

# Comportement hydrodynamique de substrat de toitures végétalisées : double approche par expérimentation et modélisation

**FOUGHALI, M.<sup>1,2</sup>, BERTHIER, E.<sup>2</sup>, RAMIER, D.<sup>2</sup>, GROSBELLET, C.<sup>3</sup>, SINDT, L.<sup>4</sup>**

ADIVET, 85 rue Gabriel Péri 92120 Montrouge

Cerema, 12 rue Teisserenc de Bort, 78192 Trappes cedex

Florentaise, La Grande Gâcherie, 44850 Saint-Mars du Désert,

Soprema, 14 rue de Saint-Nazaire - BP 60121, 67025 Strasbourg CEDEX 1

# Contexte

## Toitures végétalisées et gestion des eaux pluviales



### Comportement hydrique

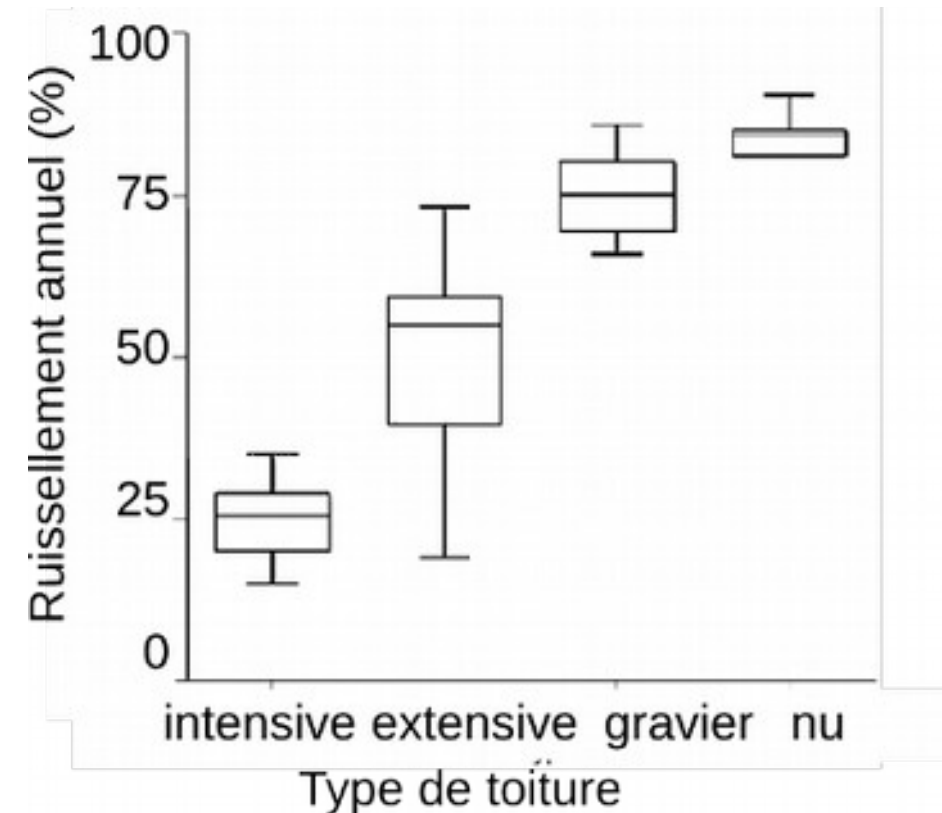
- abattement et régulation

### Concevoir et dimensionner ?

- respect des limitations de débits
- climats différents
- choix des composants

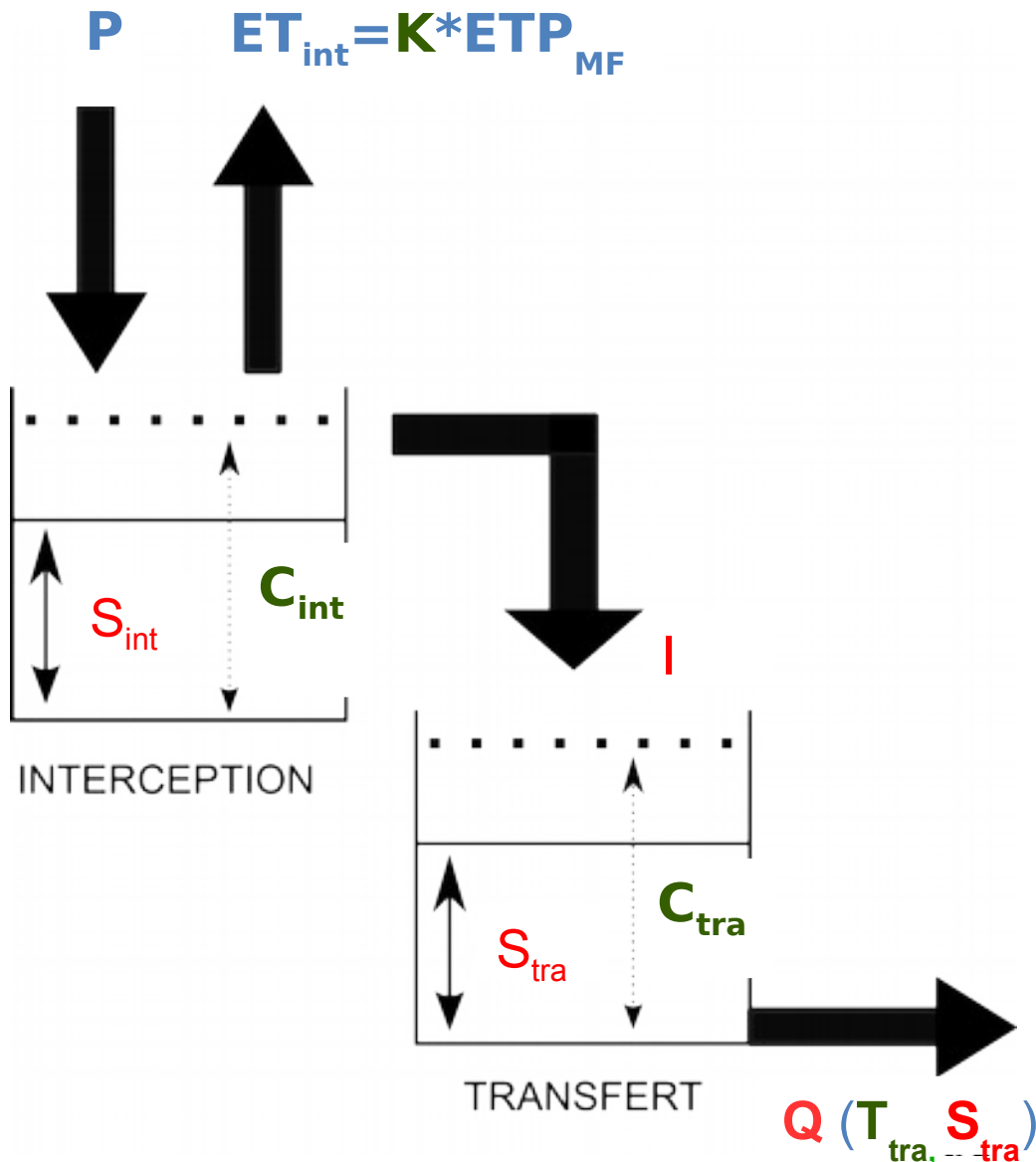
=> modèle simple : peu paramétré, simulation sur de longues chroniques

=> outils



# Contexte – Modèle FAVEUR

modèle Fonctionnel pour l'évAluation des performances des toitures VEgétalisées sur le ruissellement URrbain



## Données

$P$  : Pluie

$ETP_{MF}$  : Evapotranspiration potentielle

## Variables de sorties

$Q$  : Débits de ruissellement

$S_{int}$  : Stockage réservoir interception

$S_{tra}$  : Stockage réservoir de transfert

$I$  : flux échangé entre interception et transfert

## 4 paramètres

$C_{int}$  : Capacité interception

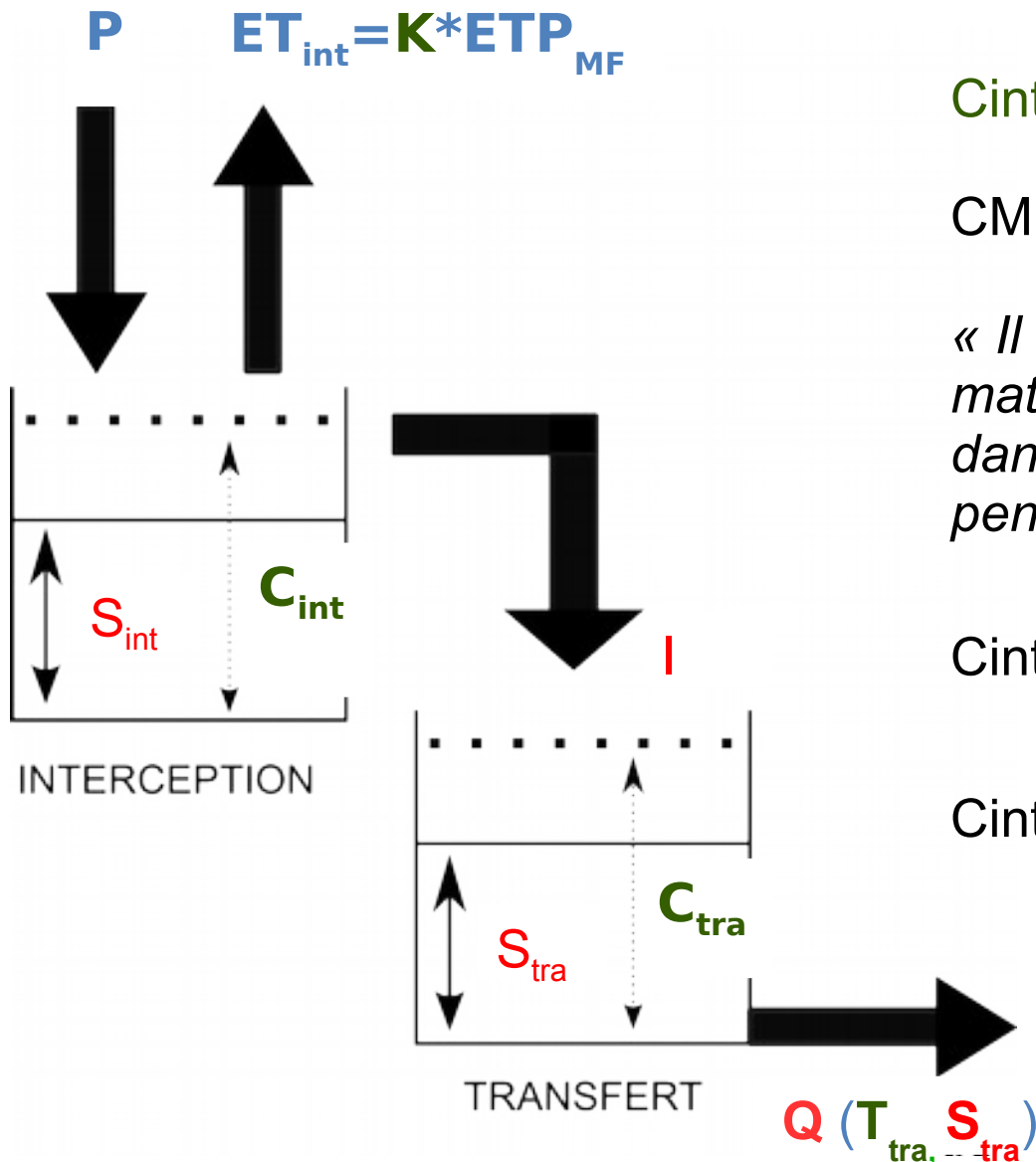
$C_{tra}$  : Capacité transfert

$K$  : Coefficient d'évapotranspiration

$T_{tra}$  : Paramètre de transfert

# Contexte – Modèle FAVEUR

modèle Fonctionnel pour l'évaluation des performances des toitures VEgétalisées sur le ruissellement URrbain



$C_{int}$  : Capacité interception

CME : Capacité Maximale en Eau.

« Il s'agit de la quantité d'eau réputée retenue par les matériaux constitutifs du complexe de végétalisation dans la situation suivante : mise en eau à saturation pendant 24 heures, puis ressuyage pendant 2 heures »

$C_{int} = \theta_{CME} \times \text{épaisseur du substrat (cm), si } e < 5\text{cm}$

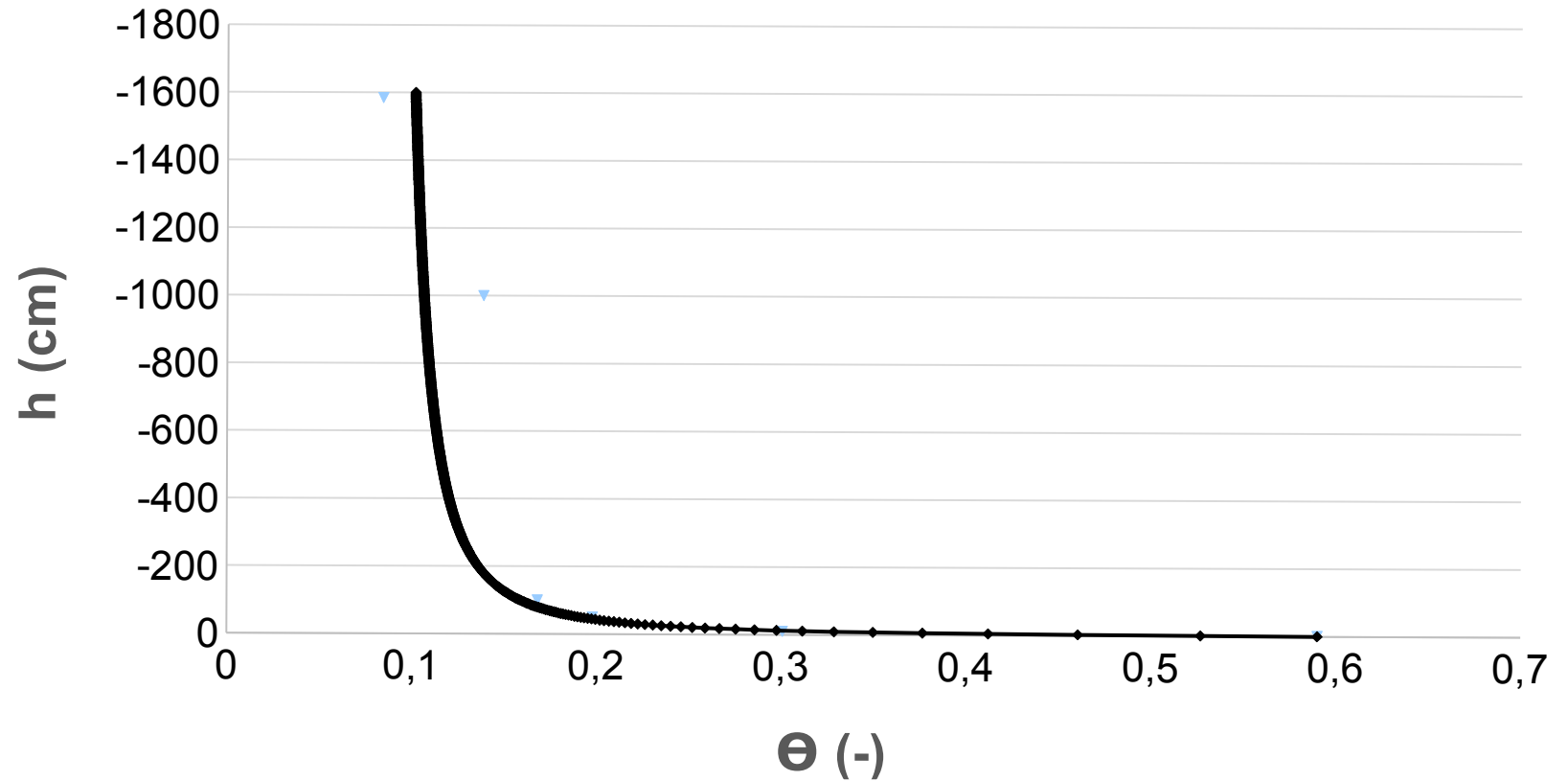
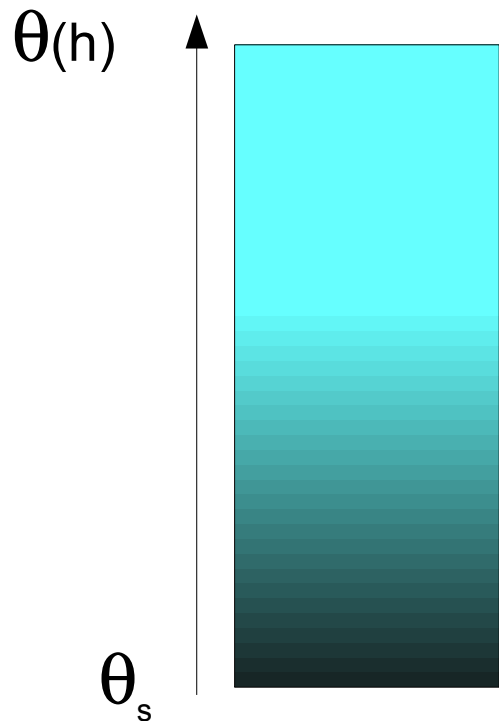
$C_{int} = \theta_{CME} \times 5 \text{ cm si } e \geq 5\text{cm}$

# Contexte



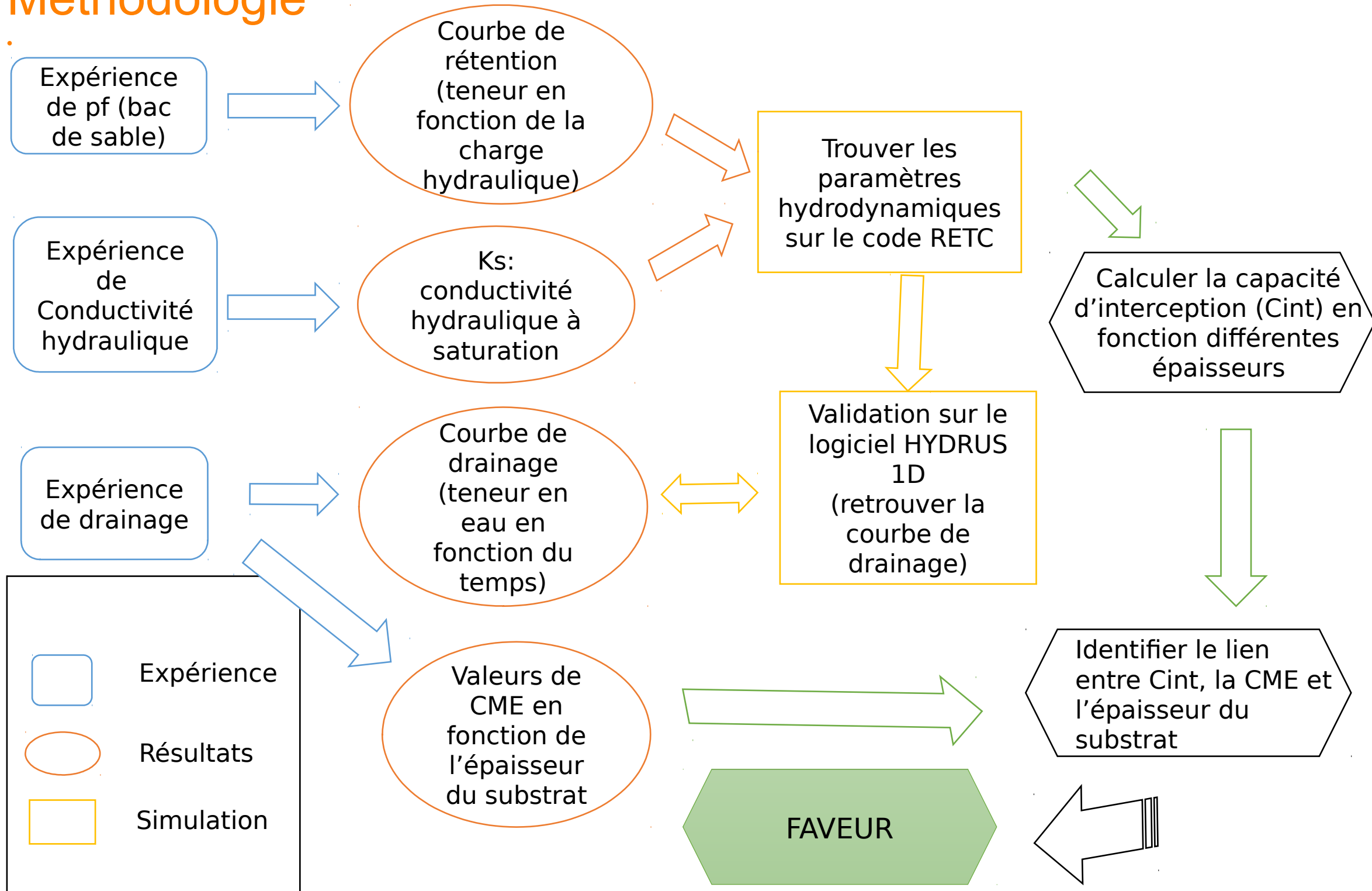
## Composition substrat :

Pouzzolane, tourbe et compost vert  
Matériaux minéraux  
Technosols isolatique



Relation Cint - épaisseur non linéaire  
Relation Cint -  $\theta(h)$  ?

# Méthodologie



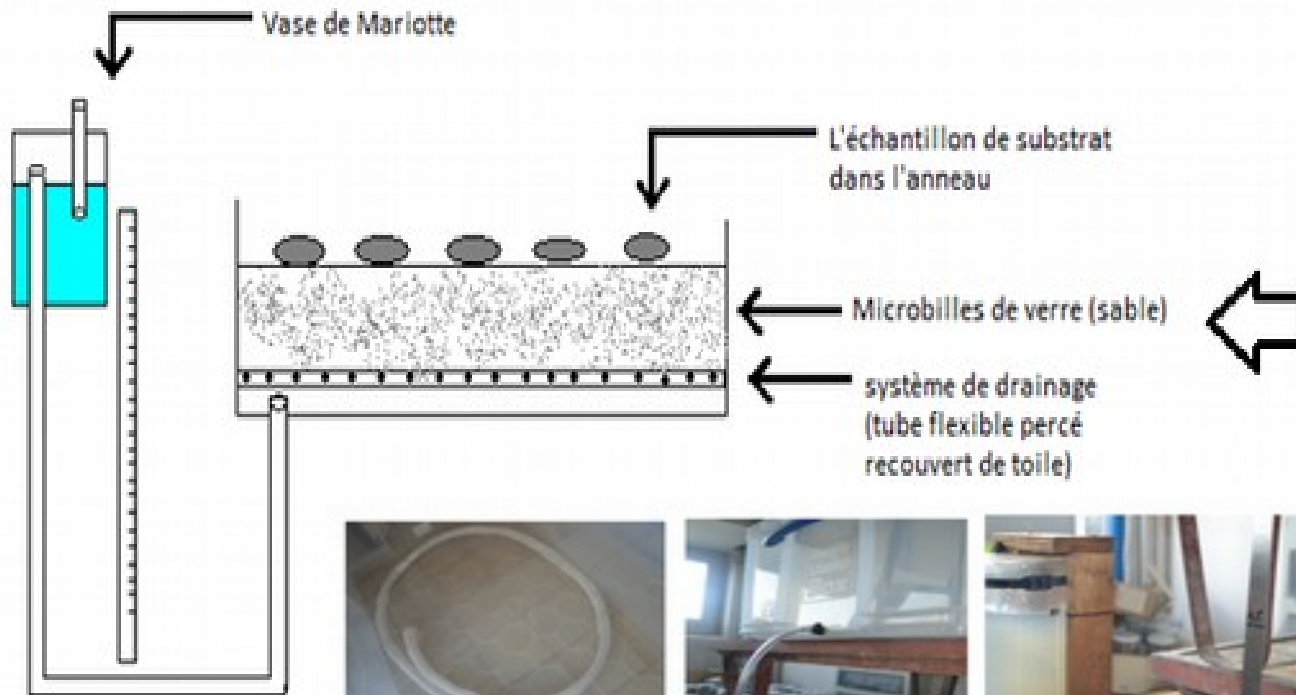


# Méthodologie

Expérience de pf  
(bac de sable)



Courbe de rétention  
(teneur en fonction  
de la charge  
hydraulique)



[1] Le système de drainage installé au fond du bac



[2] Le raccordement du bac au vase de Mariotte



[3] Le contrôleur du niveau de succion (vase de Mariotte)



[4] Les anneaux (H: 5cm, D: 30cm)



[5] Le placement des 30 anneaux dans le bac à sable



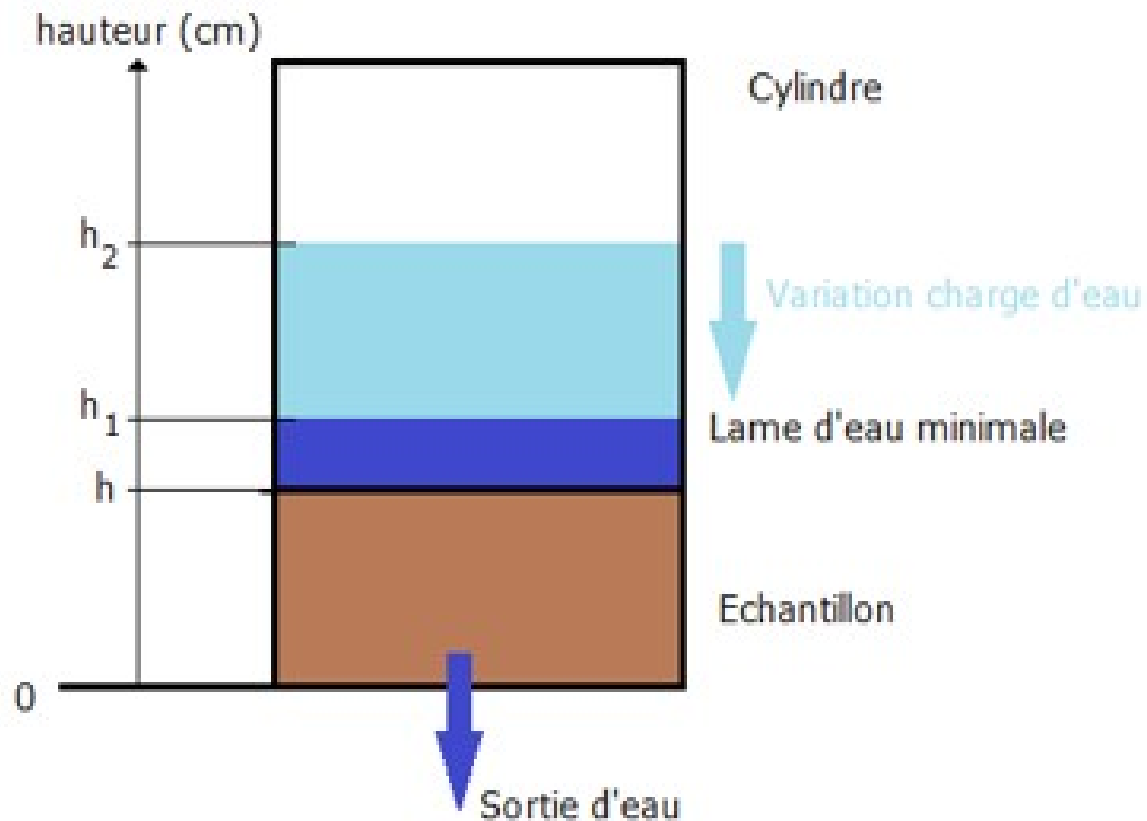
[6] la valeur de  $pf=0$  est fixée au milieu de l'anneau

# Méthodologie

Expérience de  
Conductivité  
hydraulique



$K_s$ : conductivité  
hydraulique à  
saturation



$$K_s = \frac{h}{t} * \ln \left( \frac{h_2}{h_1} \right)$$

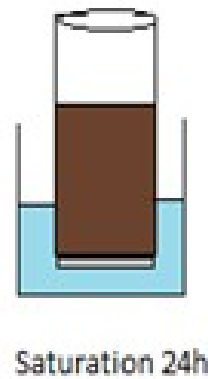
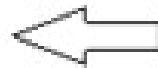
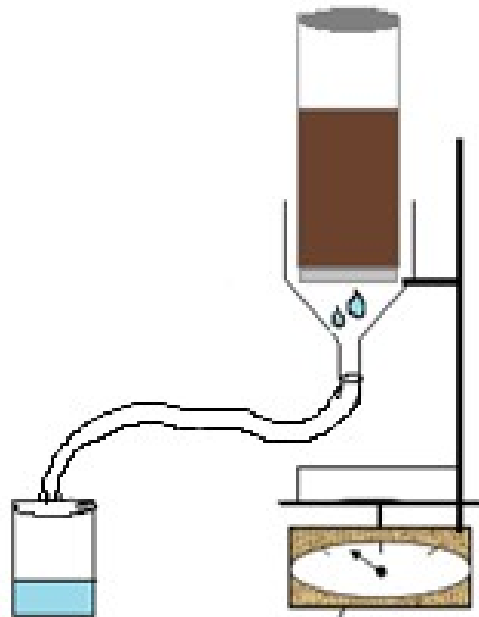


# Méthodologie

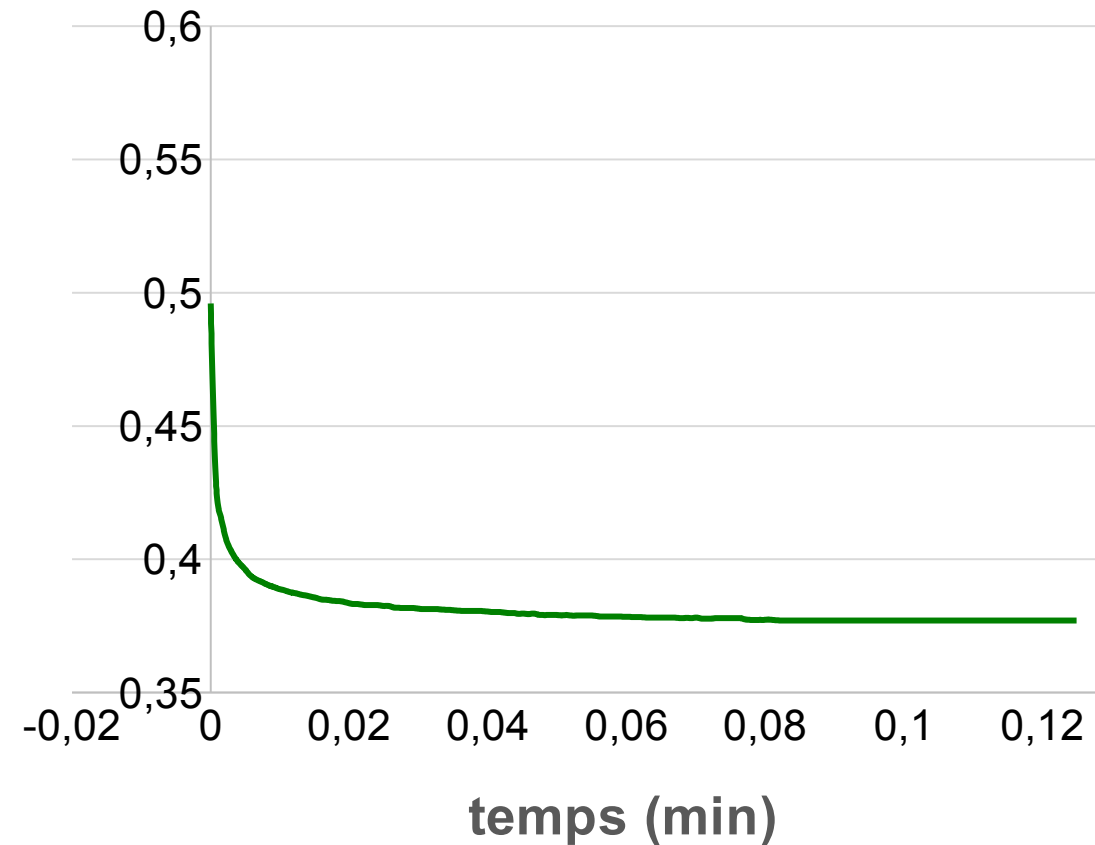
Expérience de drainage

Courbe de drainage (teneur en eau en fonction du temps)

Valeurs de CME en fonction de l'épaisseur du substrat



teneur en eau (-)



# Méthodologie

Trouver les paramètres hydrodynamiques sur le code RETC



A identifier

## Modèle de van Genuchten

Water Flow Parameters

Parameter Name	Qr	Qs	Alpha	n	Ks
ThetaR	0,0841	0,59	0,3785	1,51757	0,0855
Initial Estimate					
Fitted ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Soil Catalog for Initial Estimate:  Neural Network Prediction

OK Cancel Previous... Next... Help

### Retention Curve Data

	Pressure	Theta	Weight
1	1	0,59	0
2	10	0,3008	0
3	50,11	0,1979	0
4	100	0,1682	0
5	1000	0,1386	0
6	1584,93	0,0841	0

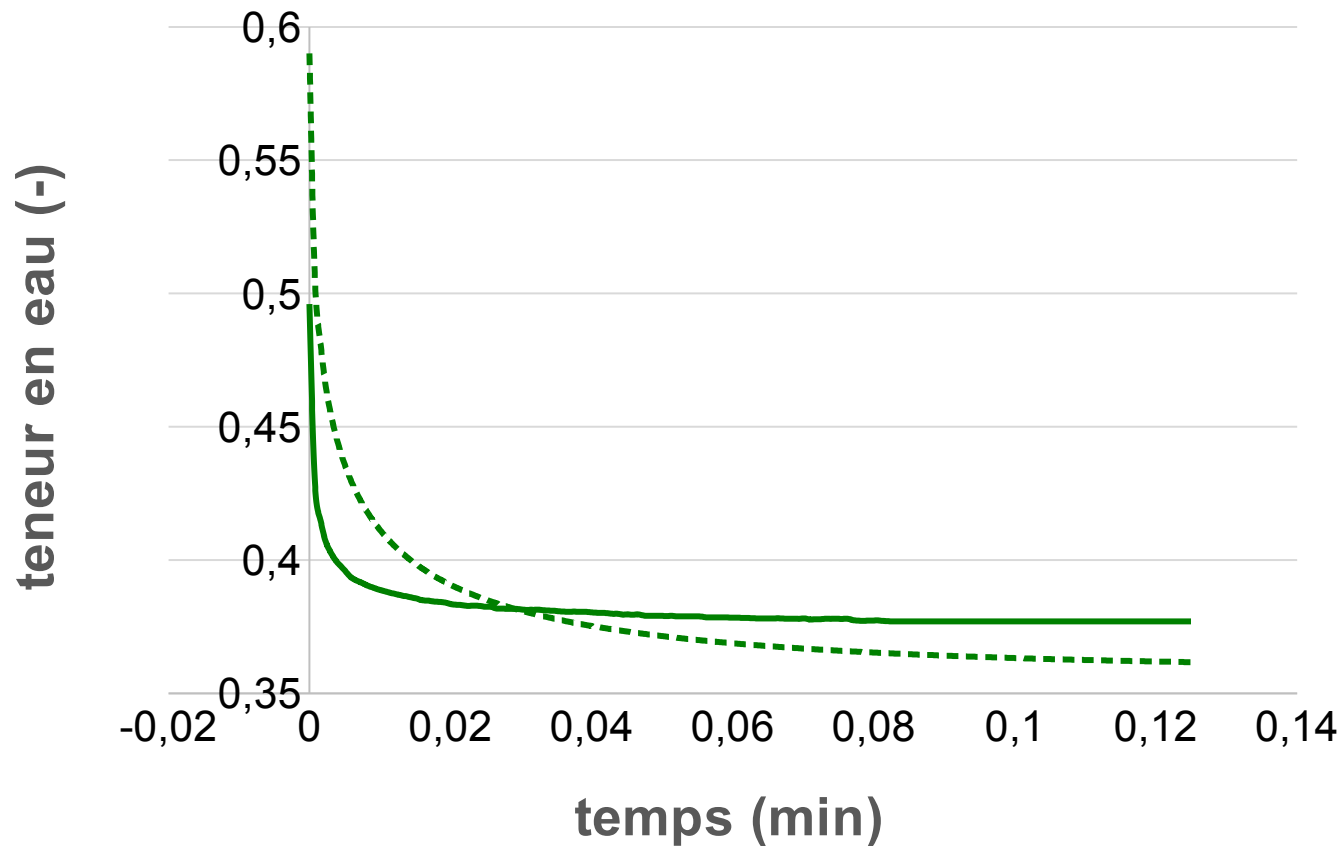
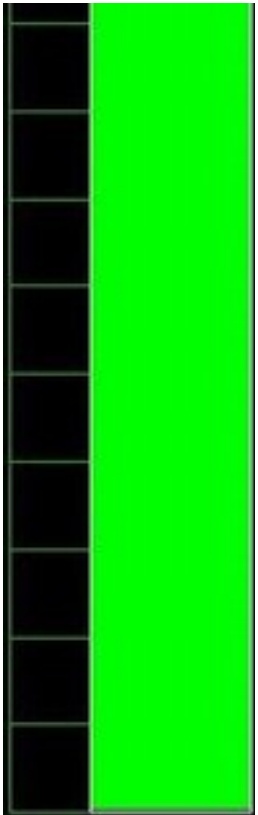
Expérience du bac à succion (courbe de pF)

Expérience de drainage

Expérience de conductivité hydraulique à saturation

# Méthodologie

Validation sur le logiciel HYDRUS 1D  
(retrouver la courbe de drainage)

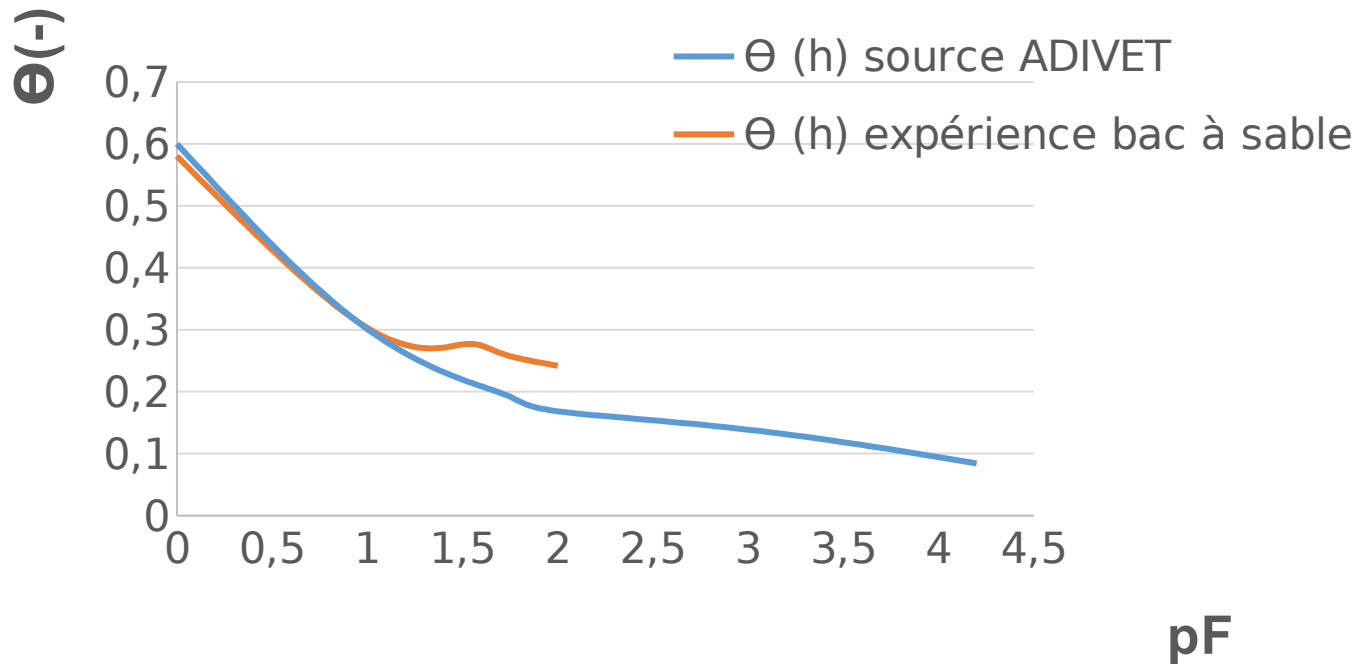


# Résultats

Expérience de pf  
(bac de sable)



Courbe de rétention  
(teneur en fonction  
de la charge  
hydraulique)



$$pF = \log_{10}|h|$$

pf	h (cm)	$\theta$ cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>
0	-1	0,59
1	-10	0,3008
1,7	-50,11	0,1979
2	-100	0,1682
3	-1000	0,1386
4,2	-1584,93	0,0841

# Résultats

Expérience de  
Conductivité  
hydraulique



Ks: conductivité  
hydraulique à  
saturation



Ks  
retenue

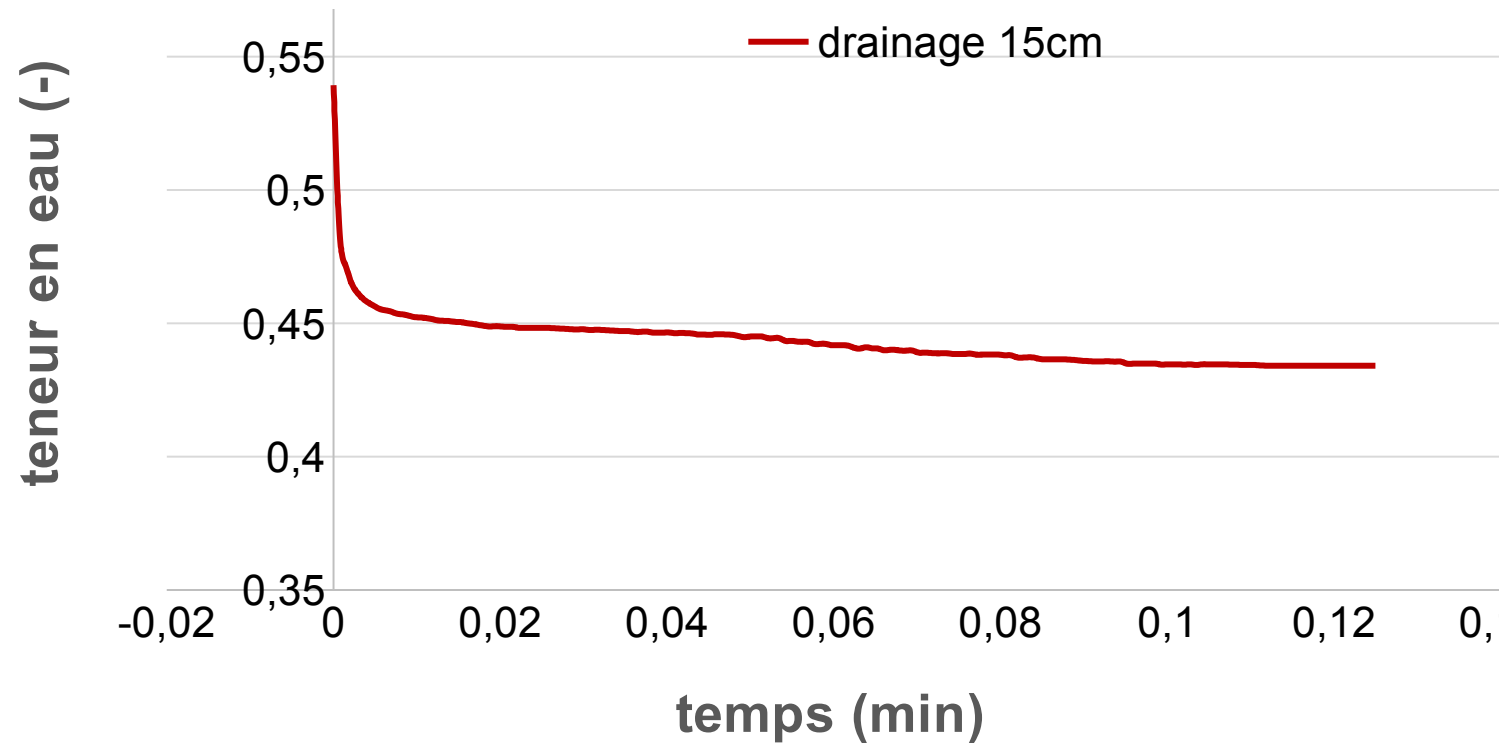
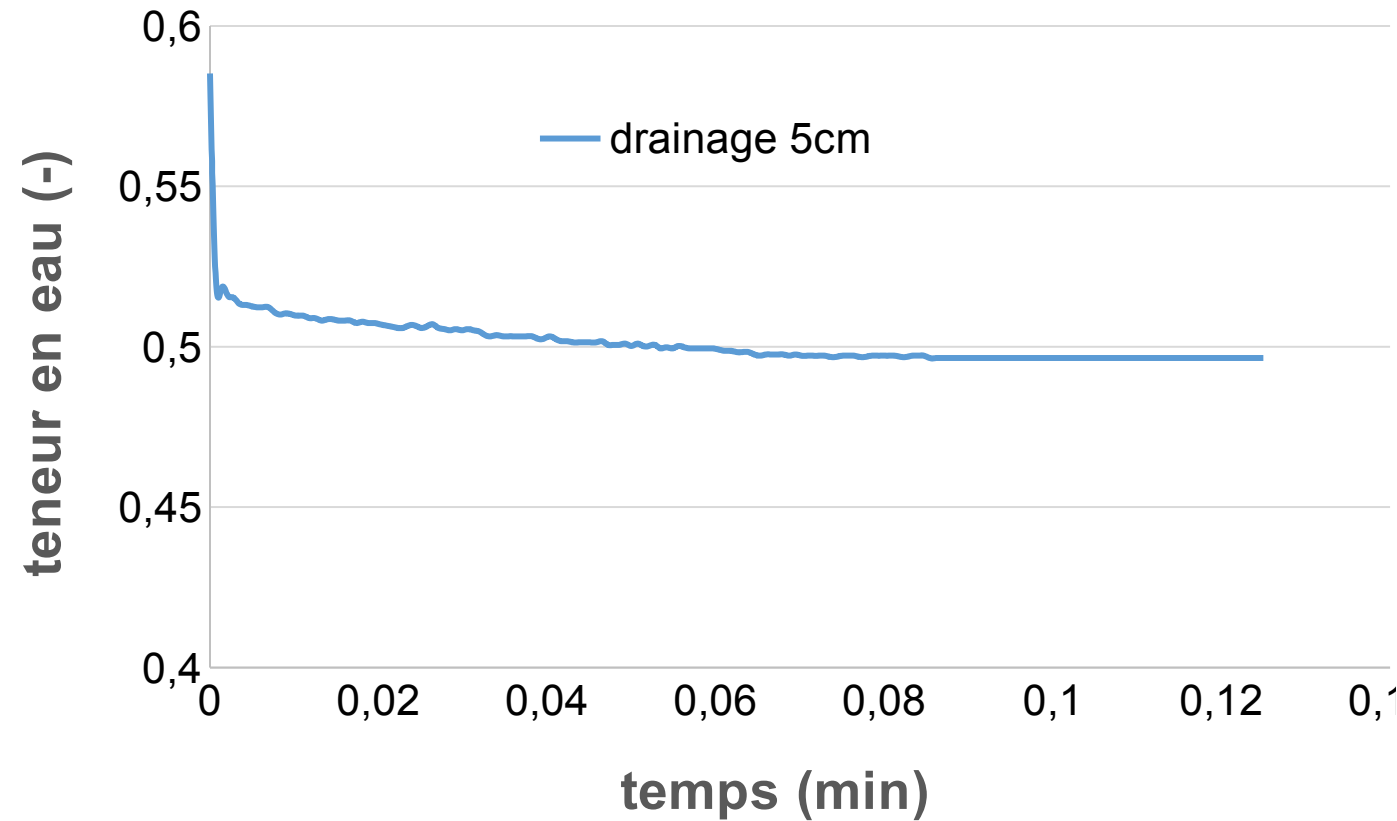


e (cm)	Ks (cm/s)
5	0,085
10	0,005
15	0,033
20	0,021

# Résultats

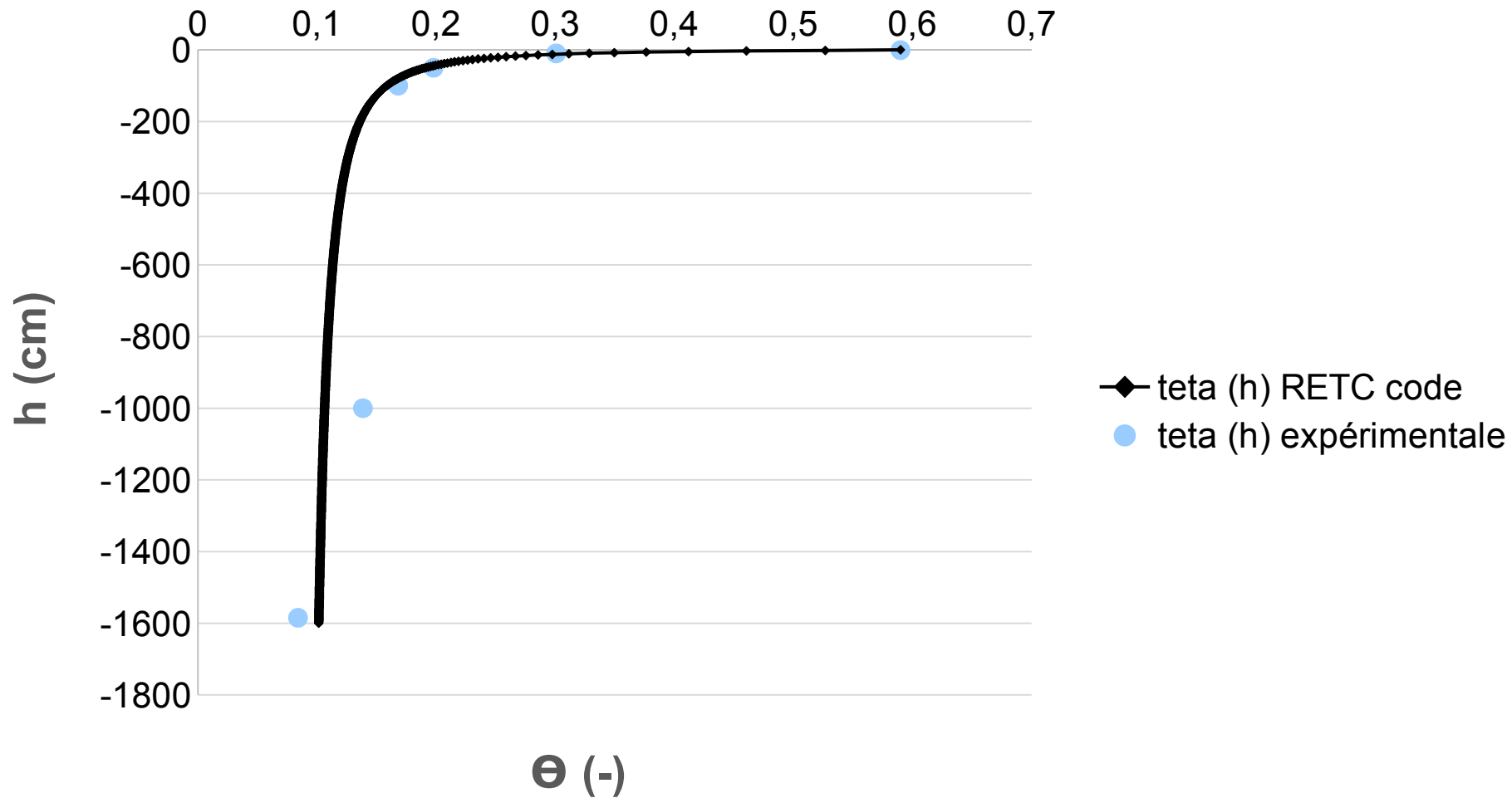
Expérience  
de drainage

<b>e (cm)</b>	<b><math>\Theta_{CME}</math> (-)</b>	<b>CME (cm)</b>
<b>5</b>	0,49	2,45
<b>10</b>	0,41	4,1
<b>15</b>	0,43	6,45
<b>20</b>	0,37	7,4

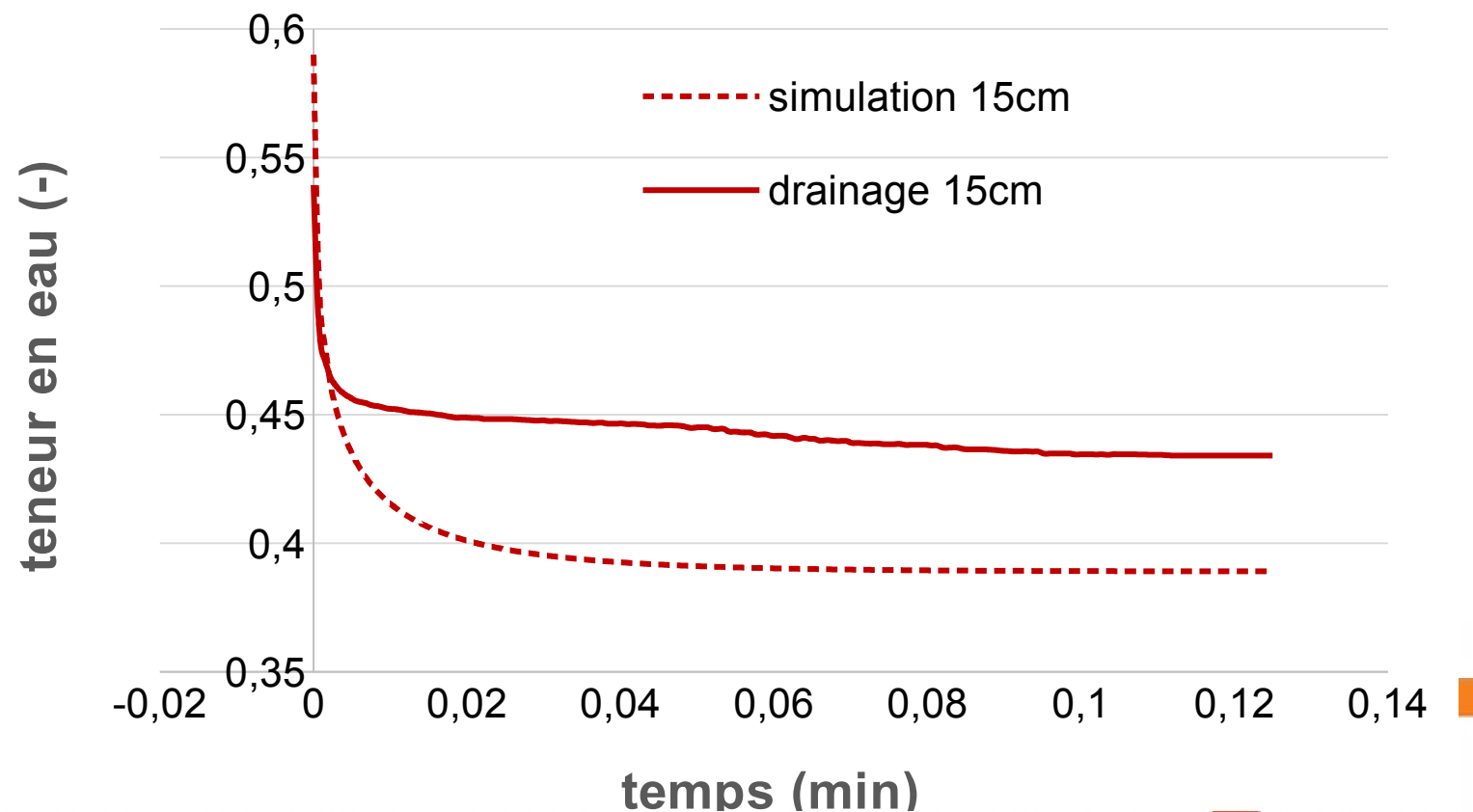
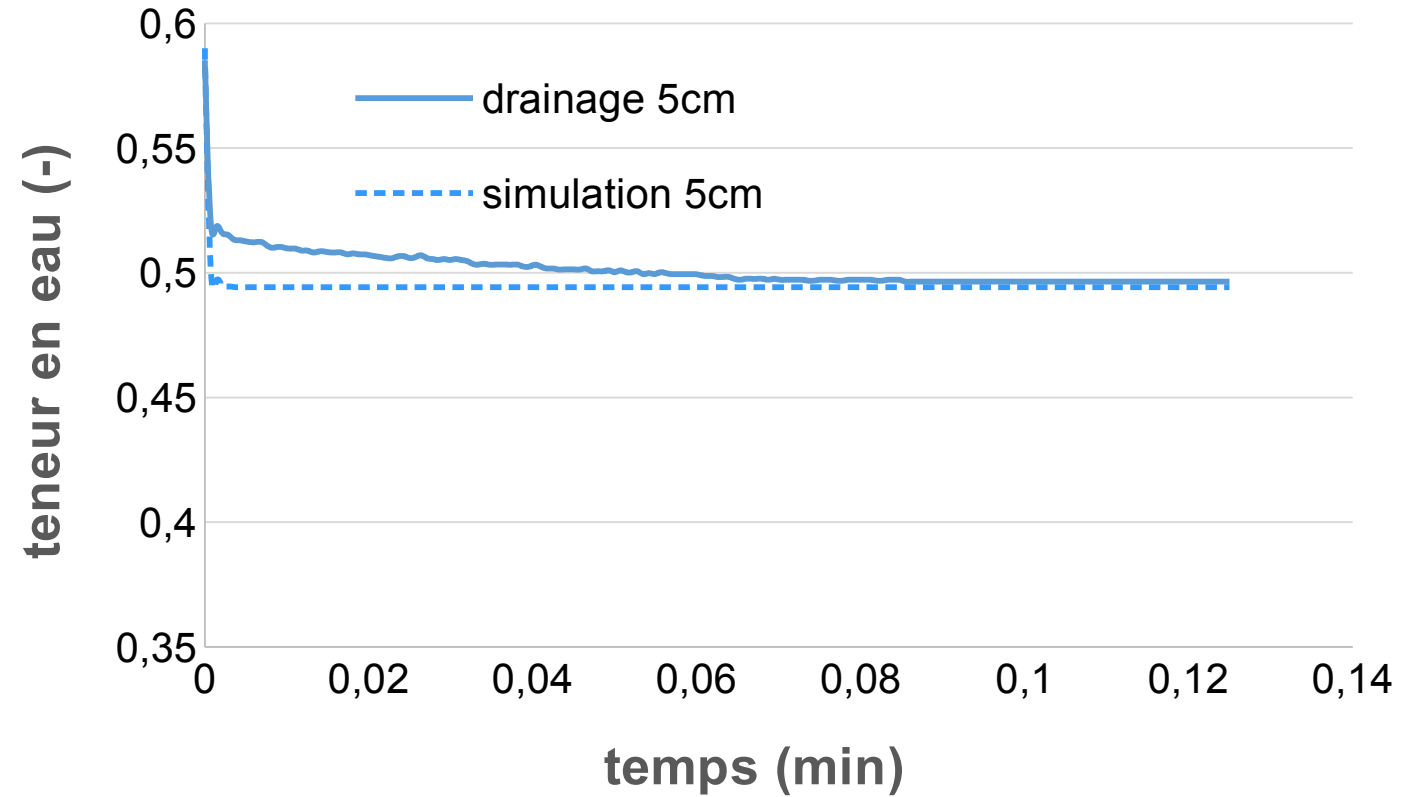




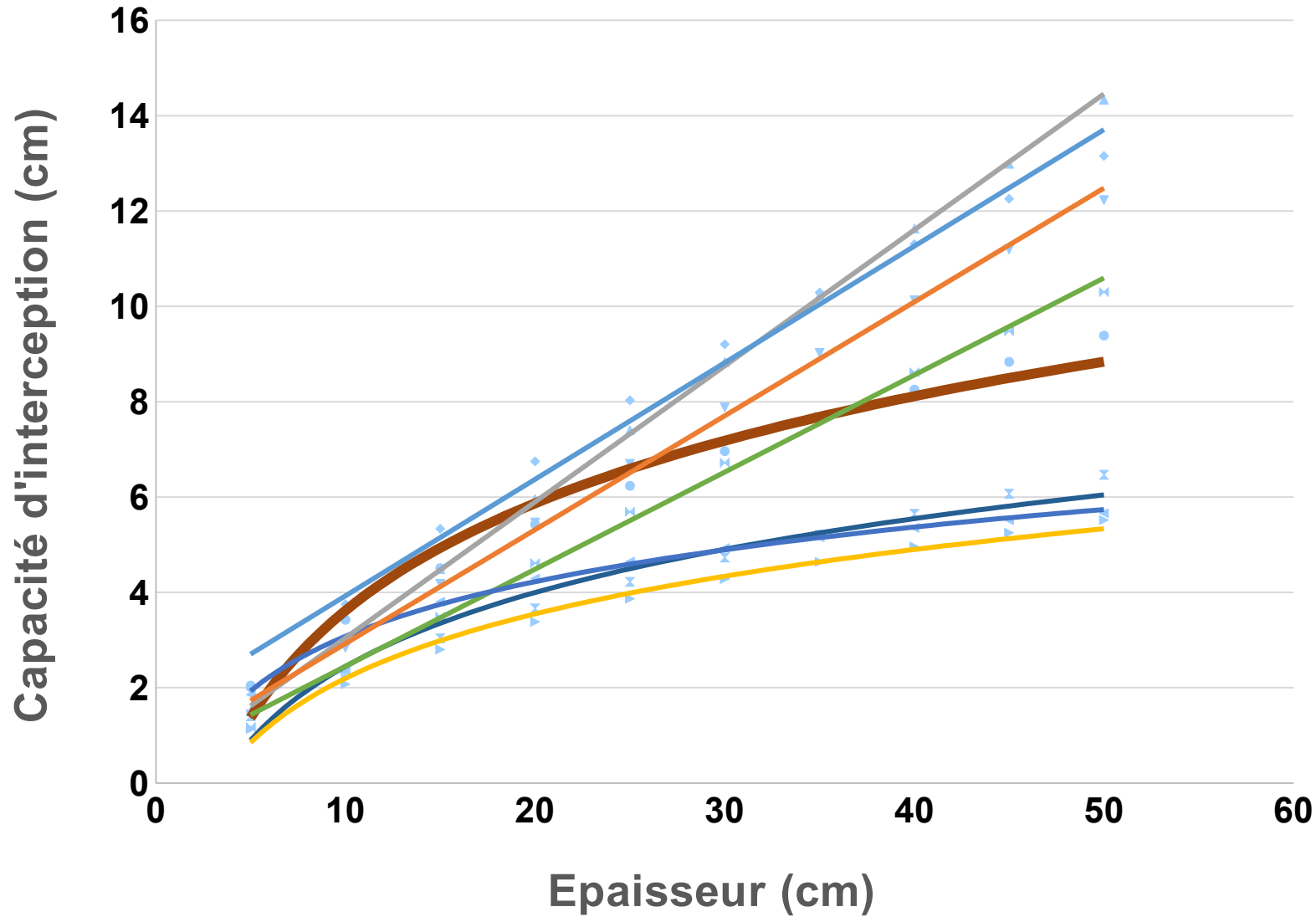
# Résultats – modélisation RETC



# Résultats Modélisation Hydrus 1

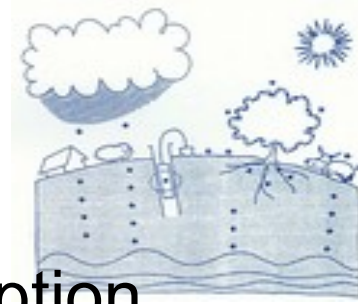


# Résultats



- ◆ (Bouzouidja et al., 2013)
- Linéaire ((Bouzouidja et al., 2013))
- ▼ (Wen-Yu et al., 2014)
- Linéaire ((Wen-Yu et al., 2014))
- ▲ (Hakimdavar, J. Culligan e Finazzi, 2014)
- Linéaire ((Hakimdavar, J. Culligan e Finazzi, 2014))
- ▶ (Palla et al., 2010)
- Logarithmique ((Palla et al., 2010))
- ◀ (Foumel et al., 2013)
- Logarithmique ((Foumel et al., 2013))
- ✕ (Lameraa et al., 2013)
- Linéaire ((Lameraa et al., 2013))
- ✕ (Mesgouez et al., 2013)
- Logarithmique ((Mesgouez et al., 2013))
- Cint TTV CEREMA
- Logarithmique (Cint TTV CEREMA)

# Conclusions



- CME n'est pas une bonne estimation de la capacité d'interception
- Quelles données pour le modèles FAVEUR ?
  - CME pour plusieurs épaisseurs ?
  - Courbe de rétention ?

# Perspectives

- Sensibilité de FAVEUR à différentes relation  $C_{int} - \theta(h)$