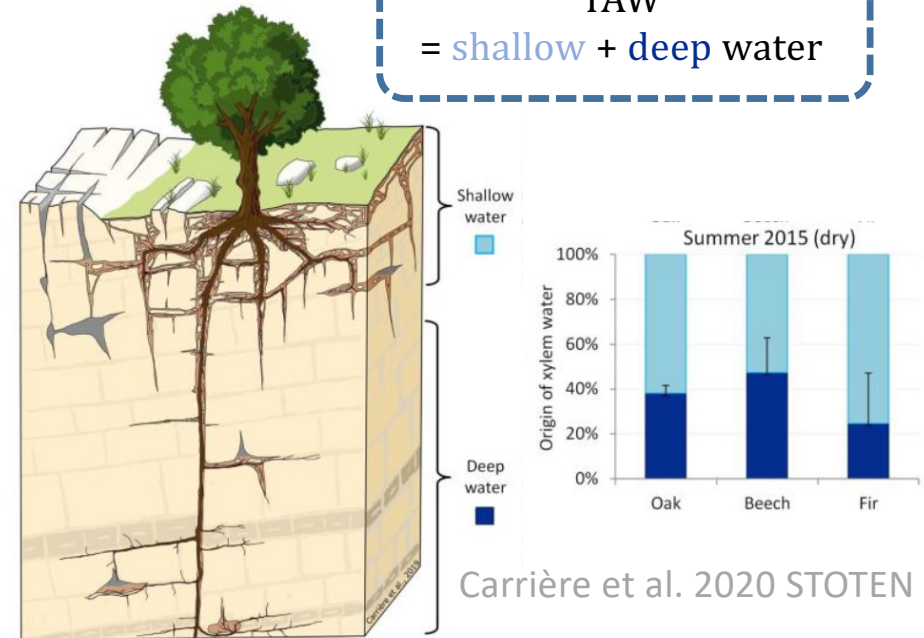
RU à prof. maximale de 2 m

AWC (mm)



Roman Dobarco et al. 2019 Geoderma

TAW
= shallow + deep water



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

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

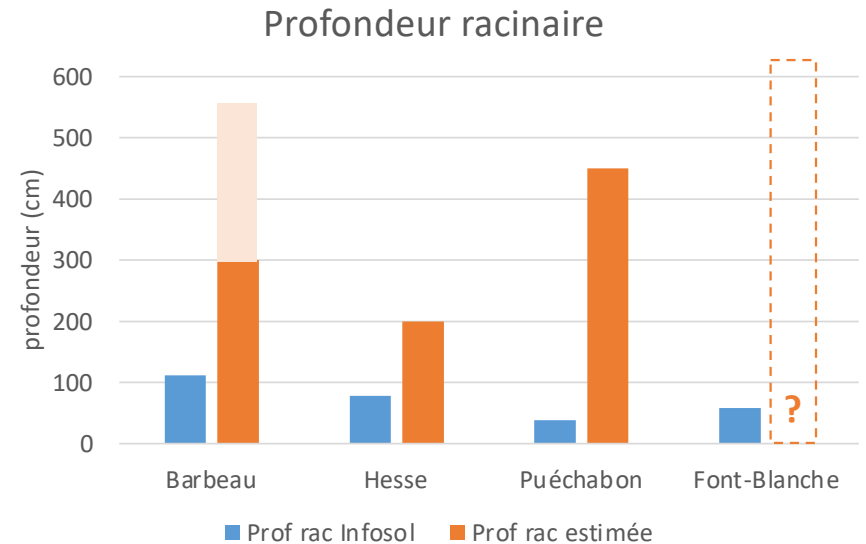
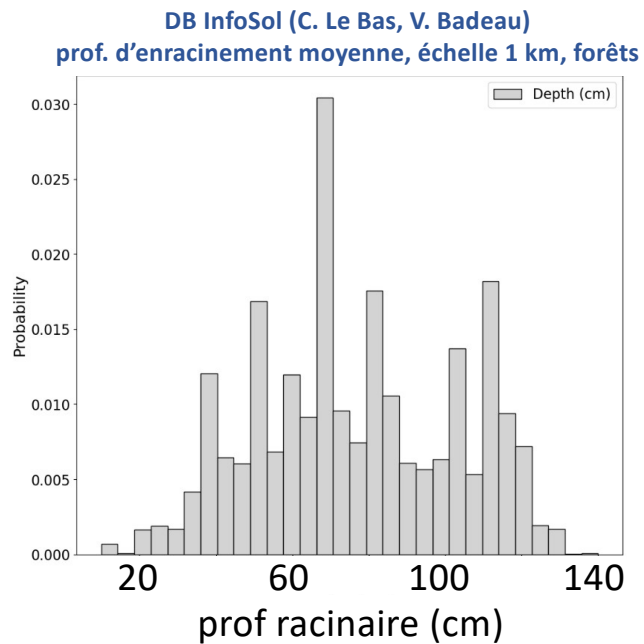
- RU est **habituellement estimée en surface (≤ 2 m)**
- RU néglige l'apport de la zone saturée / écoulement latéraux

Qu'est-ce que TAW ?

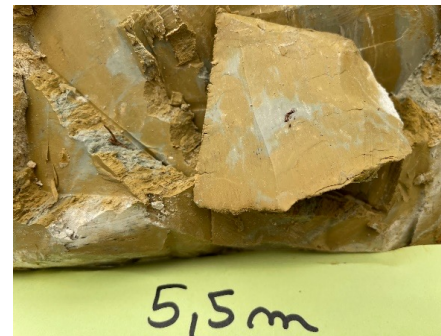
« TAW » = **Total Available Water** (en mm)

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

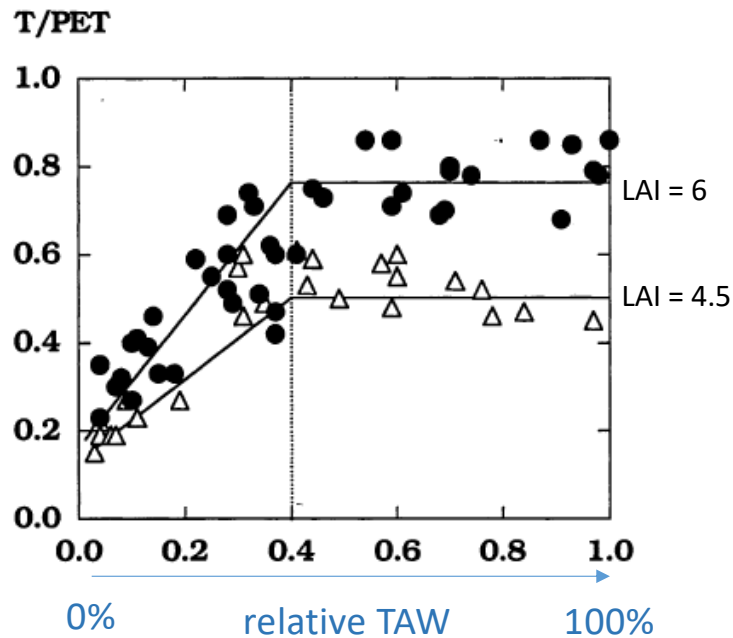
➔ Pourtant, dans de nombreux cas, les arbres peuvent extraire de l'eau à plus de 2 m de profondeur !



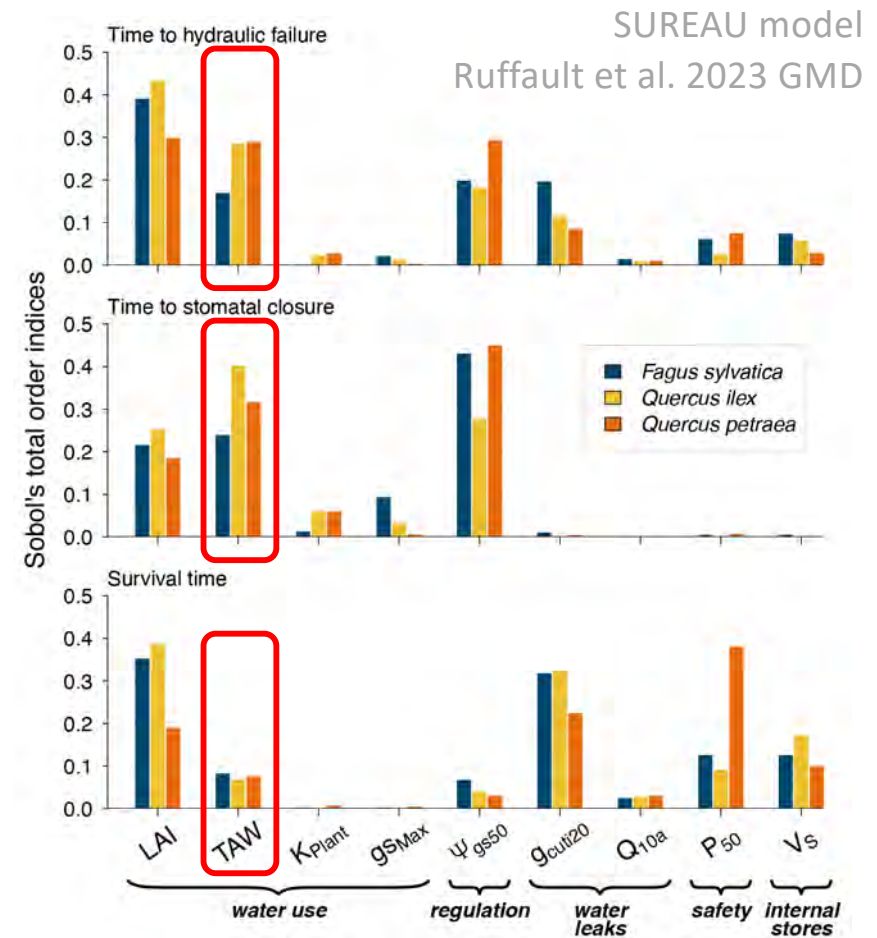
racines profondes à Barbeau, photos © Gaëlle Vincent



TAW est un paramètre-clé pour le fonctionnement des arbres



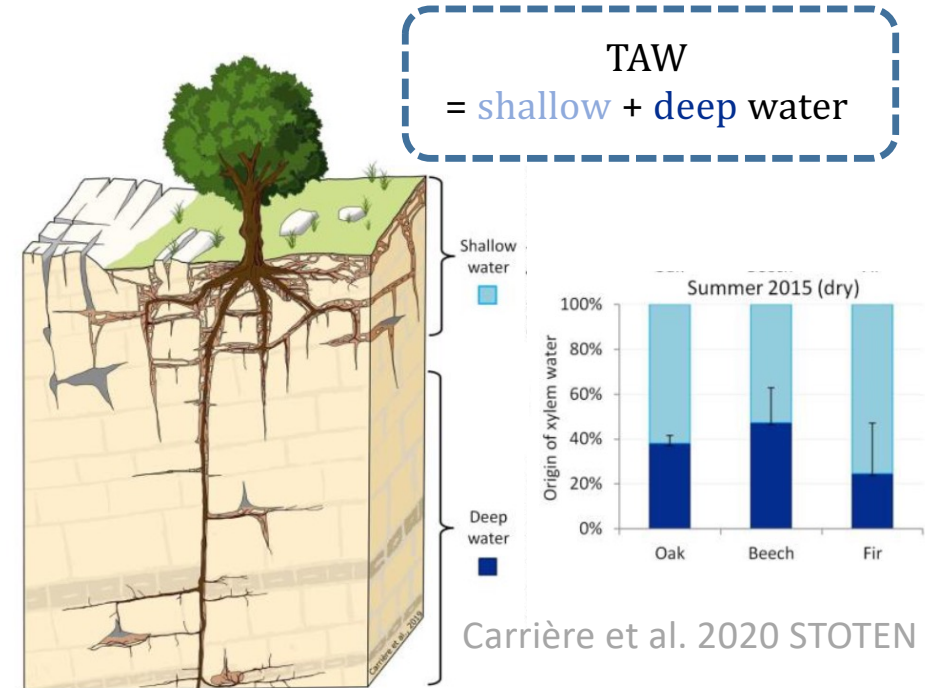
Granier et al. 1999 Ecol. Mod.



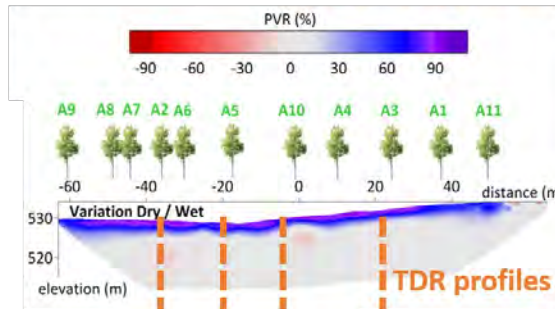
Projet « **Total Available Water to trees** » = **TAW-tree**

Objectifs du projet

- (1) quantifier la réserve totale disponible (TAW) de parcelles forestières par une combinaison d'approches géophysiques (WP1) et écophysologiques (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)



WP1. Geophysical estimation of TAW



Quantify TAW at *focal sites* with geophysical methods

- comparison with measured VWC
- extraction depth from isotopy

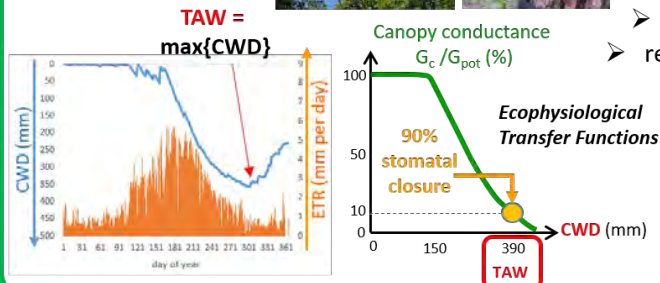
Location of focal trees

WP2. Ecophysiological estimation of TAW



Quantify TAW at *focal sites* with ecophysiological methods

- through Cumulative Water Deficit
- relate CWD and tree physiology (ETFs)



TAW

simulated water uptake

TAW

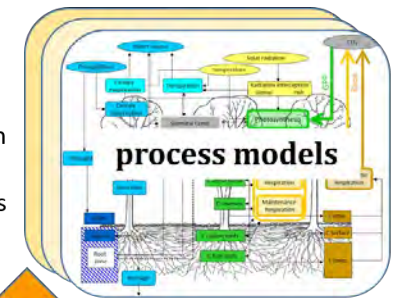
ETFs

ETR flux

WP4. Impact study: sensitivity of forest functioning to TAW in a drier climate

Simulate TAW impact on forest growth, survival and groundwater discharge

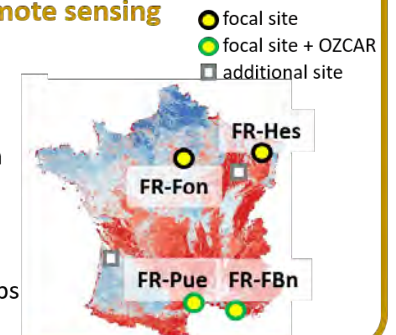
- parameterize models with TAW estimates
- improve models with ETFs
- simulate under future, drier climate



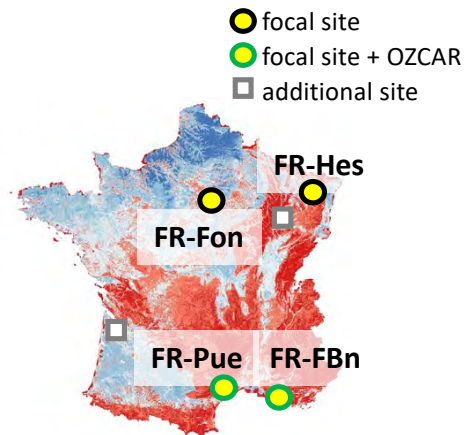
WP3. Upscaling TAW at regional scale through remote sensing

Quantifying TAW at forest grid points with remote sensing

- produce TAW maps through remote sensing
- validate TAW_{RS} through comparisons with WP1 and WP2 estimates + existing maps



Sites d'étude



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

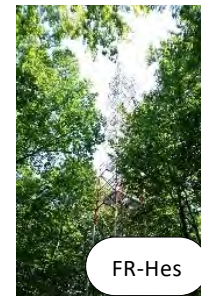
env. 15 **sites additionnels** (ICOS-Europe, all forests) → WP2 + test sites for WP3

2 **bassins versants OZCAR** (MEDYCYSS ↔ FR-Pue, Port-Miou ↔ FR-Fbn)

« **Points de grille** » forestiers → WP3 + WP4



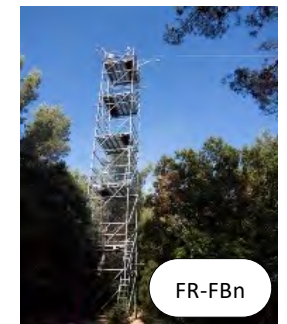
FR-Fon



FR-Hes



FR-Pue



FR-FBn

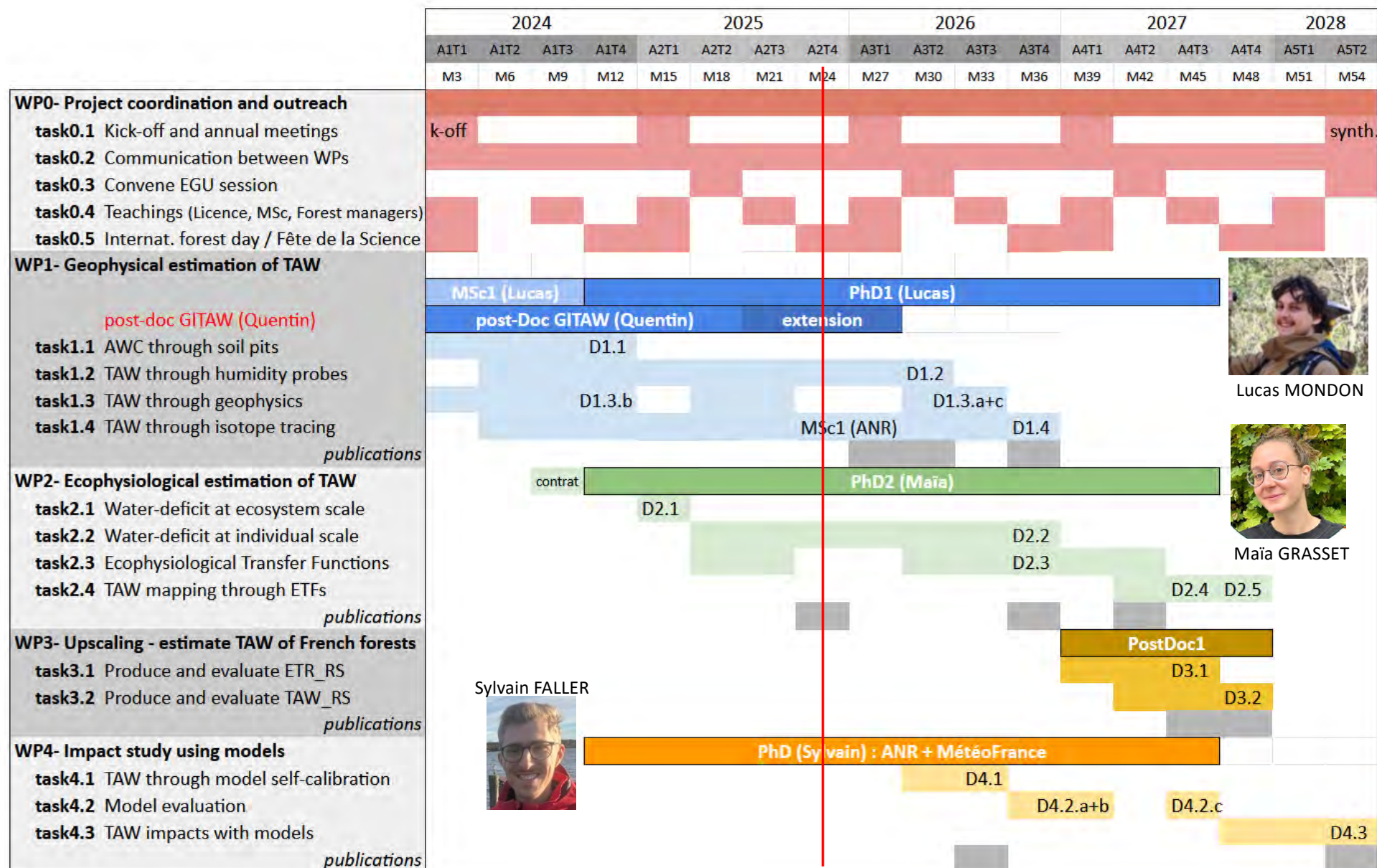
espèces

P50

sol

climat

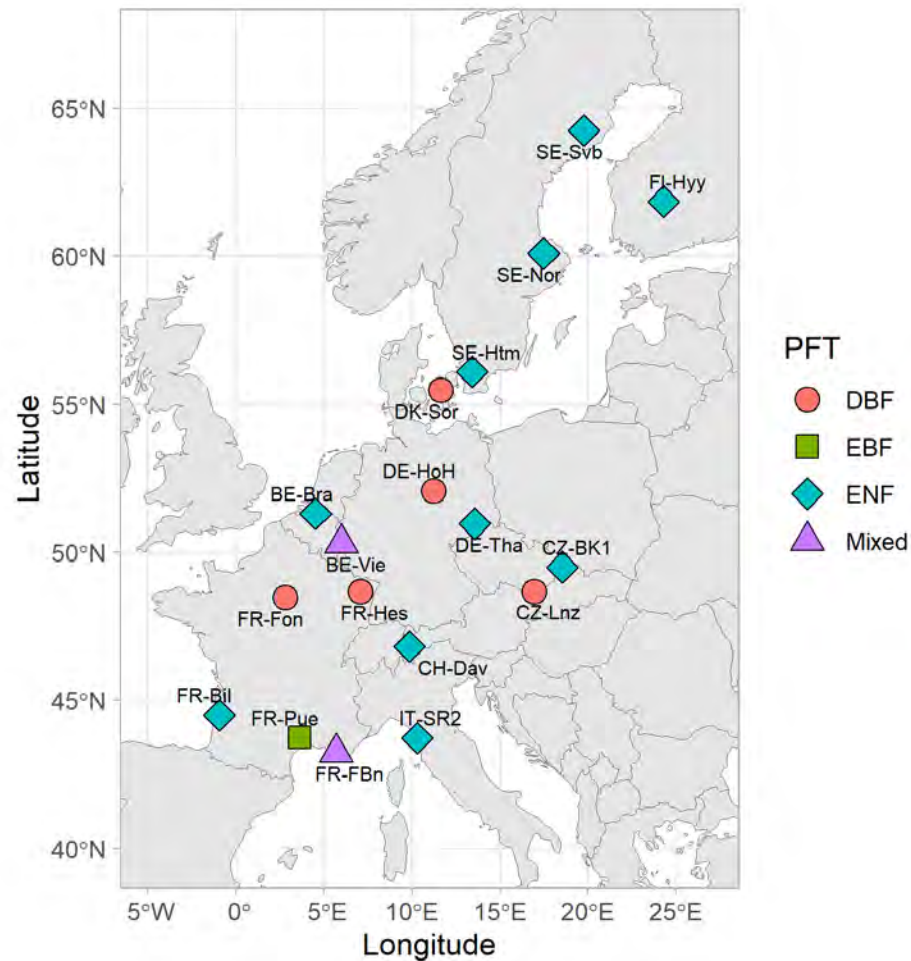
	Barbeau	Hesse	Puéchabon	Font-Blanche
espèces	<i>Quercus petraea</i> + <i>Carpinus betulus</i>	<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Quercus ilex</i>	<i>Pinus halepensis</i> + <i>Quercus ilex</i>
P50	-4.5 / -3.7 MPa	-3 MPa	-7 MPa	-5 / -7 MPa
sol	luvisol endostagnique	luvisol	sol calc fersiallitique sur karst	leptosol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



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



Maïa GRASSET



TAW_pedo



résolution 250-m, global

% argile / limon / sable

% éléments grossiers

Fonctions de
pédo-transfert
(PTF)

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

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

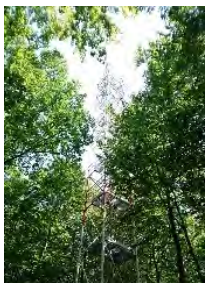
Hypothèse :

Enracinement = 200 cm sur tous les sites

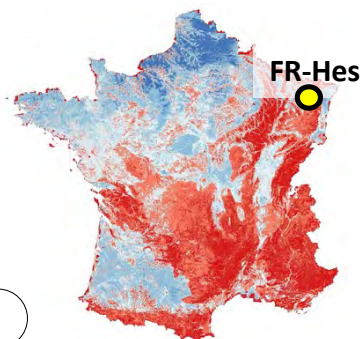
Des données plus précises sur les sites :

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

TAW_pedo est un « estimateur absolu » de TAW.



FR-Hes
Hêtre de Hesse (57)

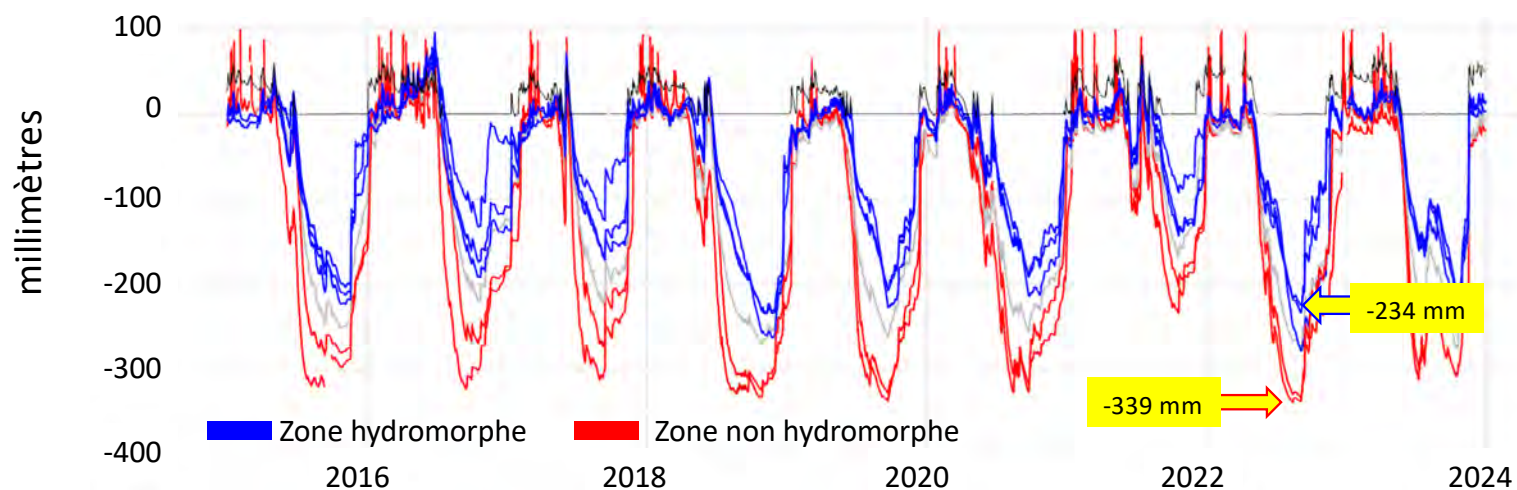


TAW_swC



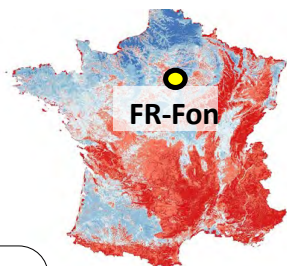
© Sentek

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



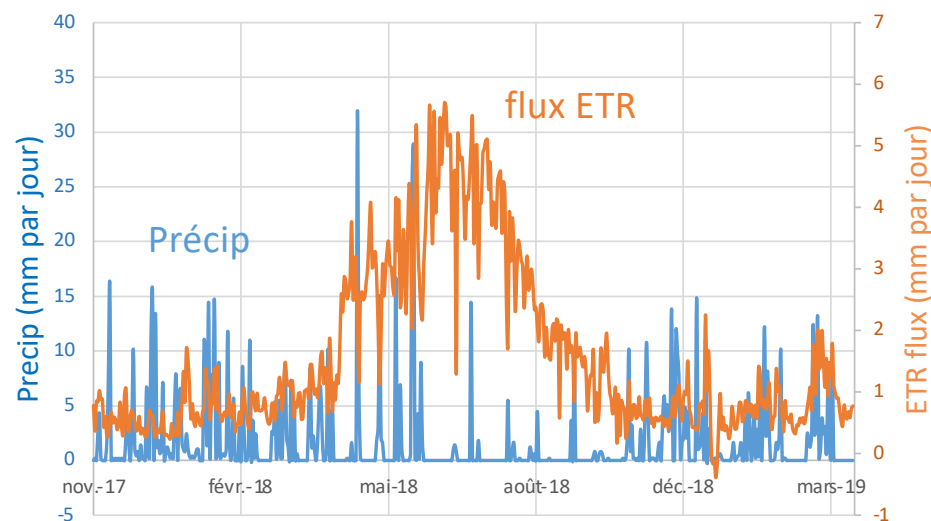


FR-Fon
Chênaie-Charmaie de Barbeau (77)



TAW_eddy

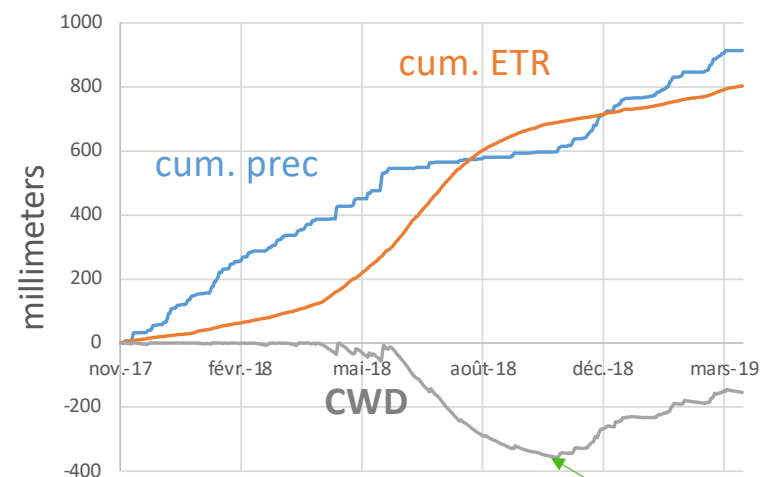
FR-Fon 2018 – Précipitations et flux ETR



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

FR-Fon 2018

CWD = Cumul de Déficit Hydrique

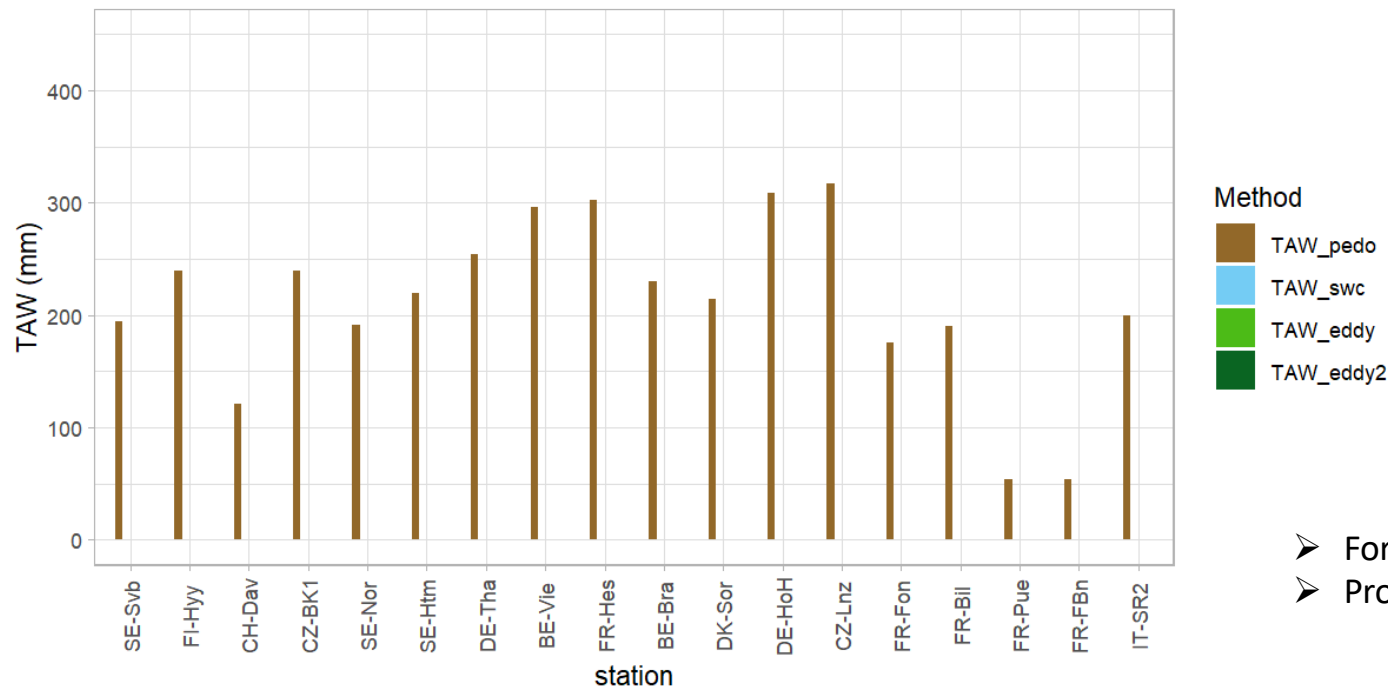


TAW_eddy = min(CWD)

$$CWD(1) = 0$$

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

Comparaison des estimateurs de TAW

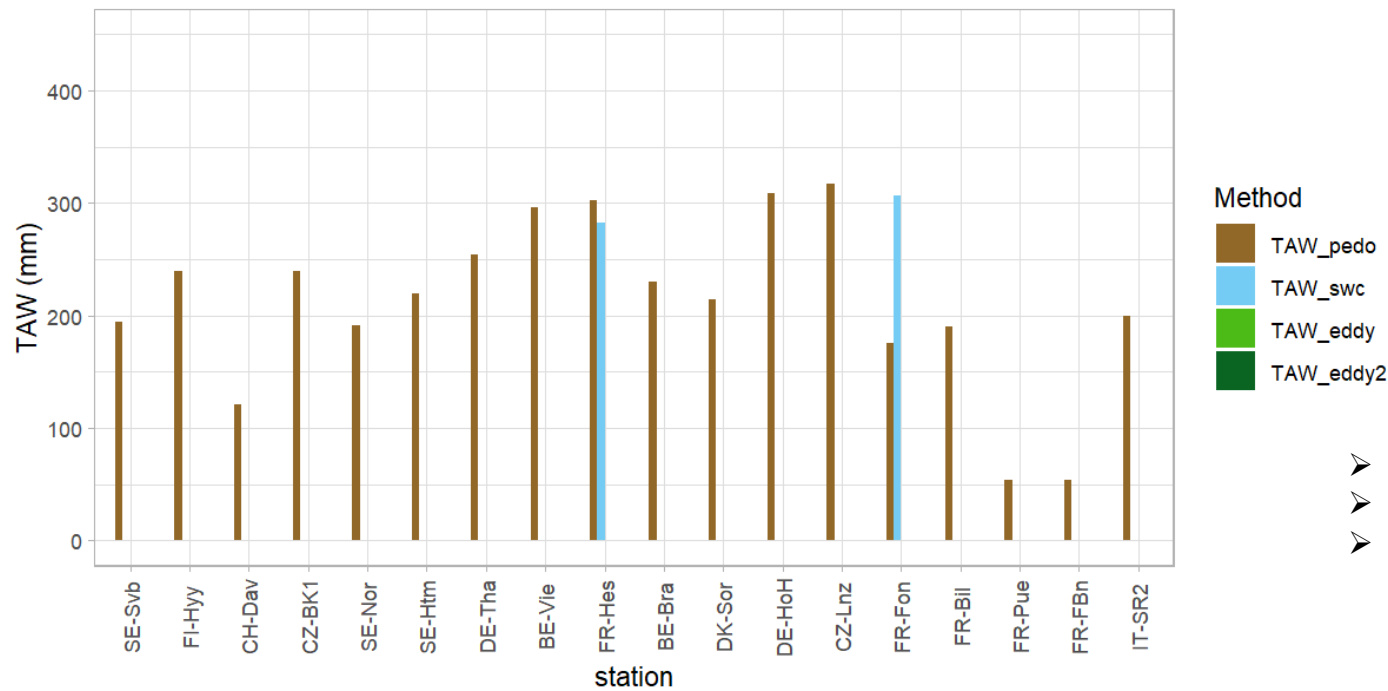


TAW_pedo

54 à 317 mm
médiane = 217 mm

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

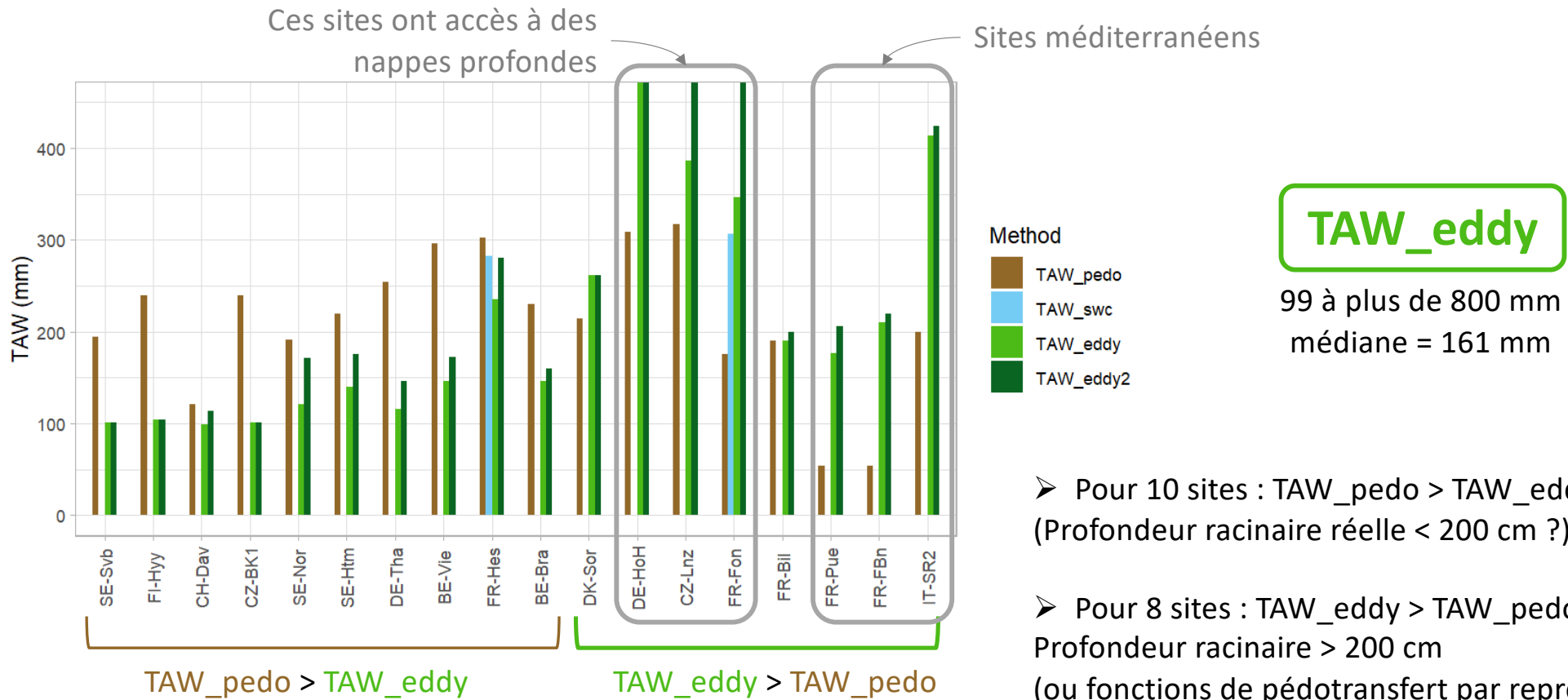
Comparaison des estimateurs de TAW



TAW_swc

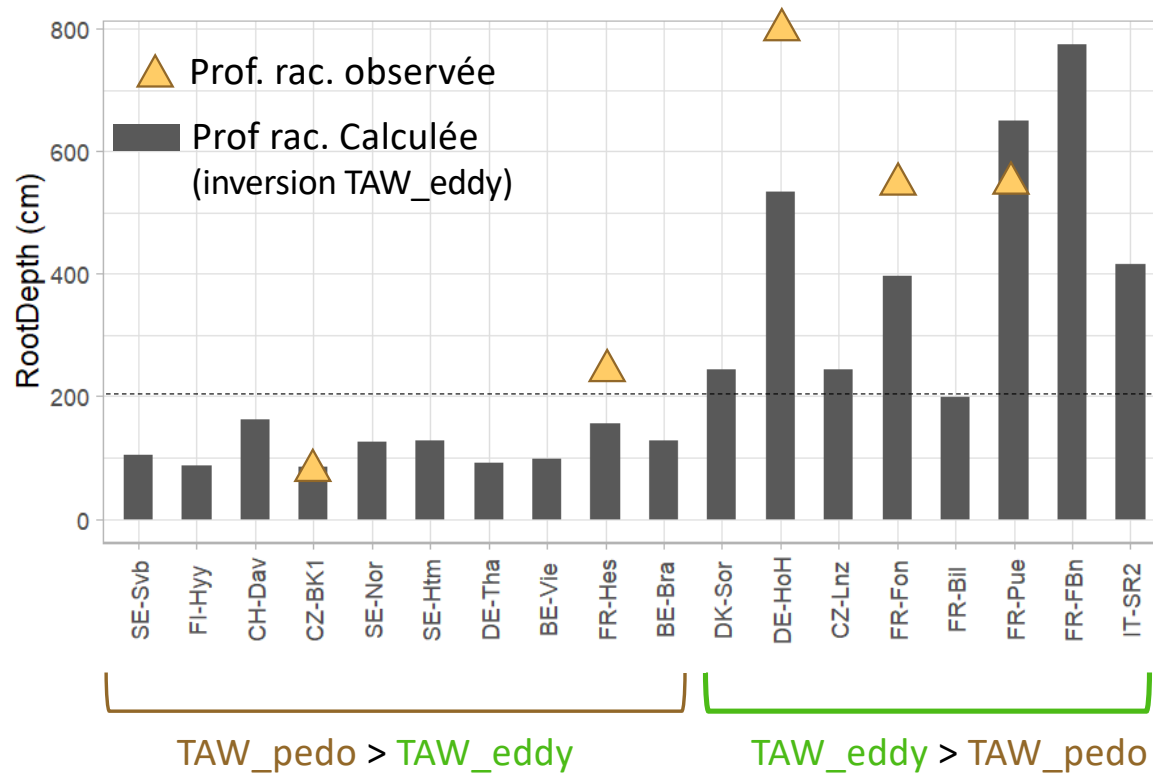
- Estimée sur deux sites à ce jour
- Également sensible à la prof. prospectée
- Dans l'ensemble, peu de données d'humidité profonde

Comparaison des estimateurs de TAW



- 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 sonde,
- Nécessite des mesures sur années sèches.

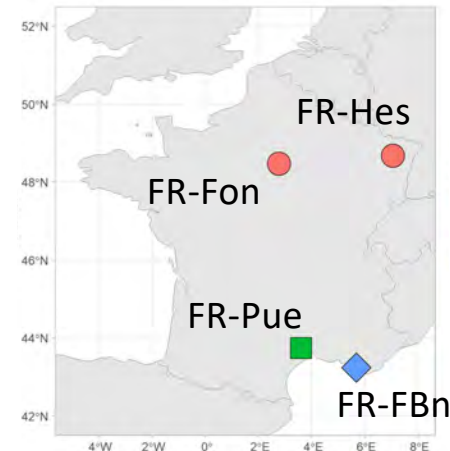
TAW_eddy

- 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)



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



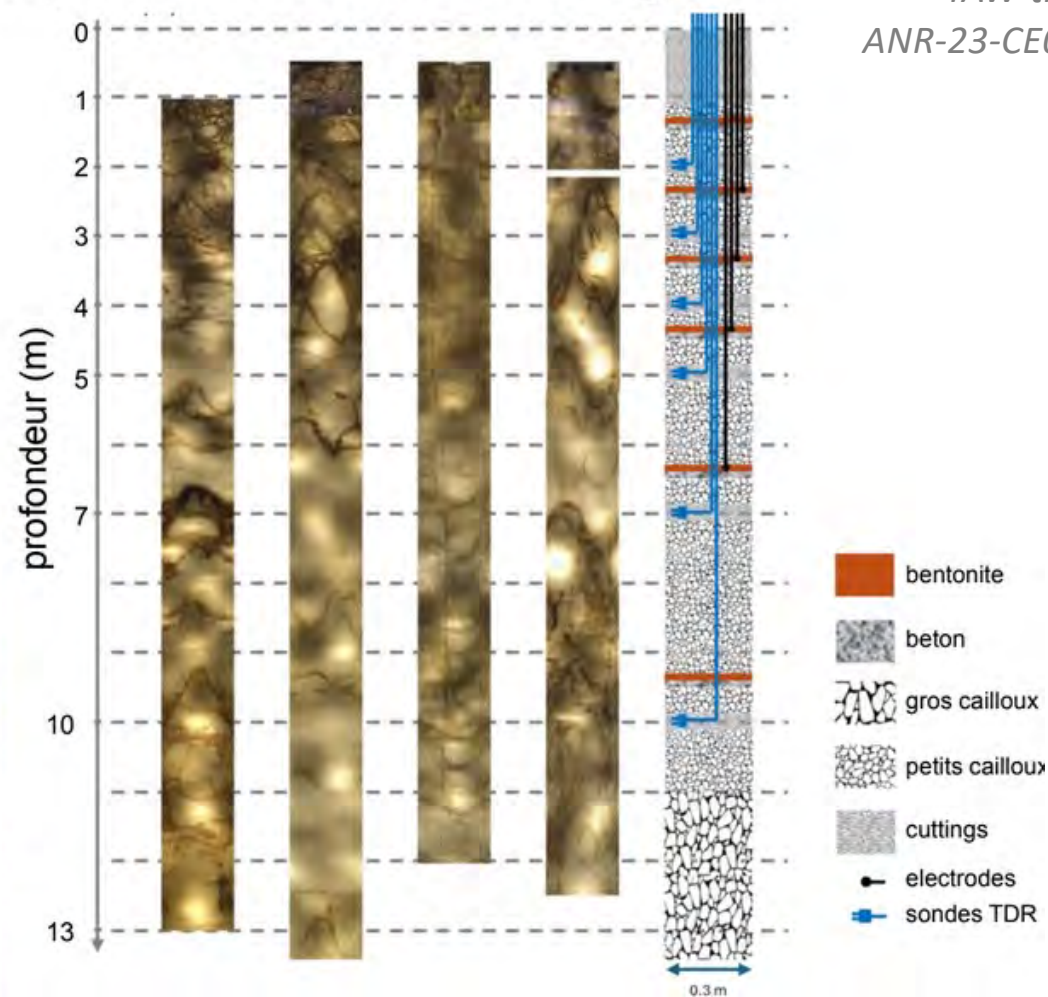
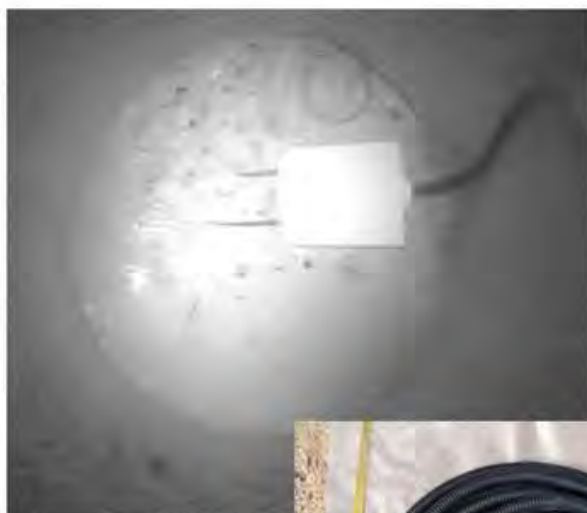
bouchon de béton (ep. 15 cm)



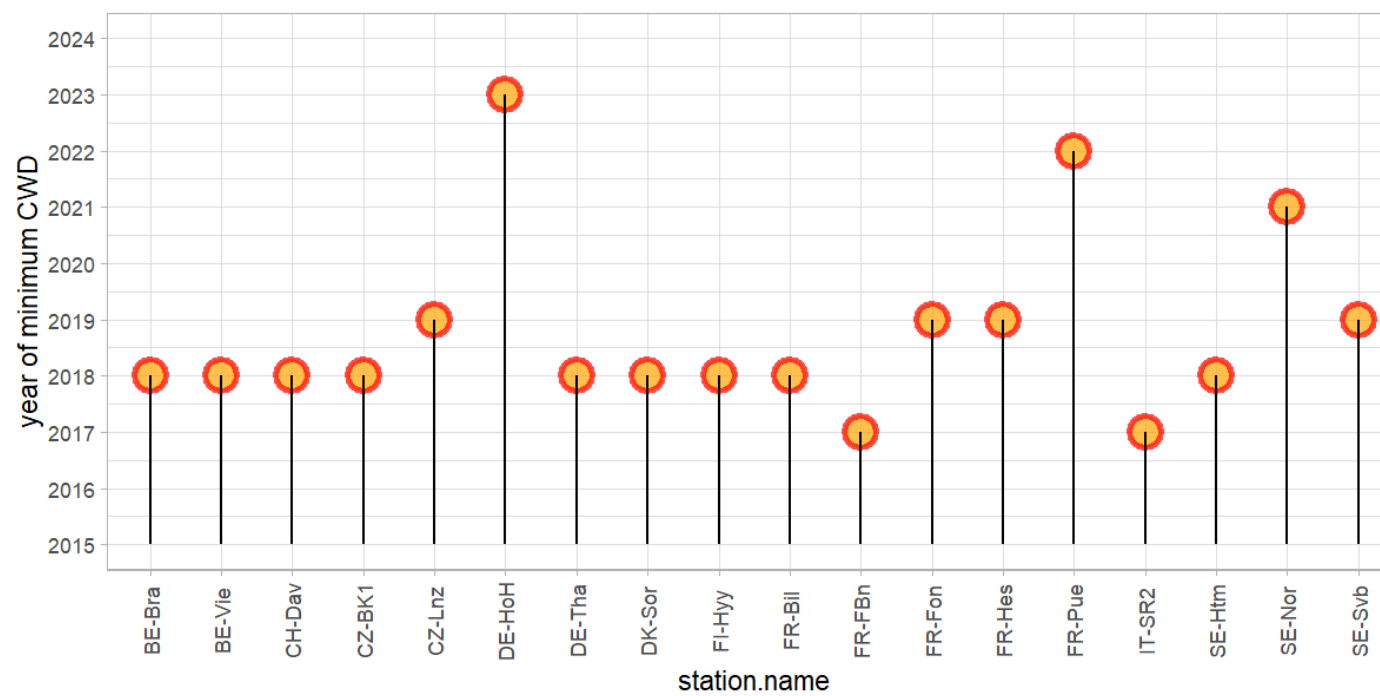
bouchon de bentonite (ep. 10 cm)



Géophysique : Puéchabon - mise en place des sondes en forage



Year of highest CWD



Cumulative Water Deficit at FR-Fon over 2005-2022

