

# Quelles innovations pour la gestion durable des eaux pluviales en milieu urbain ?

Colloque national

3, 4 et 5 décembre 2013, Nantes

## Modélisation des transferts de micropolluants métalliques à travers une toiture végétalisée : quel intérêt pour leur conception ?

J. Schwager<sup>1,2</sup>, A. Tisserand<sup>2</sup>, J.L. Morel<sup>3</sup>, V. Ruban<sup>4</sup>, J. Laurent<sup>5</sup>, A. Wanko<sup>5</sup>

<sup>1</sup>CETE de l'Est, <sup>2</sup>GEMCEA, <sup>3</sup>Université de Lorraine – INRA,

<sup>4</sup>IFSTTAR, <sup>5</sup>ENGEES



GEMCEA



# Plan de la présentation

---

- ❑ Contexte et choix du modèle
- ❑ Présentation de la parcelle expérimentale et d'HYDRUS 1D
- ❑ Résultats
- ❑ Conclusions et perspectives

---

# *Contexte et choix du modèle*



Photo : CETE de l'Est

3, 4 et 5 décembre 2013  
Nantes

Quelles innovations pour la gestion  
des eaux pluviales en milieu urbain ?

# La nécessité du développement d'outils d'aide à la conception des toitures végétalisées

---

- ❑ Toutes les structures de toitures végétalisées n'ont pas toutes les mêmes fonctions
- ❑ Nécessité de les dimensionner spécifiquement en fonction des attentes des maîtres d'ouvrage
- ❑ En permettant de tester de multiples scénarios et d'avoir une vision sur le long terme, la modélisation peut aider dans le choix de matériaux permettant de répondre à ces attentes

*Exemple : Outils développé sur les aspects hydrodynamiques au CETE IdF*

**-> Application au cas de la qualité des eaux**

# Deux principaux logiciels identifiés

Besoin d'un logiciel permettant de modéliser

- L'hydrodynamique
- Le transfert des polluants
- Les réactions physico-chimiques entre polluants et matériaux

Identification de

- CHESSE intégré à HYTEC
- PHREEQC couplé à HYDRUS-1D

-> Logiciel finalement sélectionné mais seul un module physico-chimique simplifié d'HYDRUS1-D a été testé dans un premier temps

*Premiers essais sur le cuivre et le zinc*

---

# *Présentation de la parcelle expérimentale et du logiciel HYDRUS-1D*



Photo : CETE de l'Est

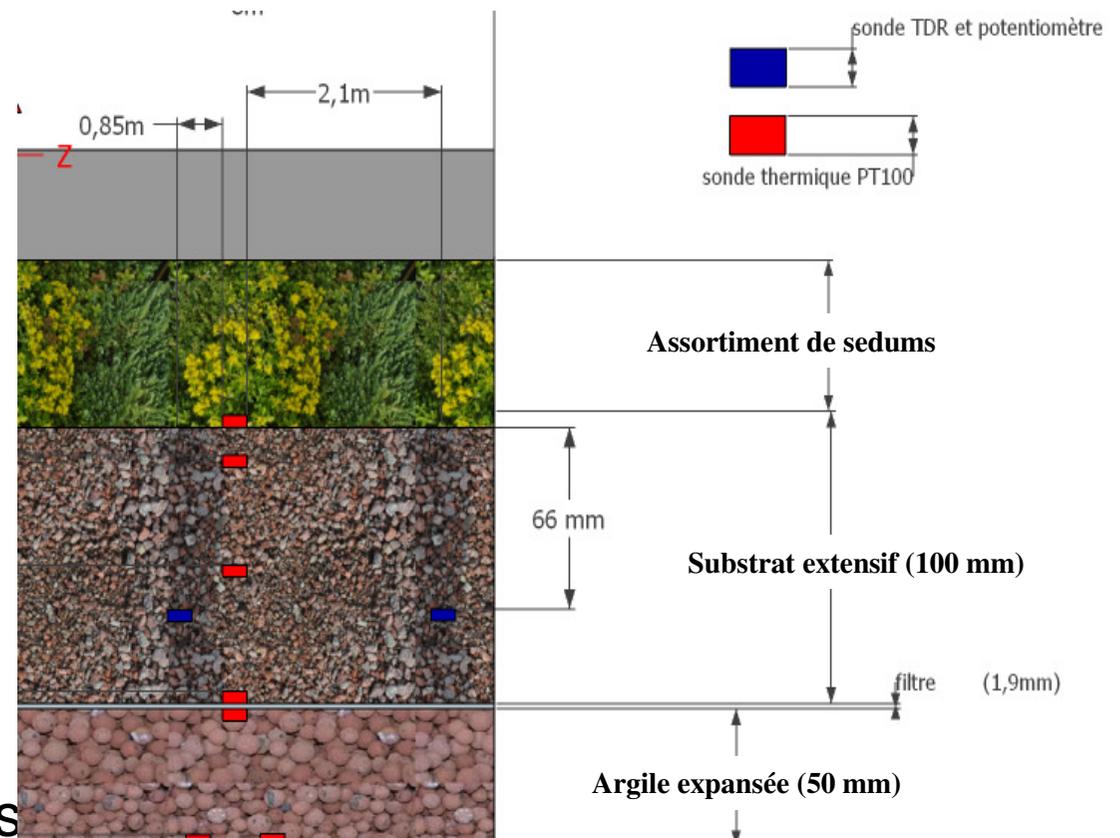
3, 4 et 5 décembre 2013  
Nantes

Quelles innovations pour la gestion  
des eaux pluviales en milieu urbain ?

# Toiture « extensive » du LRPC de Nancy

## Instrumentation

- Météo fournies par Météo France
- Sondes TDR et potentiomètre dans le substrat
- Débitmètre en sortie de toiture
- Récupération des dépôts atmosphériques et eaux en sortie de toiture pour analyses des concentrations en cuivre et zinc



# Modélisation de l'hydrodynamique

Sigle	Paramètre	Obtention
$\Theta_r$	Teneur en eau résiduelle	Mesuré expérimentalement ou à caler
$\Theta_s$	Teneur en eau à saturation	Mesuré expérimentalement ou à caler
$K_s$	Conductivité hydraulique	Mesuré expérimentalement ou à caler
$\alpha$	Facteurs de forme	A caler
$n$	Facteurs de forme	A caler
$l$	Coefficient de connectivité des pores	A caler

## Modèle d'écoulement de Richards

### Données :

#### *Flux en surface*

- Pluviométrie
- Evapotranspiration

#### *Caractérisation du matériau*

- Teneur en eau
- Potentiel matriciel

#### *Flux sortant*

- Volume en sortie

# Modélisation du transfert des polluants

## □ **Transport conservatif avec modélisation de l'advection, de la dispersion et de la diffusion moléculaire**

Sigle	Paramètre	Obtention
$\rho$	Densité apparente sèche	Mesuré expérimentalement
$d$	Dispersivité	Mesuré expérimentalement
$D_k^*$	Coefficient de diffusion moléculaire	Considéré comme nul car phénomène négligeable dans contexte considéré

### Données :

#### *En surface*

- Flux mensuel et concentration moyenne mensuelle en Cu et Zn

## □ **Isotherme de sorption de Langmuir-Freundlich et cinétique du 1<sup>er</sup> ordre**

Sigle	Paramètre	Obtention
$k_s$	Relatif à la sorption	Calculé expérimentalement
$\eta$	Relatif à la sorption	Calculé expérimentalement
$\beta$	Relatif à la sorption	Calculé expérimentalement
$\omega$	Relatif à la cinétique	Calculé expérimentalement

#### *En sortie*

- Flux mensuel et concentration moyenne mensuelle en Cu et Zn

---

# Résultats



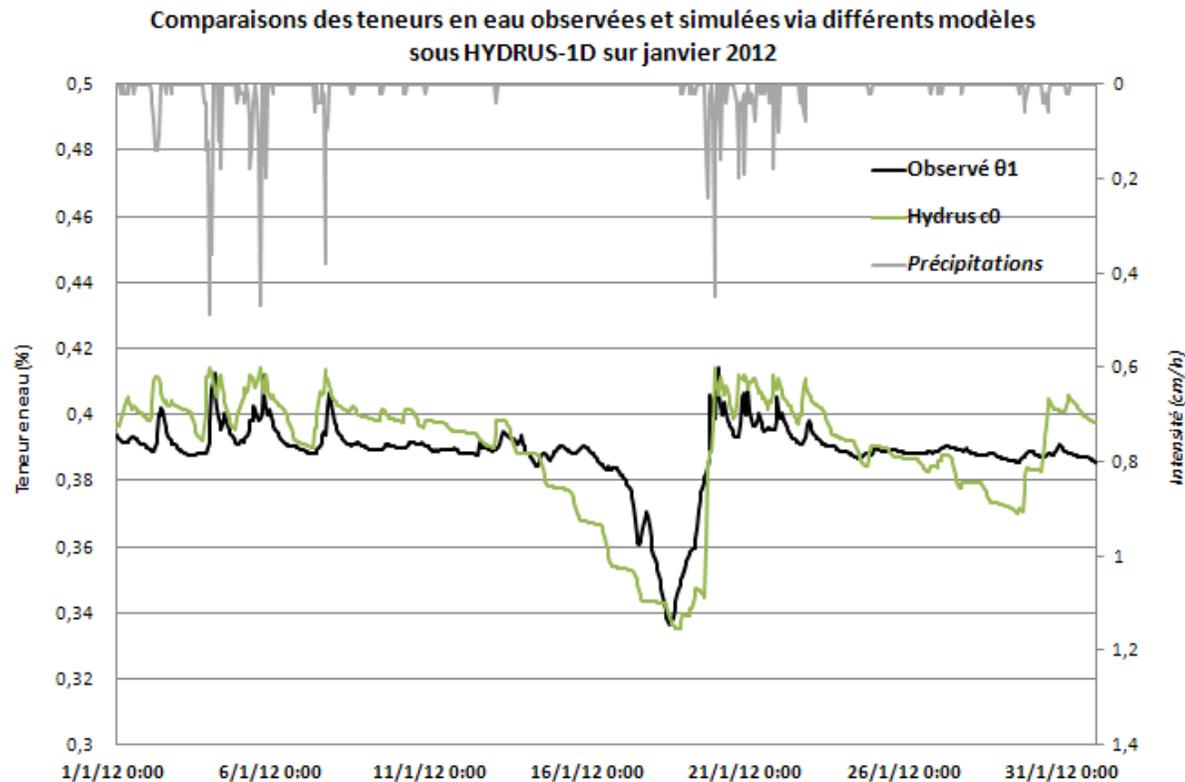
Photo : CETE de l'Est

3, 4 et 5 décembre 2013  
Nantes

Quelles innovations pour la gestion  
des eaux pluviales en milieu urbain ?

# Calage du modèle hydrodynamique (1/2)

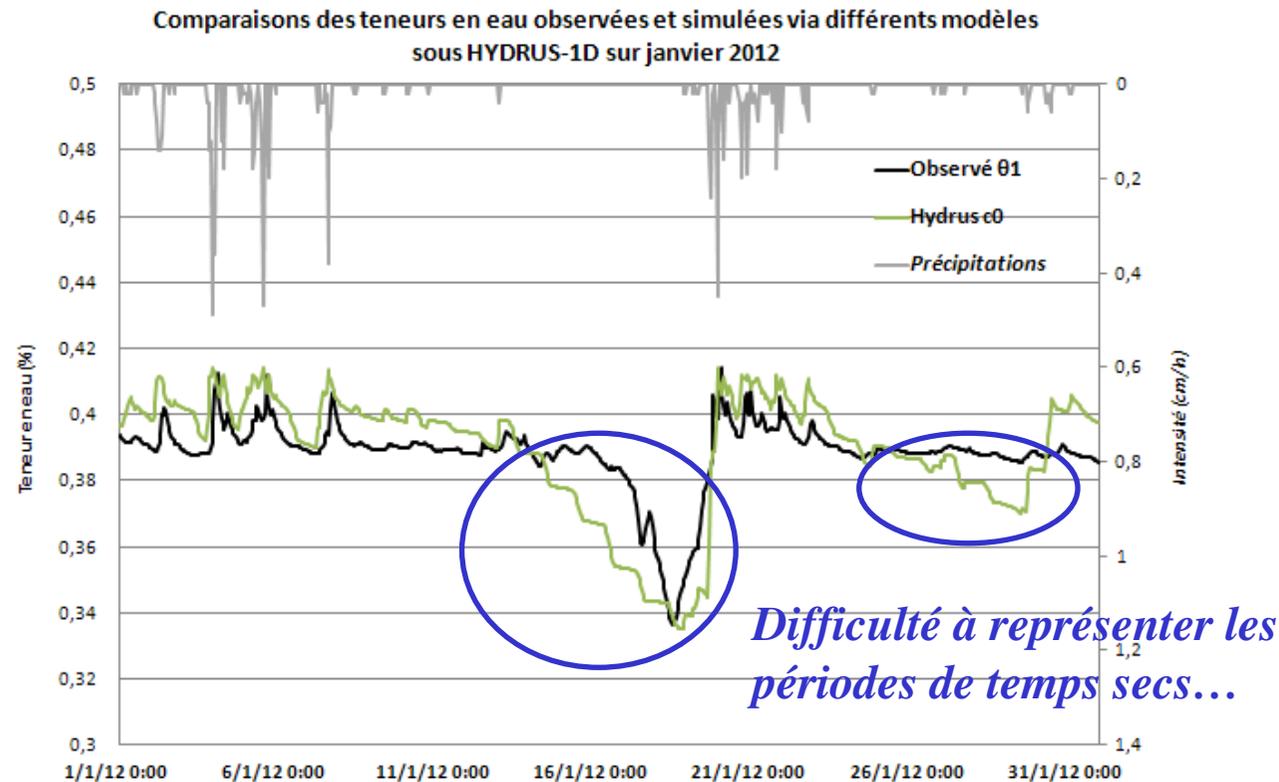
- Sur tout le mois de janvier 2012



**$R^2 = 0,82$  mais Nash = -0,12....**

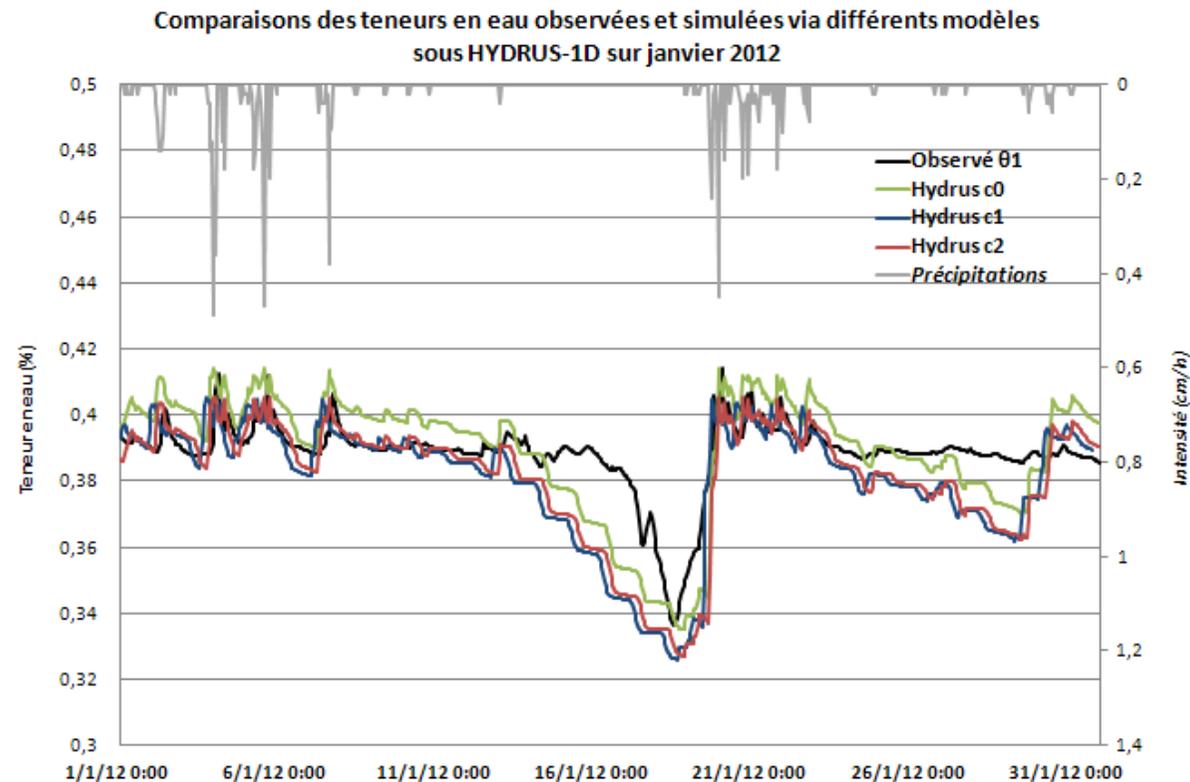
# Calage du modèle hydrodynamique (1/2)

- Sur les teneurs en eau du mois de janvier 2012



# Calage du modèle hydrodynamique (2/2)

- Sur les teneurs en eau des deux périodes « pluvieuses » de janvier 2012



# Choix des données de validation

---

- ❑ Pas de prise en compte des changements de phase de l'eau

*-> Pas de période avec température négative dans le substrat*

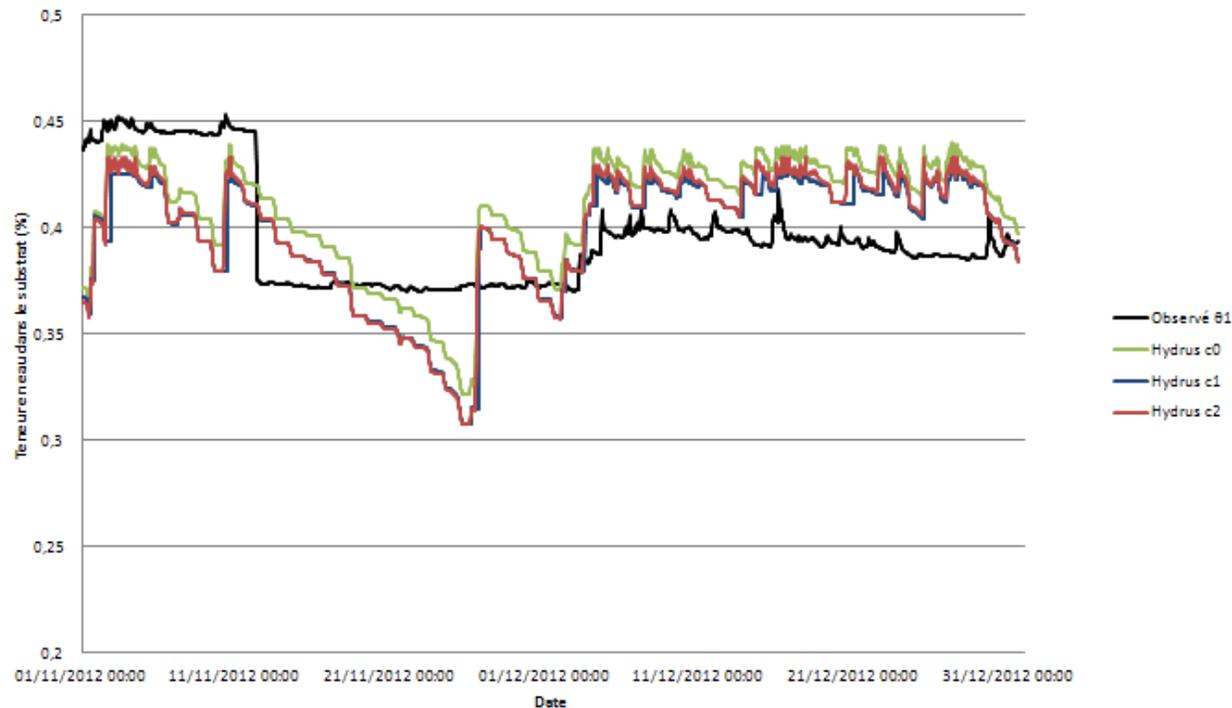
- ❑ Estimation de l'évapotranspiration pas forcément en adéquation avec le métabolisme des sedums

*-> Pas de période de temps secs trop longue ou avec des températures élevées*

# Validation (1/2)

## ☐ Sur les teneurs en eau de novembre-décembre 2012

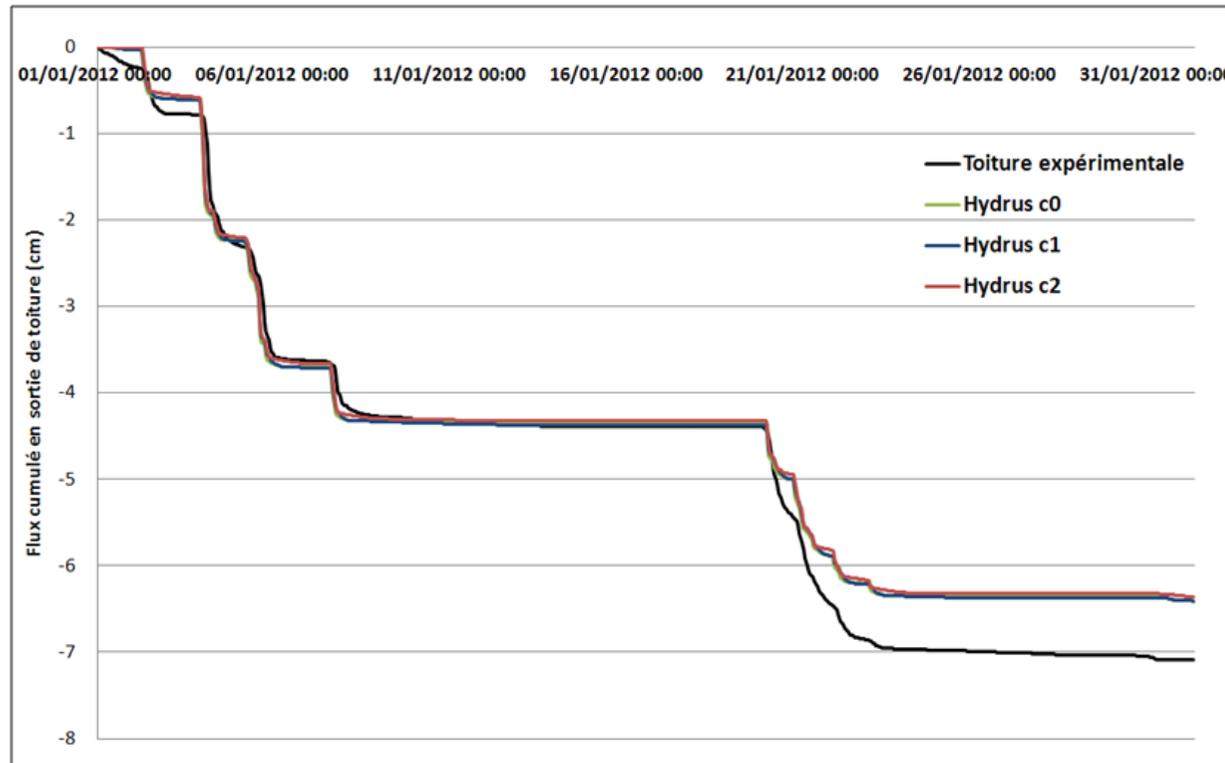
Validation des modèles sur les teneurs en eau  
de novembre et décembre 2012



	Sur période de janvier utilisée pour le calage		Sur tout le mois de janvier 2012		Sur la période de janvier non utilisée pour le calage		Sur novembre - décembre 2012	
	Coeff. Corr.	Nash	Coeff. Corr.	Nash	Coeff. Corr.	Nash	Coeff. Corr.	Nash
C1	0,62	0,10	0,83	-0,69	0,51	-0,09	0,44	-0,02
C2	0,61	0,25	0,83	-0,58	0,61	0,09	0,45	0,04

# Validation (2/2)

## ☐ Sur les volumes en sortie de toiture



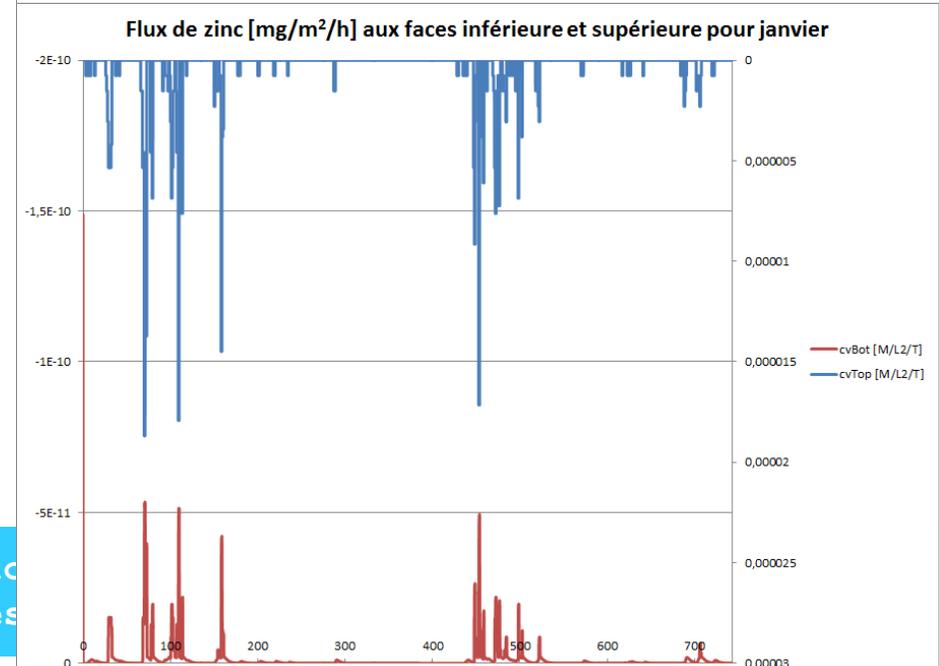
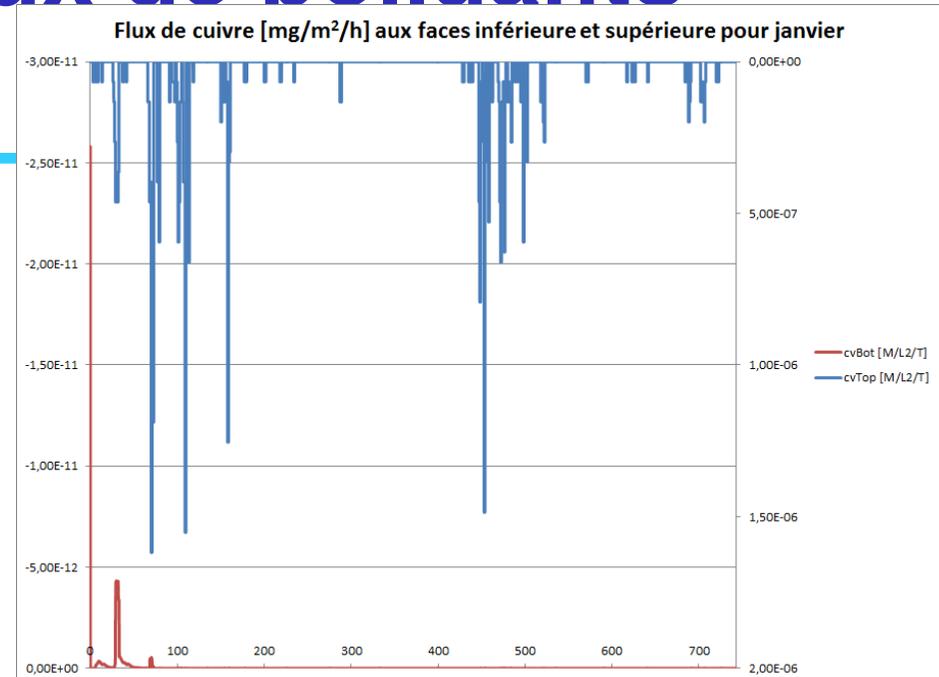
***Relativement bien représentés  
avec différences faibles entre les différents modèles***

# Modélisation des flux de polluants

- Cu : flux entrant moins importants, capacité de sorption plus élevée et cinétique plus rapide

-> *quasiment rien en sortie par rapport à Zn*

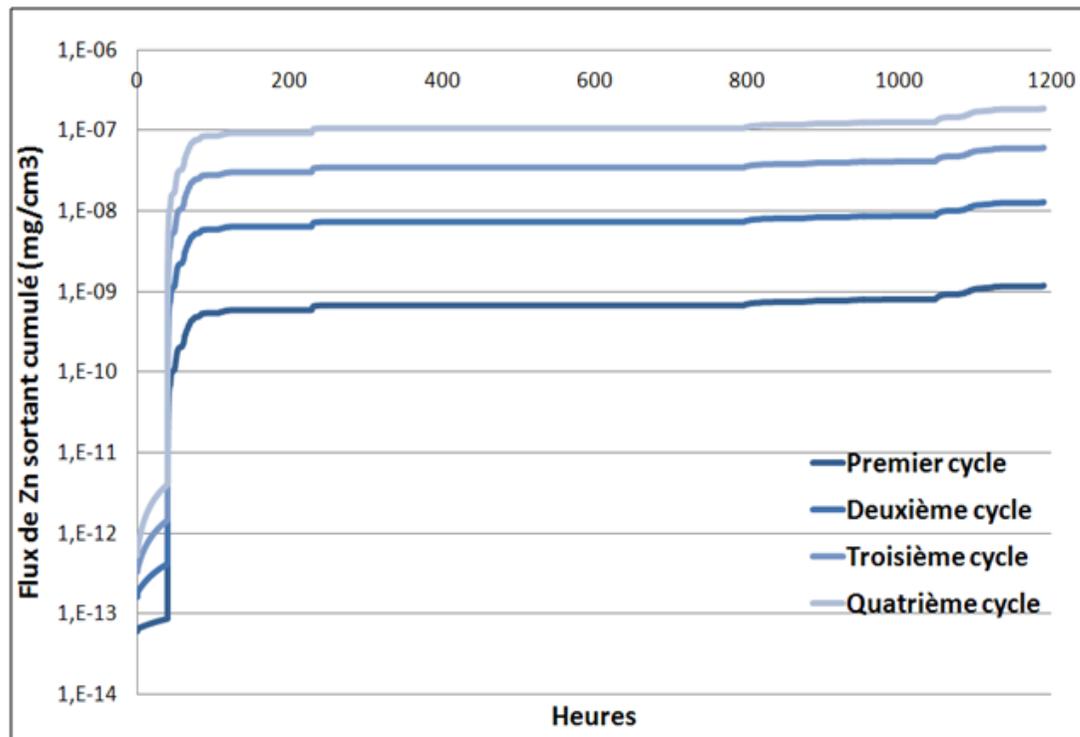
Sur la TV expérimentale, une diminution des flux en sortie par rapport à l'entrée est bien observée mais les flux sortants sont très sous-estimés par le modèle même pour Zn



# Impact des conditions initiales de teneurs en ETM dans les substrats

□ La TV expérimentale a déjà plus d'un an en janvier 2012

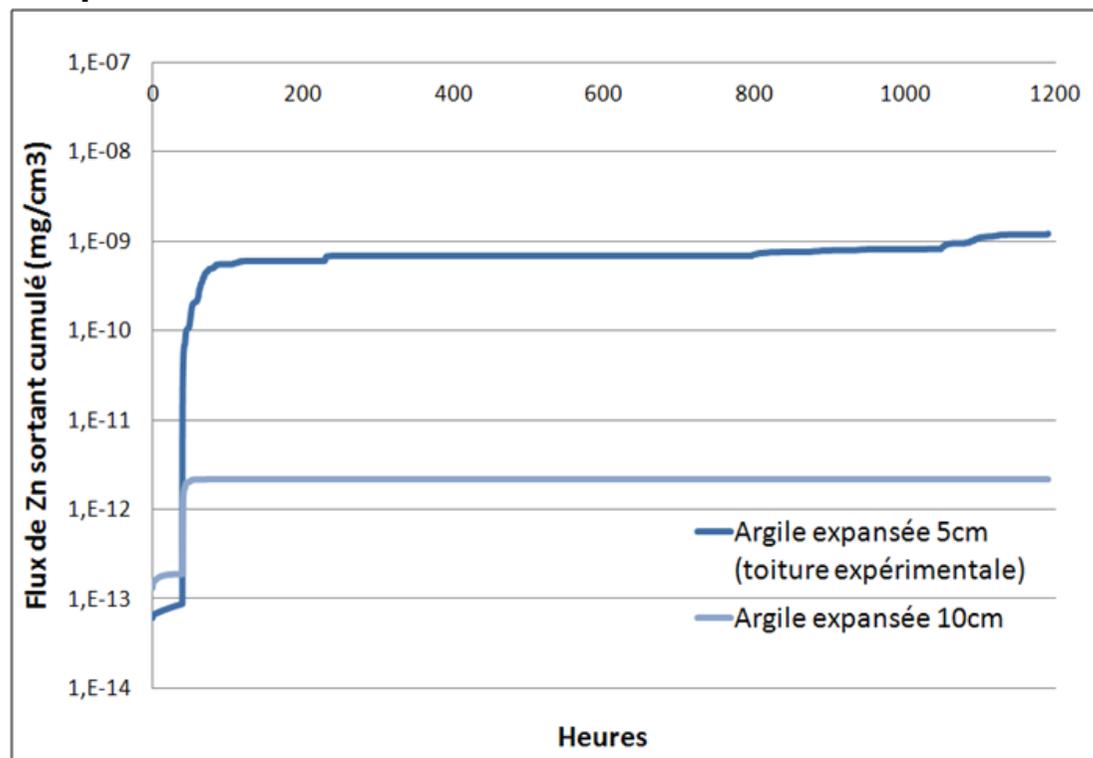
-> du cuivre et du zinc ont donc déjà été sorbés



***Impact visible de la teneur en cuivre et zinc dans le substrat au début du cycle***

# Intérêt pour la conception de TV

- Evaluation de l'impact de l'augmentation de la hauteur d'argile expansée



***Evolution visible avec diminution des flux par un facteur supérieur à 2***

---

# *Conclusions et perspectives*



Photo : CETE de l'Est

# Points d'amélioration

---

## □ Hydrodynamique

- Représentation de l'évapotranspiration des sedums
- Prise en compte des changements d'états de l'eau

## □ Transport réactif

- Modèle de Freundlich-Langmuir et surtout cinétique de 1<sup>er</sup> ordre pas forcément adaptés
- Hypothèse simplificatrice sur les flux entrants constants du fait des données qualité disponible uniquement à un pas de temps mensuel
- Pas de prise en compte du pH

# Perspectives

- ❑ Améliorer les résultats en termes de modélisation hydrodynamique
- ❑ Caler les paramètres physico-chimiques à partir des données en sortie de toiture disponible
- ❑ Evaluer la nature des données « qualité » à fournir pour une utilisation optimale du modèle
- ❑ A terme, pour développer un véritable outil de dimensionnement, nécessité de :
  - Modéliser les transferts de polluants sol-plantes
  - Prendre en compte l'ensemble des caractéristiques physico-chimiques des matériaux et notamment les émissions potentielles de polluants présents initialement dans ces matériaux
  - Elargir la gamme des polluants considérés

# Remerciements

---

Le CETE de l'Est – LRPC de Nancy remercie les partenaires suivant pour leurs contributions à la construction de ses toitures végétalisées expérimentales :

- BATEC Lorraine
- Comptoir du Bâtiment
- Falienor
- Nidaplast
- OH Semence
- Plante&Cité
- Saint Gobain Weber Portugal
- Végétoit

Merci également à la DRI du MEDDTL et au GEMCEA pour leur aide logistique et financière ainsi qu'à Météo France pour la transmission de données pluviométriques.



***Merci pour votre attention***



Photo : CETE de l'Est

