

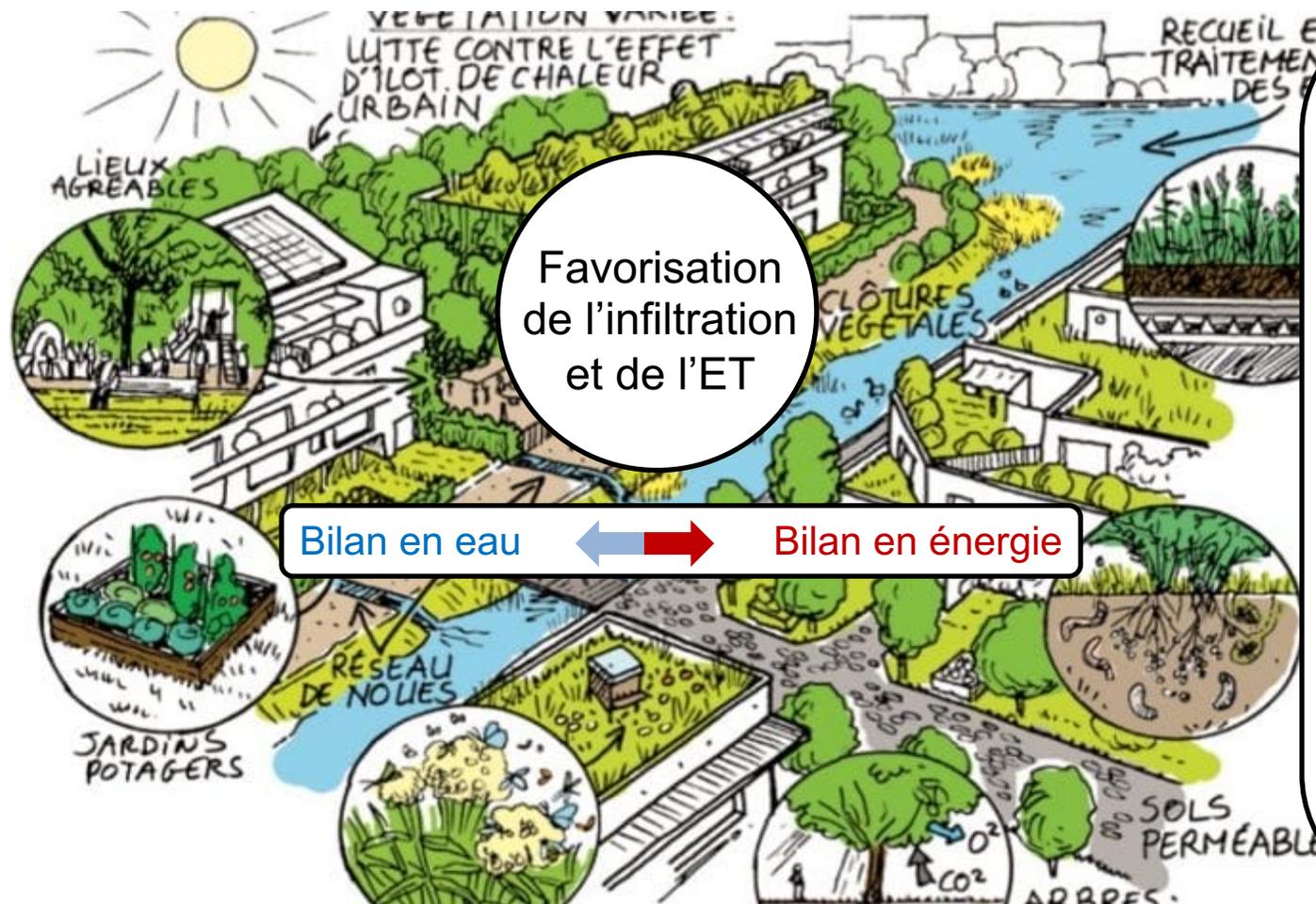
05.12.2023

# Modélisation hydrologique en contexte urbain – Mise en œuvre des modèles URBS et TEB pour évaluer la composante d'évapotranspiration

Xenia Stavropulos-Laffaille, Katia Chancibault, Fabrice Rodriguez, Marie-Laure Mosini, Alexandra Mosset



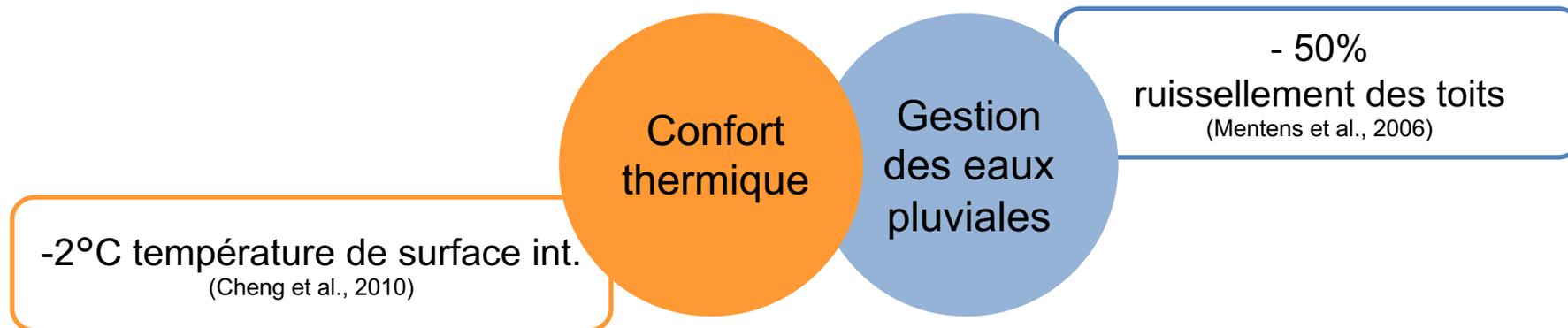
## Stratégies alternatives d'aménagement urbain et politiques de gestion de l'eau pluviale à la source



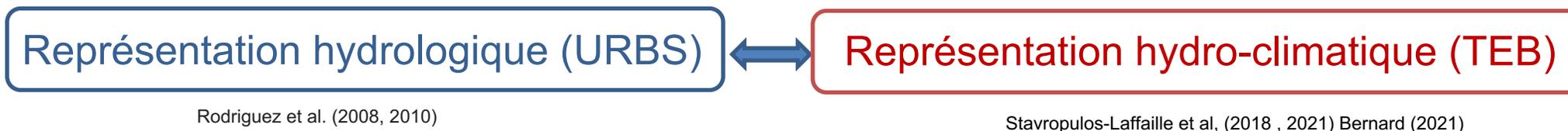
- Compréhension de l'ET devient un enjeu fort pour l'adaptation des villes aux changements globaux
- Etudes limitées dans le passé

# OBJECTIFS

- Améliorer la représentation des flux d'évapotranspiration pour mieux évaluer les stratégies d'adaptation basées sur la végétation avec la modélisation :
  - Apport de l'ET...



- Étudier la pertinence de différentes approches de modélisation :



- Questionner la plus-value de chaque représentation selon :
  - Échelles spatio-temporelles et conditions d'application

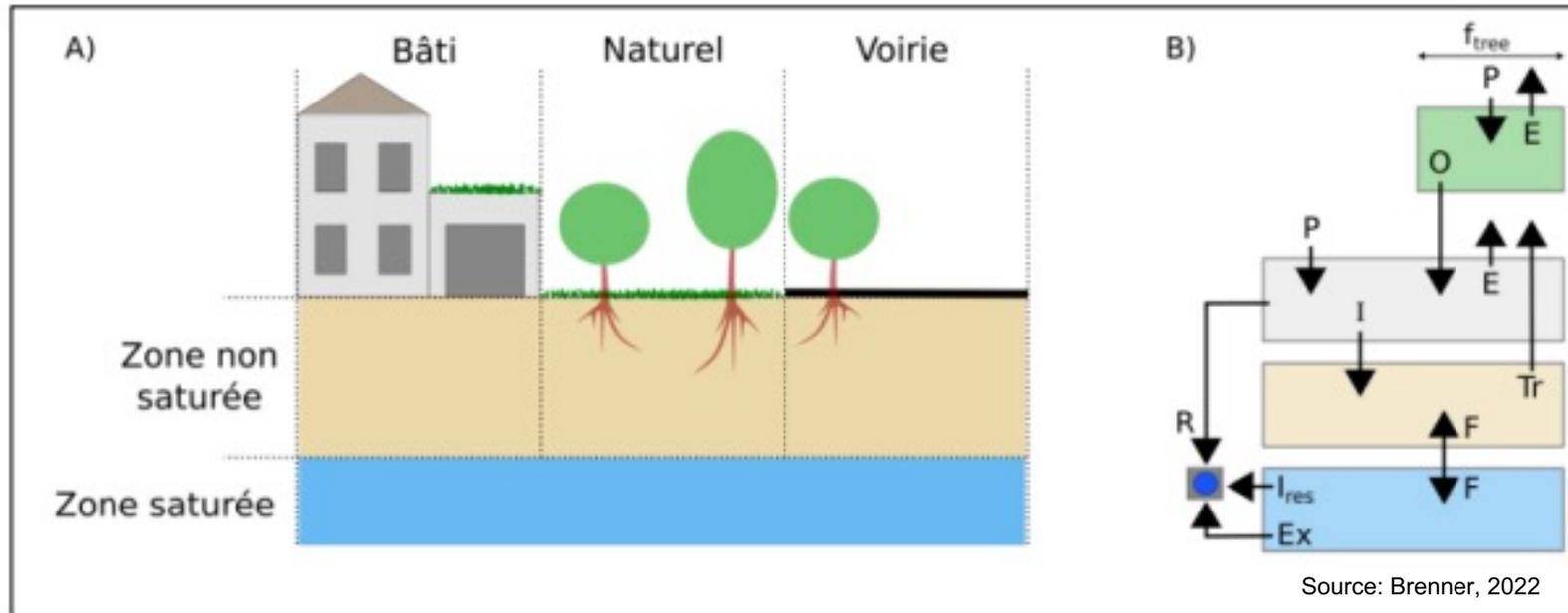
Discrétisation spatiale en Elément Hydrologique Urbain (EHU):

- 3 types d'occupation du sol (bâti, voirie, sols naturels) avec des profils verticaux regroupant 4 réservoirs superposés (hors bâti)

Forçage

Production: Pluie ( $P_{brut}$ ) + **Evapotranspiration potentielle (ETP)** + paramètres physiques

$$P = \mathbf{ET} + R_{surf} + I_{res} + \Delta W \quad [kg.m^{-2}.s^{-1}]$$



**ET =**

**Interception par les arbres**

$$E_{tree}(S_{tree}, ETP)$$

**Interception sur la surface**

$$+ E_{surf}(S_{surf}, ETP)$$

**Zone non saturée**

$$+ T_{tree}(\theta, \theta_{wp}, \theta_{sat}, ETP)$$

**Zone saturée**

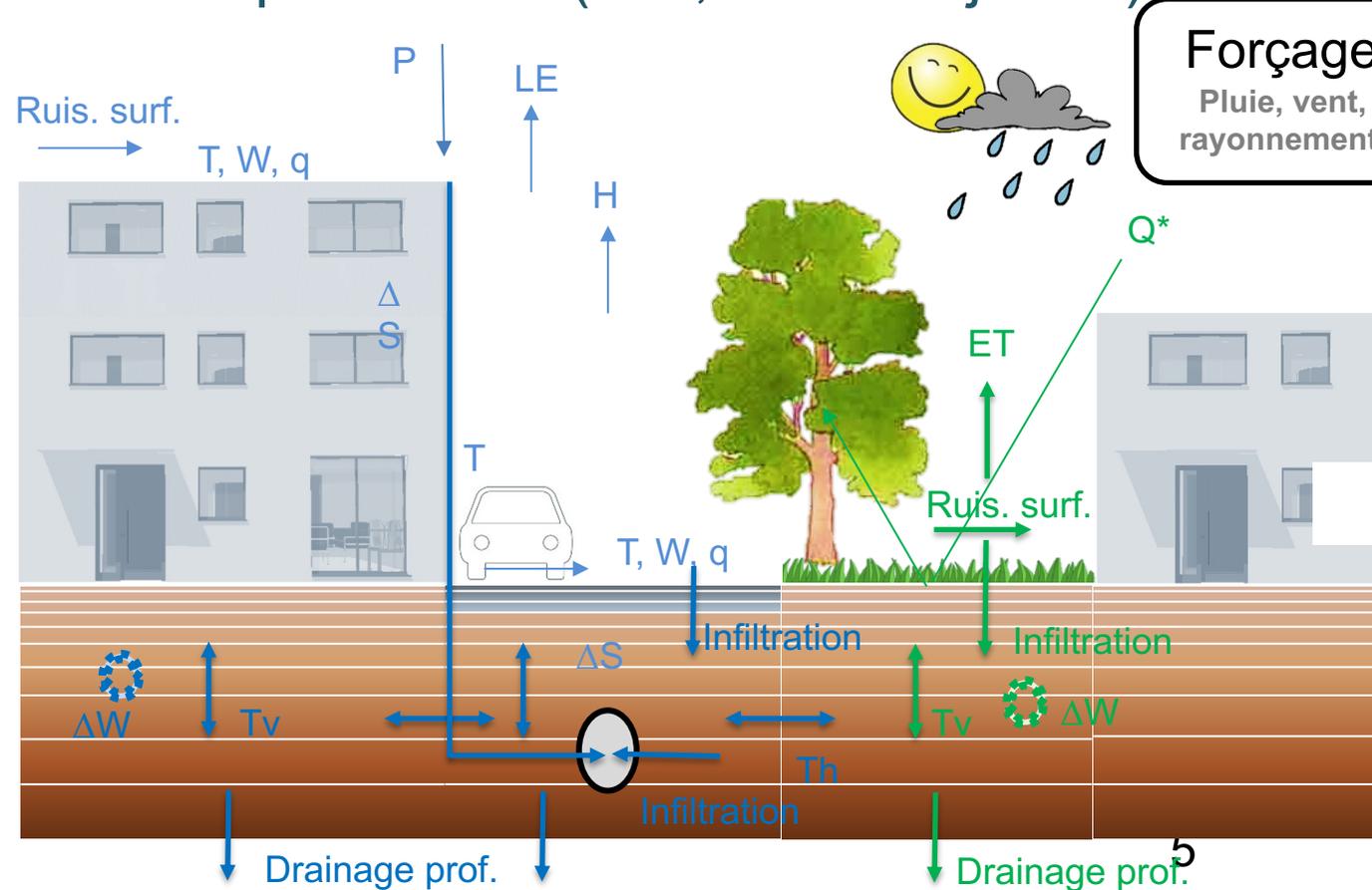
# MODÈLE hydro-climatique – TEB

Masson, (2000), Lemonsu et al. (2007, 2012), Chancibault et al., (2014), Redon (2017, 2020), Stavropoulos-Laffaille et al. (2018, 2021), Bernard (2021), Bernard et al. (2022)

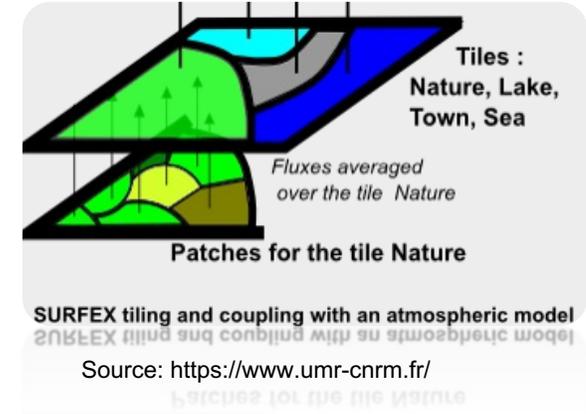
SURFEX - Plateforme de modélisation de surface (CNRM/Météo-France)

Discrétisation spatiale en maillage régulier avec 4 schémas de surface:

- Surfaces urbaines (TEB) + surfaces naturelles (ISBA-DF) → rue canyon avec 3 compartiments (bâti, voirie et jardin)



**Forçage météo**  
Pluie, vent, tem, hum, rayonnements, pression



**Couplage du bilan en eau et en énergie :**

$$P = ET + R_{surf} + I_{res} + D + \Delta W \quad [kg.m^{-2}.s^{-1}]$$

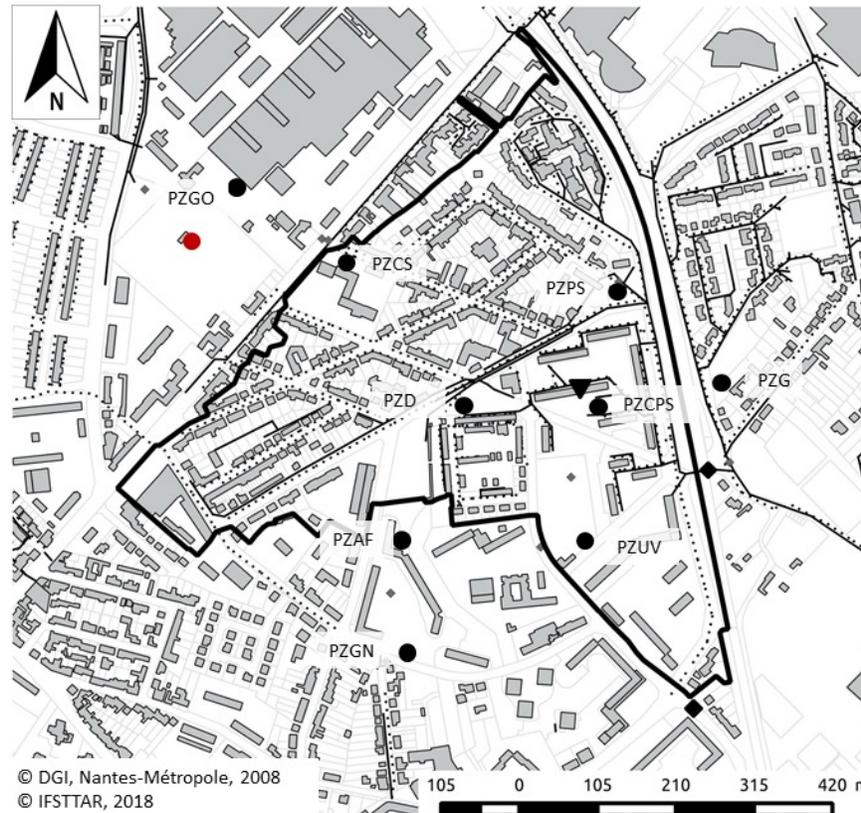
$$Q^* = H + L_E + \Delta S + \Delta Q_A \quad [W.m^{-2}]$$

$$L_E = ET \times L_v \quad [W.s^{-1}]$$

# BASSIN VERSANT URBAIN DU PIN SEC – SITE EXPÉRIMENTAL

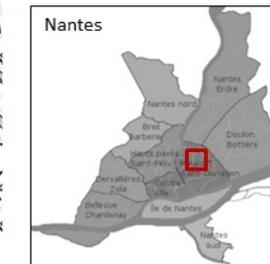
BV de l'ONEVU: Mesures disponibles: pluviométriques, teneur en eau, piézométriques, débitmétriques, de rayonnements, vent, flux de chaleur sensible et latente

	Description
Climat	Océanique (~800mm/a)
Surface	31 ha
Type	Résidentiel $H_{avg}=9,3m$ (maison & logement)
Occupation	49% jardin, 19% bâti, 32% voirie
Surfaces imp. connectées au réseau	61%
Taux d'imp.	51%
Réseau séparatif	EP : 3911m EU : 6972m



↓  
**Mesures par Eddy Covariance (mat de 25m), chroniques validées entre mai 2010 – sept. 2012**

(Pascal Keravec, LHEEA)



# DONNÉES D'ENTRÉE

- **BD Parcellaire 2013** : Bâti (bâtidur+bâtileg) et parcelles
- **BDTopo** : Filiaire de voie (FV) (routes primaires, secondaires et chemins)
- **Image hyperspectrale 2015** : Végétation basse et haute >2 m i) sur les surfaces naturelles, ii) sur les surfaces imperméables (type parking, allée) et iii) sur la voirie.
- **Nantes Métropole 2022** : Données du réseau d'assainissement (EP, EU, unitaire)

Voirie et allées  
privées

Surfaces  
imperm.



- Voirie Cadastre 2013 - SURFVOIE
- SURFIMP – dif hypersp. 2015
- Bâti Cadastre 2013
- SURFNAT – hypersp. 2015
- Végé haute – hypersp. 2015

# COMPARAISON URBS - TEB

## URBS

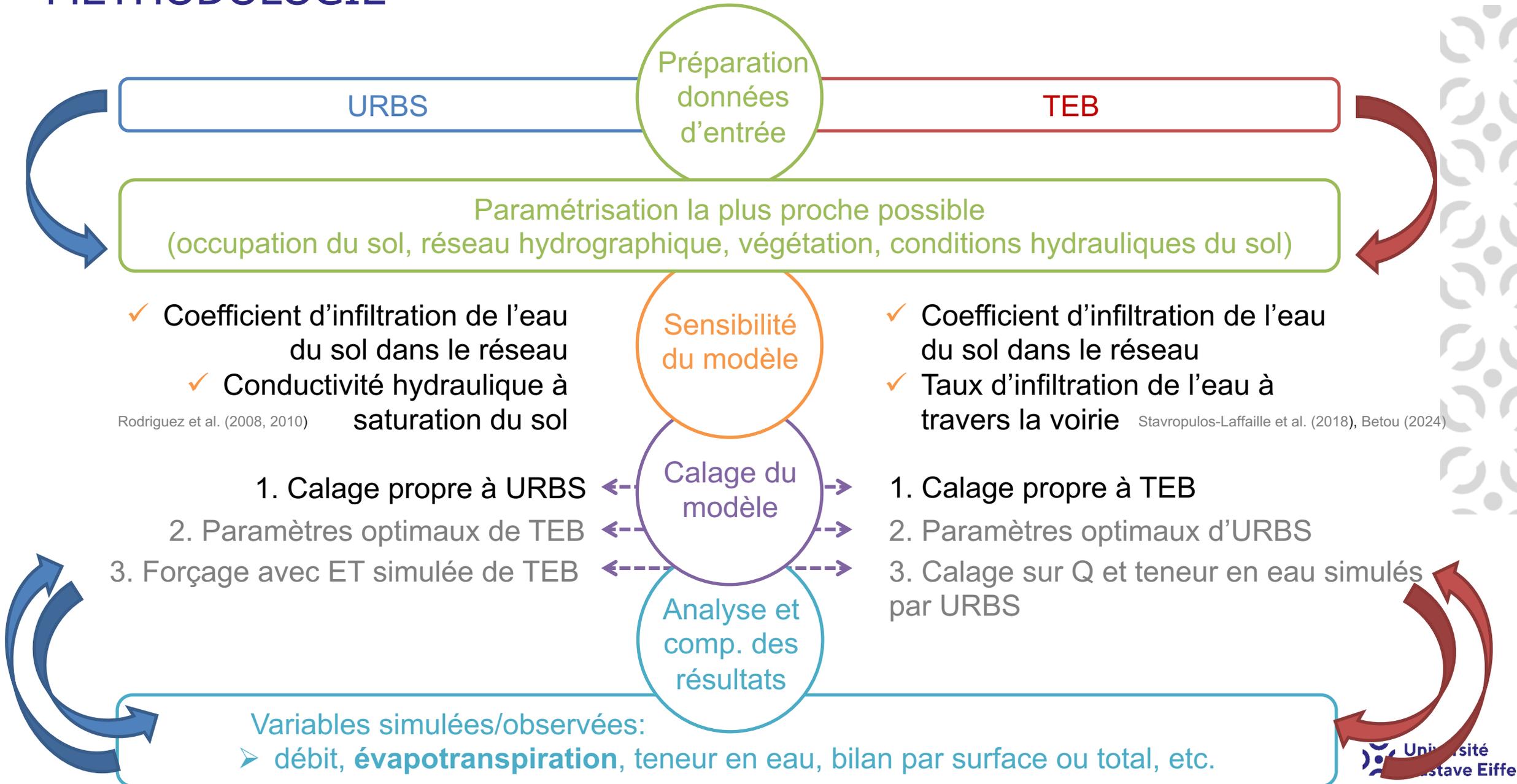
- **EHUs** = parcelles + voiries adjacentes
- **Caractérisation** d'occupation du sol par EHU
- **Réseau reconstruit** à partir du réseau EP et du filaire de voie (FV)
- **Forçage: précipitation locale + évapotranspiration potentielle** (Météo France)
- $\Delta t$  forçage = 60 min
- Evaluation: Chroniques complètes et bilans (ET, Q,  $\theta$ ,  $Z_{nappe}$ ) + **Evènements pluvieux (>2 mm)**

## TEB

- **Une seule maille**
- **Caractérisation** d'occupation du sol par maille
- **Réseau reconstruit et simplifié** à partir du réseau et du modèle numérique de terrain (MNT)
- **Forçage: précipitation locale + vent, tem, hum, rayonnement, pression** (Météo-France)
- $\Delta t$  forçage = 60 min,  $\Delta t$  num = 5 min
- Evaluation: Chroniques complètes et bilans (ET, Q,  $\theta$ , **LE, H**)

Période de simulation: 2010 - 2012

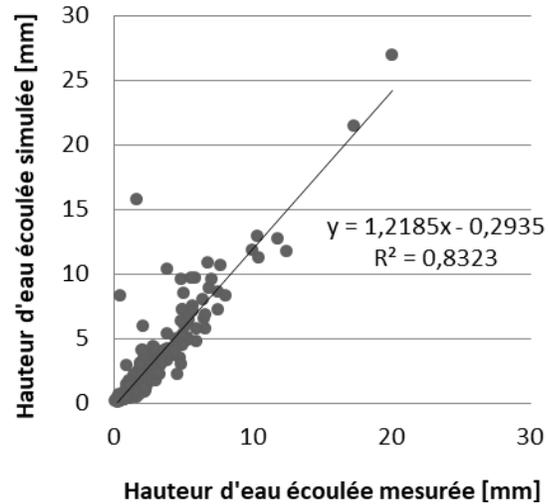
# METHODOLOGIE



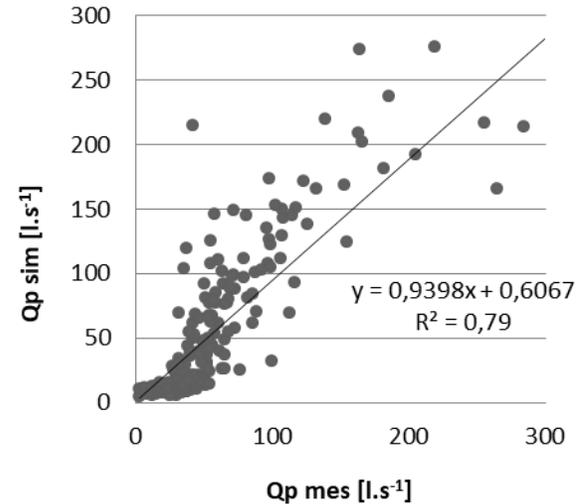
# RESULTATS URBS

- Premier calage du modèle
- Evaluation par évènements pluvieux (n = 280 ) sur la période 2010-2012

\* Hauteur d'eau écoulée par évènement  
PinSec



Débit de pointe par évènement  
Pin Sec

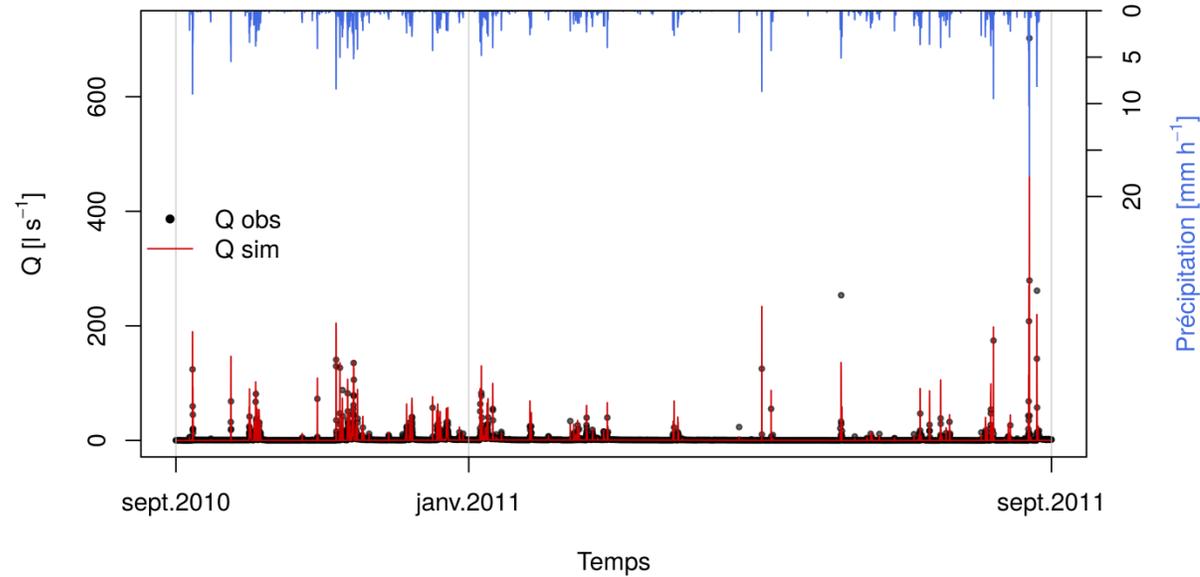
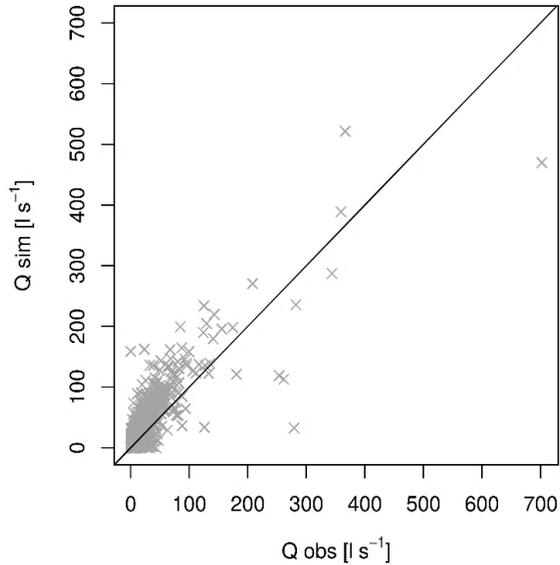


\*NB: Hauteur d'eau écoulée = volume rapporté à la surface du bassin versant

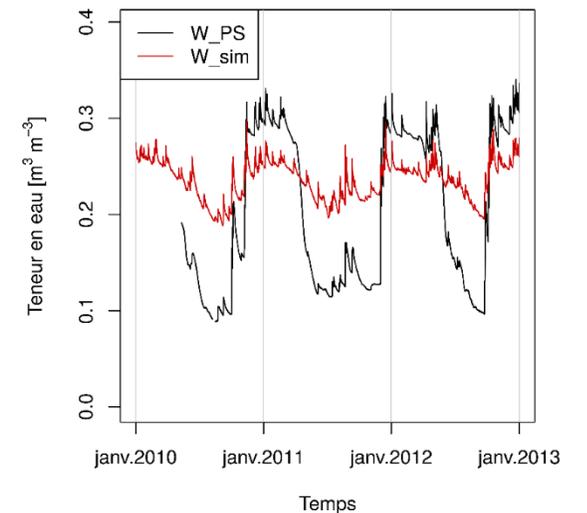
- Résultats corrects concernant les évènements pluvieux ( $R^2=0,83$ ; Nash=0,65)
- Résultats non satisfaisants, notamment :
  - Evaluation sur toute la chronique du débit instantané → mauvais scores de  $R^2$  et Nash
  - Evolution de la profondeur de la nappe

# RESULTATS TEB

- Calage et évaluation hydrologique du modèle au débit total sur le Pin Sec (Stavropoulos-Laffaille et al., 2018)

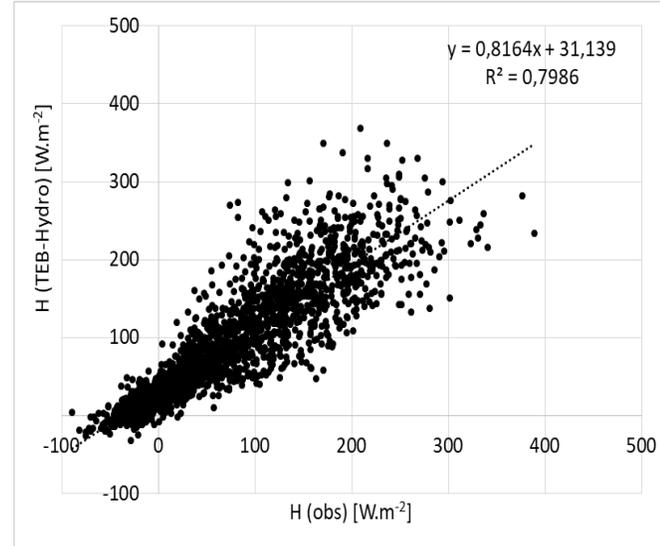
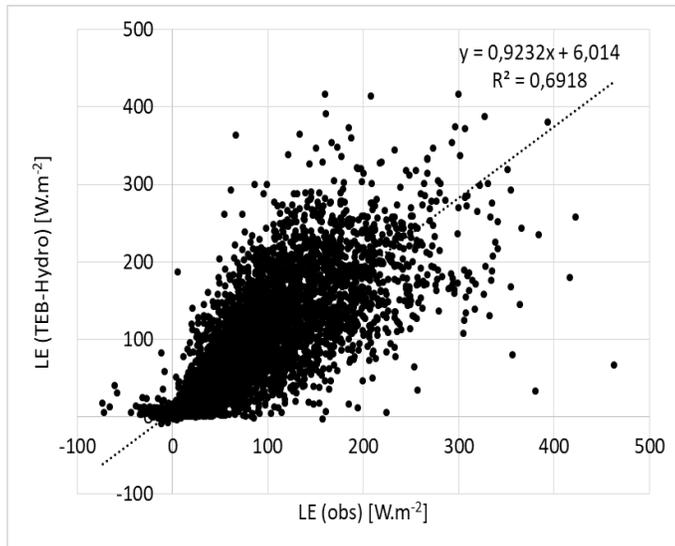


- Plus grande variabilité simulée qu'observée
- Tendence: surestimation du débit total (Q) et sous-estimation de certains évènements extrêmes.
- Amplitude saisonnière de la teneur en eau mal reproduite (- 35 cm)

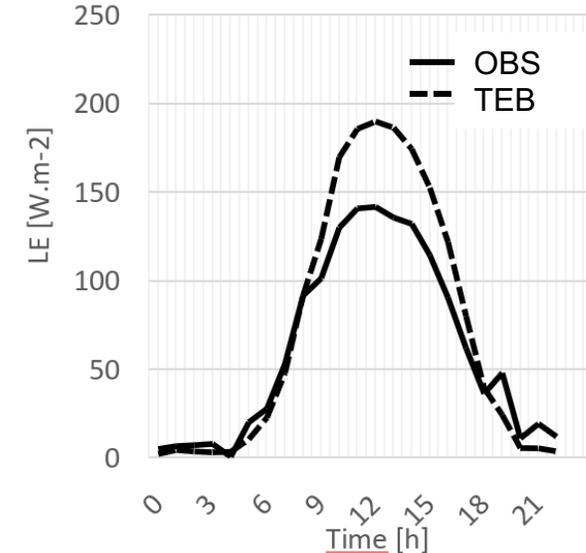


# RESULTATS TEB

- Calage et évaluation hydrologique du modèle au débit total sur le Pin Sec (Stavropoulos-Laffaille et al., 2018)
- Evaluation hydro-énergétique (Stavropoulos-Laffaille et al., 2021)



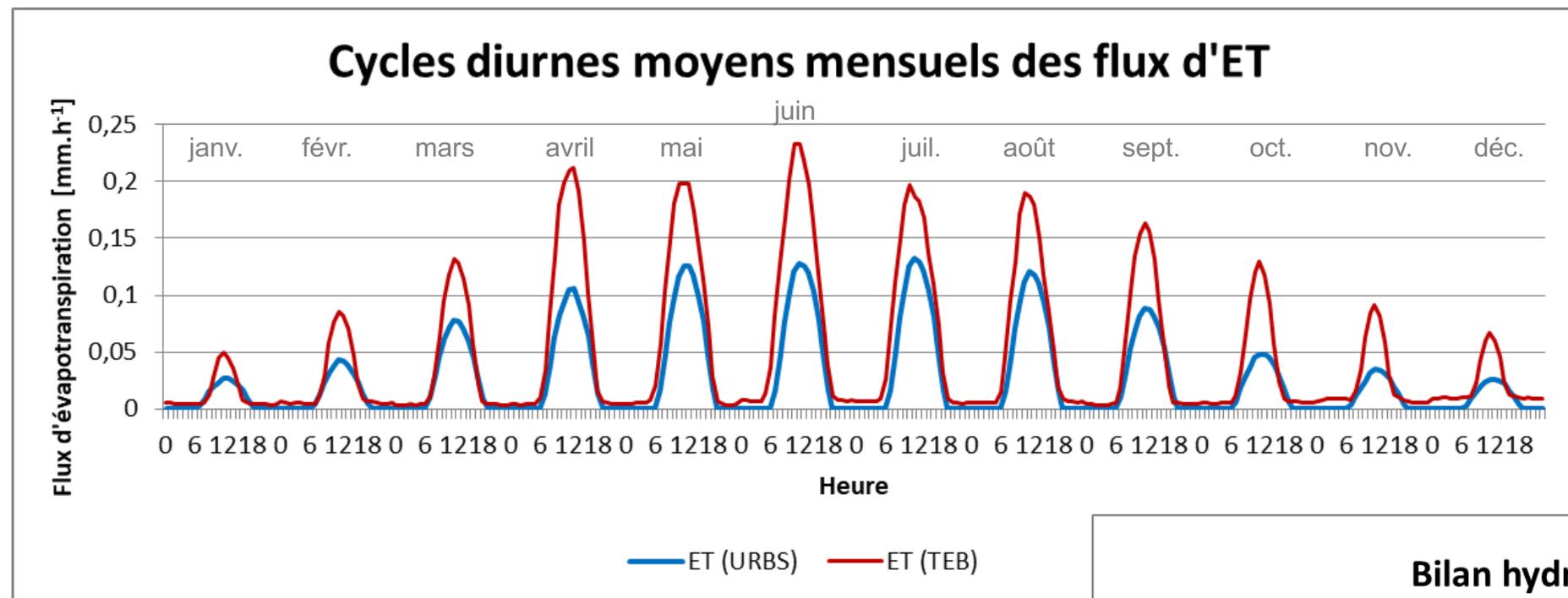
Cycle diurne moyen de juillet



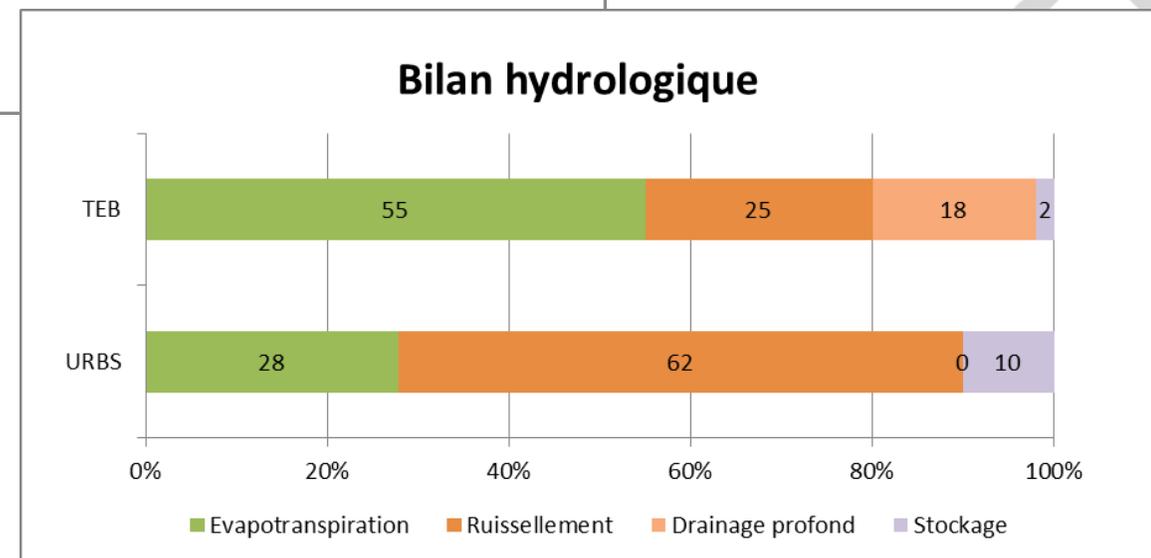
- Meilleure simulation des flux de chaleur sensible (H) que latente (LE)
- Tendance à surestimer les flux LE en période chaude / sèche → Evapotranspiration (ET)
- Incapacité de reproduire les flux de chaleur nocturnes (condensation) → Température de surface trop élevée

# COMPARAISON URBS - TEB

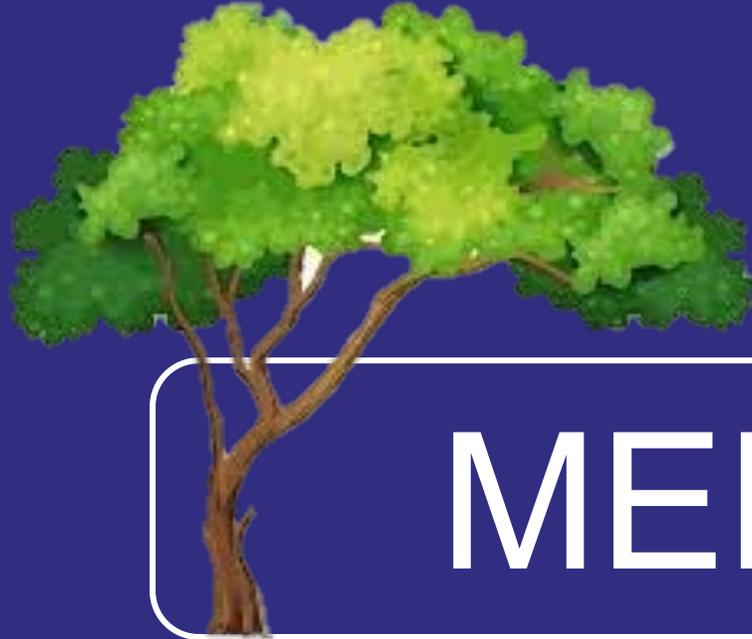
- Comparaison des flux d'ET simulés montre une grande différence entre les modèles



- Comparaison des bilans hydrologiques conforte la répartition inégale entre l'évapotranspiration (ET) et le ruissellement total (R)



- Mise en cohérence des deux modèles sur deux BVs:
  - Préparation des données d'entrée et d'un prétraitement automatique
  - Comparaison des paramètres de chaque outil
  - Paramétrisation entre URBS et TEB la plus proche possible
  - Première application sur un petit bassin versant
- Les autres options seront appliquées par la suite → post-doc d'un an
- Evaluation et discussion des flux d'évapotranspiration en fonction des spécificités de chaque modèle et en prenant en compte:
  - Teneur en eau dans le sol (TEB et URBS) et la profondeur de la nappe (URBS)
  - Températures de surface (TEB)



MERCI



Xenia Laffaille (CEREMA - BPE) : [xenia.laffaille@cerema.fr](mailto:xenia.laffaille@cerema.fr)

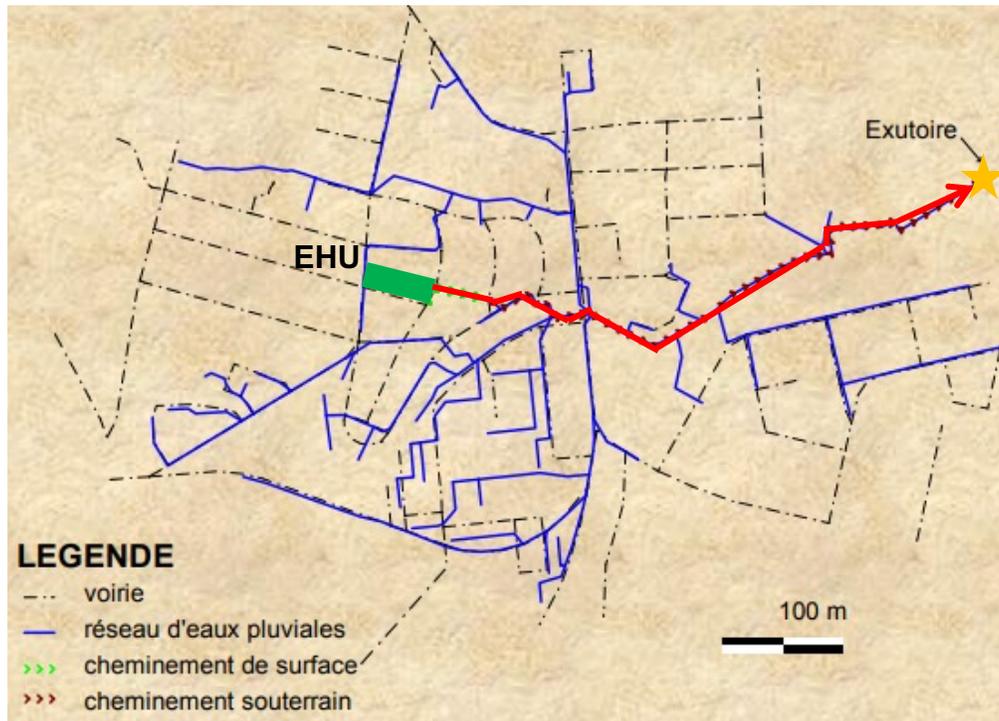
Katia Chancibault (Univ-Eiffel – LEE) : [katia.chancibault@univ-eiffel.fr](mailto:katia.chancibault@univ-eiffel.fr)

Fabrice Rodriguez (Univ-Eiffel – LEE) : [fabrice.rodriquez@univ-eiffel.fr](mailto:fabrice.rodriquez@univ-eiffel.fr)

## Discrétisation spatiale en Elément Hydrologique Urbain (EHU):

- 3 types d'occupation du sol (bâti, voirie, sols naturels) avec des profils verticaux regroupant 4 réservoirs superposés (hors bâti)

Transfert: Réseau hydrographique (Voirie + Réseau EP) + paramètres physiques



Production (ruissellement (R) + infiltration réseau ( $I_{res}$ ))  
+ Transfert (temps de trajet)



★ Débit  $Q_{ext}$  [ $m \cdot s^{-1}$ ]