



UNIVERSITÉ DE STRASBOURG



*Syndicat Mixte Recyclage Agricole  
du Haut-Rhin*

## Assemblée générale SOERE PRO : 24 Novembre 2015

Caractérisation de la dynamique hydrique et du transport de solutés de sols nus soumis à des apports de Produits Résiduaire Organiques.  
Application au risque de lixiviation des nitrates.

Directeurs de thèse : Philippe Ackerer et Yves Coquet



## Contexte et objectifs de l'étude

### ❖ Calcosol issu de loess sur alluvions sablo-caillouteuses de la Fecht

LOCALISATION DU PROFIL  
Colmar / Neue Rufacher Huben : X = 971,9 - Y = 2351,9

Mai 2005 - Parcelle en maïs  
Auteurs : JP.PARTY - D. LECLERQ

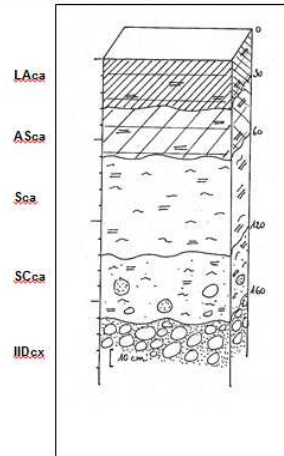


Figure 1a : DESCRIPTION MORPHOLOGIQUE

**Horizon LAcA** (0-30 cm) - Limon faiblement argileux, brun (10 YR 33/34), structure grumeleuse à polyédrique (10 à 30 mm), compact, non friable. Nombreuses racines. Calcaire.

➔ 0-28 cm : 21% argile - 70% limon - 9% sable

**Horizon ASca** (30-60 cm) - Limon, beige (10 YR 44), structure polyédrique subanguleuse (30 à 50 mm), peu compact, non friable. Nombreuses racines. Calcaire.

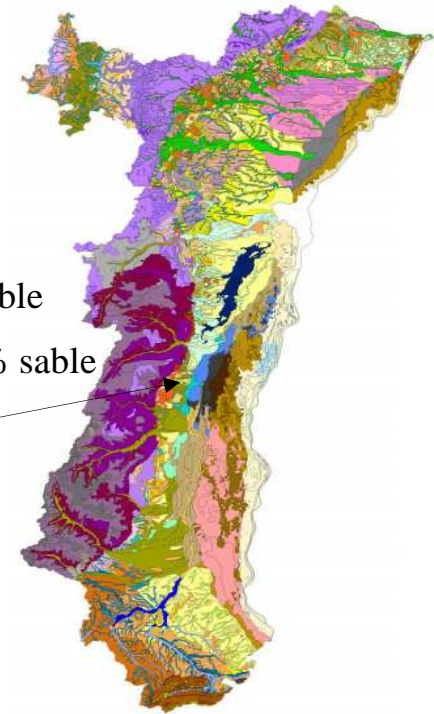
➔ 29-180 cm : 18% argile - 72% limon - 10% sable

**Horizon Sca** (60-120 cm) - Limon, jaunâtre (2,5 Y 56), structure polyédrique (50 à 100 mm), peu compact, peu friable. Peu de racines. Très calcaire, nombreux "pseudomycéliums".

**Horizon SCca** (120-160 cm) - Limon sableux à sable limoneux, jaune verdâtre (2,5 YR 54), structure polyédrique à prismatique, peu compact. Poches de sables grossiers correspondant à l'altération de galets gneissiques (cailloux "fantômes"). Pas de racines. Quelques cailloux (10 à 20%). Très calcaire, nombreux "pseudomycéliums".

**Horizon IDcx** (160-200 cm) - Sable caillouteux des alluvions de la Fecht, grisâtre, structure particulière, peu compact, très friable. Pas de racines. Très nombreux galets (60 à 80%). Non calcaire.

☐ - Sols bruns calcaires limoneux profonds sur loess



### ❖ Développement du recyclage des PRO en agriculture

- ✓ Effet direct : apport d'azote par le PRO
- ✓ Effet indirect : modifications propriétés transport de l'eau et des solutés

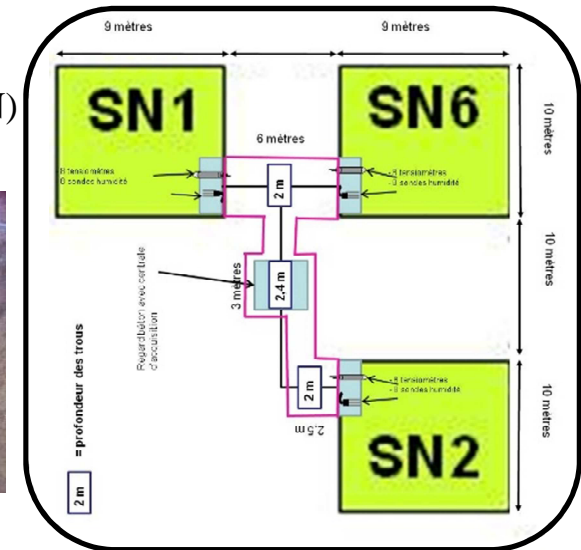
### ❖ Aboutir à une meilleure compréhension de la réponse d'un sol représentatif de la région à :

- ✓ l'apport de PRO
- ✓ la dynamique de lixiviation de solutés
- ✓ la minéralisation de l'azote organique

# Présentation du dispositif expérimental

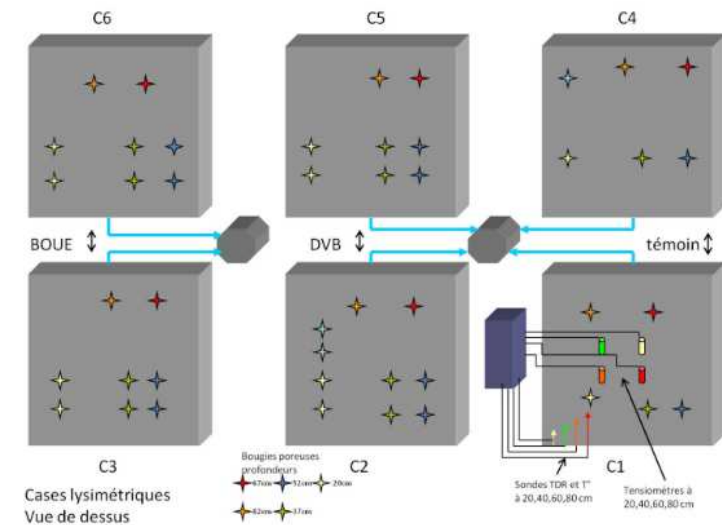
## ❖ Parcelles

- ✓ **Essai principal : 2\*4 blocs – avec et sans complémentation minérale**
  - ➔ 6 traitements étudiés (BIO - BOUE – DVB – FUM – FUMC – TEMOIN)
- ✓ **Dispositif de parcelles sols nus (90 m<sup>2</sup>)**
  - ➔ 2 traitements étudiés (BOUE – DVB) + TEMOIN

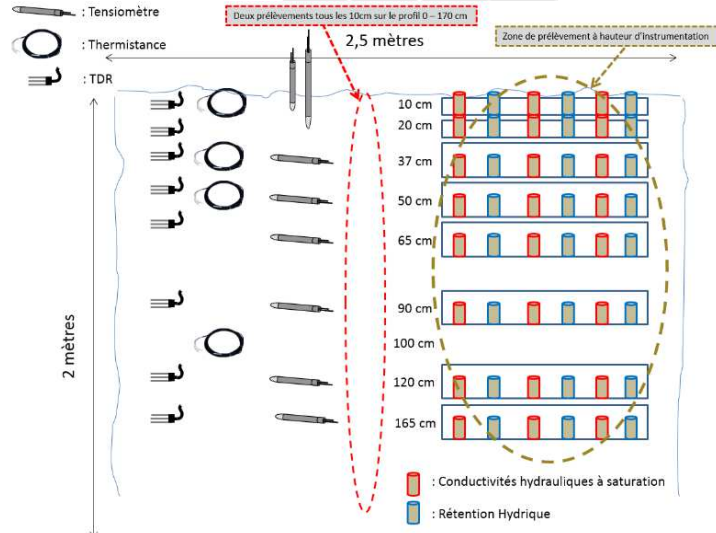


## ❖ Cases lysimétriques

- ✓ **Six cases intégrées au dispositif (4 m<sup>2</sup>)**
  - ➔ Traitements identiques à ceux des sols nus – 2 répétitions
- ✓ **Installation de compteurs de débits**
  - ➔ Suivi précis du débit à 100 mL près
- ✓ **Instrumentation Case 4 avec sondes TDR CS605**
  - ➔ Comparaisons avec Case 1 déjà instrumentée



# Modélisation de l'hydrodynamique des sols nus



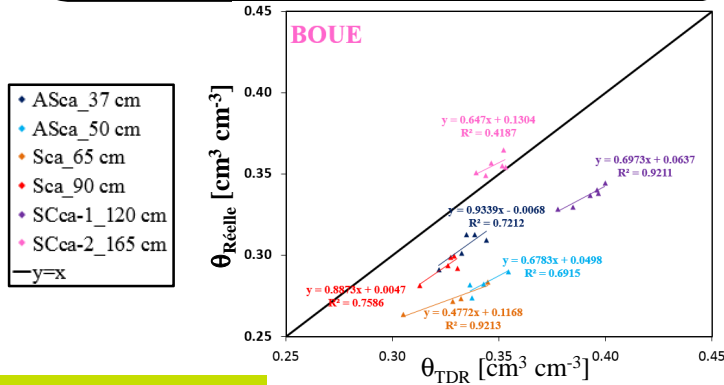
## ❖ Analyses en laboratoire

- ➔ rétention d'eau  $\theta(h)$
- ➔ conductivité hydraulique à saturation ( $K_s$ )

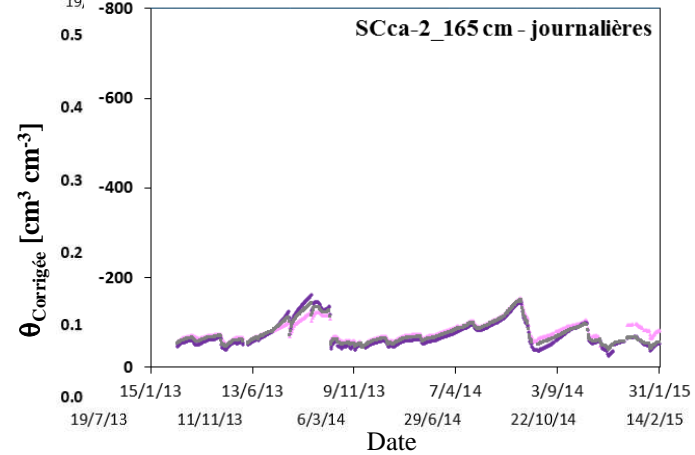
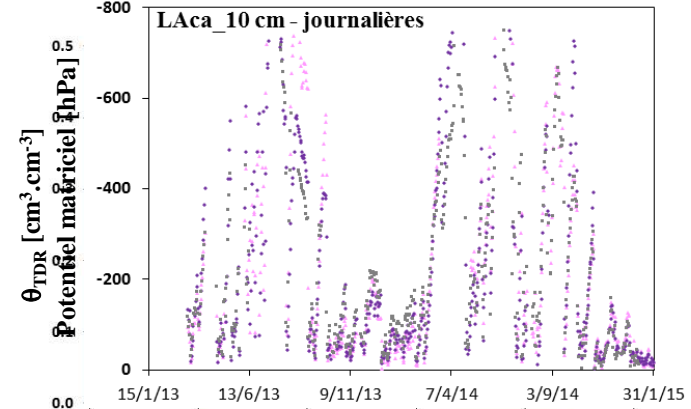


## ❖ Données instrumentales de pressions et teneurs en eau

23/09/2013 - 20/02 ; 17/07 ; 09/10 et 14/11/2014 - 06/01 et 13/02/2015  
Campagnes suivi gravimétrique – Étalonage sondes TDR

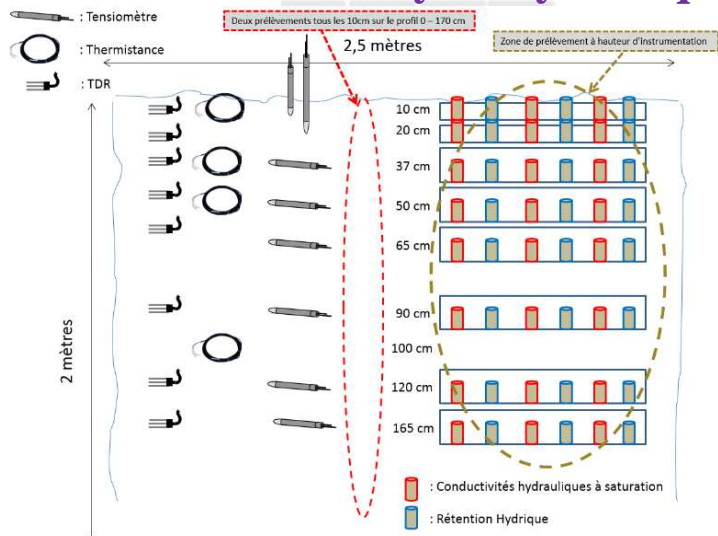


Labour : 10/11/13 Déchaumage : 01/08/14 Labour : 25/11/14



- ◆ BOUE
- ◆ DVB
- ◆ TEMOIN

# Modélisation de l'hydrodynamique des sols nus

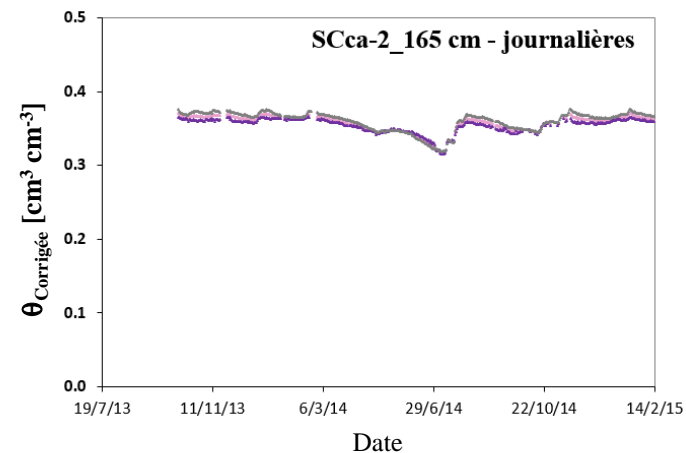
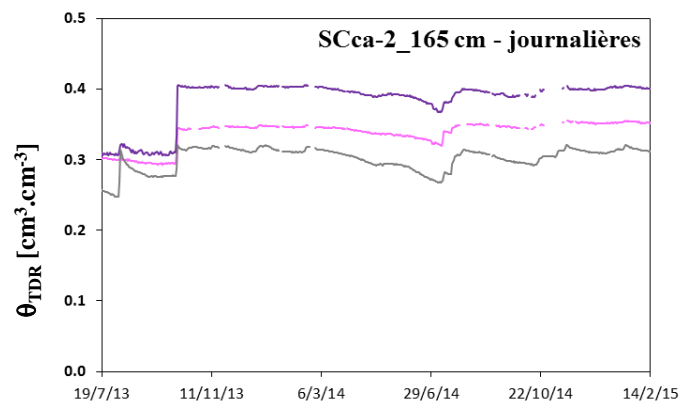
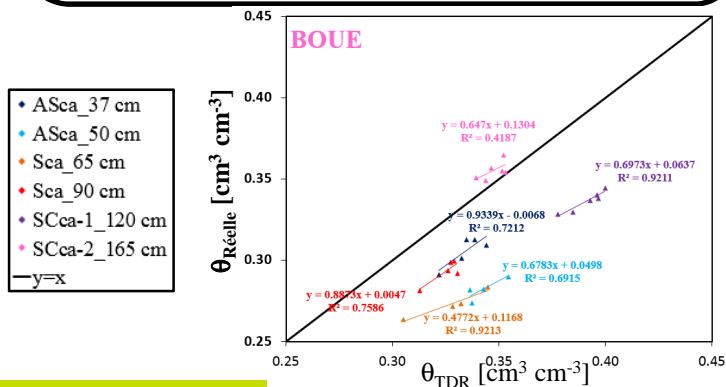


## ❖ Analyses en laboratoire

- ➔ rétention d'eau  $\theta(h)$
- ➔ conductivité hydraulique à saturation ( $K_s$ )

## ❖ Données instrumentales de pressions et teneurs en eau

23/09/2013 - 20/02 ; 17/07 ; 09/10 et 14/11/2014 - 06/01 et 13/02/2015  
Campagnes suivi gravimétrique – Étalonnage sondes TDR



- ◆ BOUE
- ◆ DVB
- ◆ TEMOIN

# Modélisation de l'hydrodynamique des sols nus

## ❖ Travail en modélisation inverse sur HYDRUS-1D

Période : 02/2013 – 02/2015

➡ Condition limite haute : Pluviométrie et  $ET_0$  corrigée selon FAO

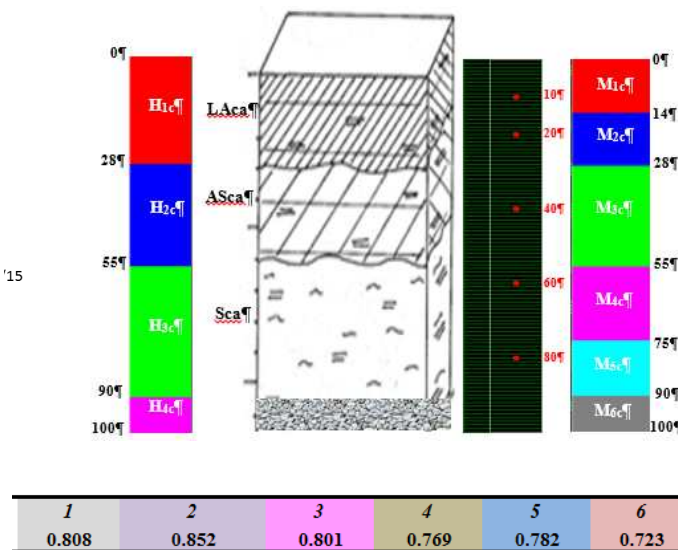
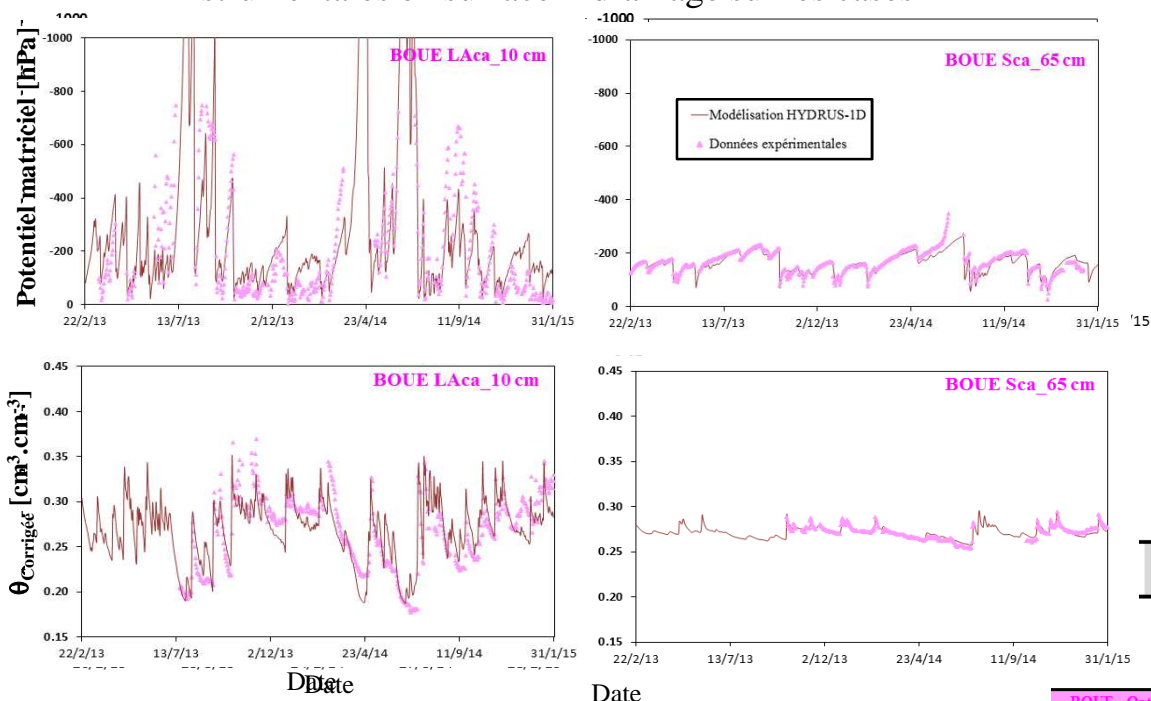
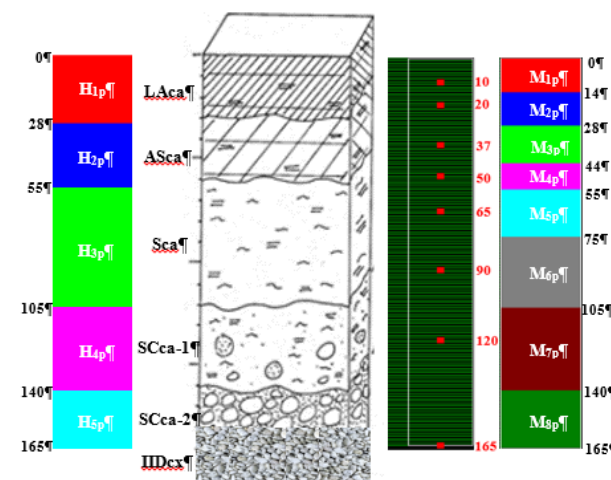
Condition limite basse :

➡ Parcelles : potentiels matriciels à 165 cm

➡ Cases : surface de suintement

## ❖ Simulations satisfaisantes des données :

- ✓ Instrumentales sur les parcelles
- ✓ Instrumentales en surface + drainage sur les cases



## ❖ Coefficients d'efficacité généralement > 0.7

BOUE - Opt. Inverse	LAcA 10	LAcA 20	ASca 37	ASca 50	Sca 65	Sca 90	SCca-1 120	SCca-2 165	Moyenne
Potentiel matriciel	0.484	0.467	0.720	0.781	0.788	0.881	0.872	/	0.713
Teneur en eau	0.653	0.584	0.640	0.709	0.841	0.726	0.674	0.825	0.707

# Modélisation du transport des ions bromures sur les parcelles



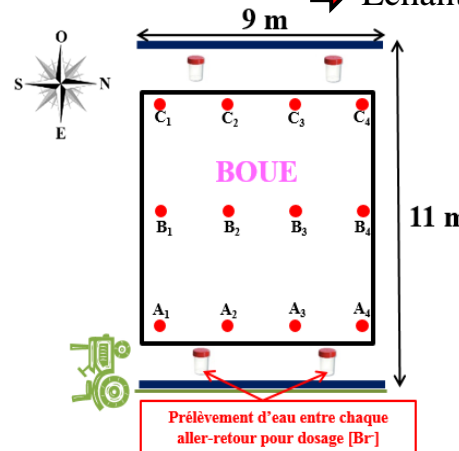
➔ Apport hétérogène - doses ≈ objectif d'apport



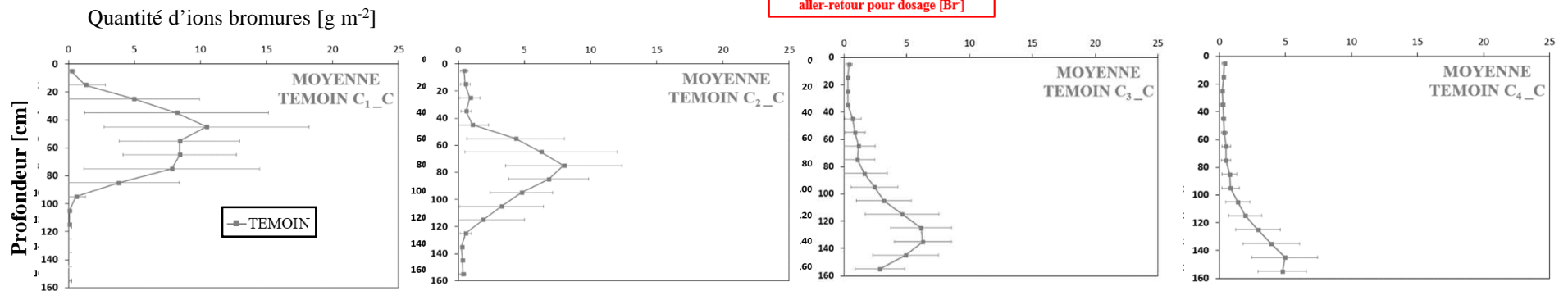
➔ 25 prélèvements en surface  
➔ 6 sous l'horizon travaillé



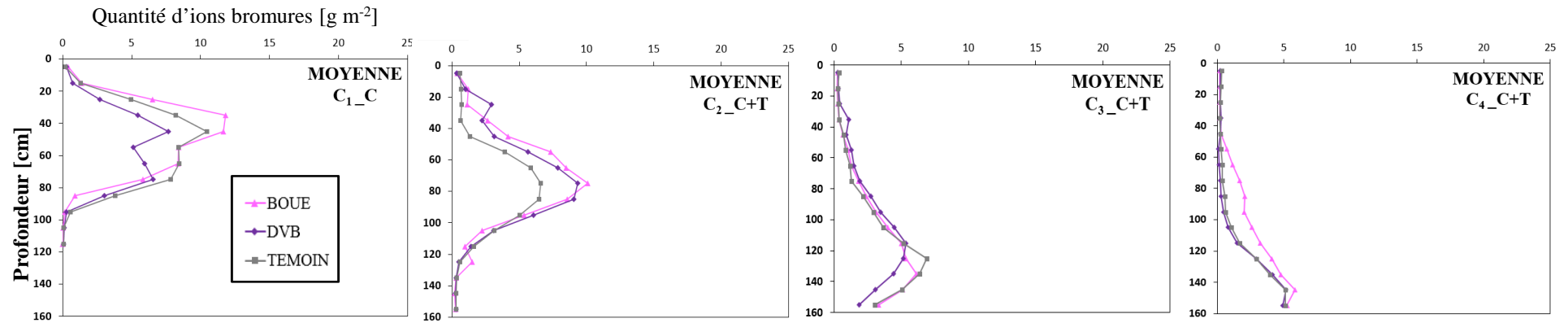
➔ Échantillonnages tous les 10 cm sur 0 - 160 cm



Référence Bassine	BOUE	DVB	TEMOIN
		[g m <sup>-2</sup> ]	
1	43.4 (7.2)	46.5 (4.9)	55 (6)
2	41.3 (6.7)	44.9 (4.5)	48.6 (5.3)
3	47.7 (6.6)	52.2 (8.2)	44.5 (3.1)
4	39.9 (6.6)	38.3 (5.9)	34 (3.1)
<b>Minimum</b>	<b>30.8 (A<sub>4</sub>)</b>	<b>30.6 (A<sub>4</sub>)</b>	<b>29.5 (C<sub>4</sub>)</b>
<b>Maximum</b>	<b>57.5 (B<sub>3</sub>)</b>	<b>64.8 (C<sub>3</sub>)</b>	<b>64.2 (A<sub>1</sub>)</b>
<b>Moyenne</b>	<b>43.1 (7.1)</b>	<b>45.5 (7.6)</b>	<b>45.5 (8.9)</b>
<b>CV [%]</b>	<b>16.6</b>	<b>16.8</b>	<b>19.5</b>
<b>Erreur relative [%]</b>	<b>-13.9</b>	<b>-9.0</b>	<b>-8.9</b>

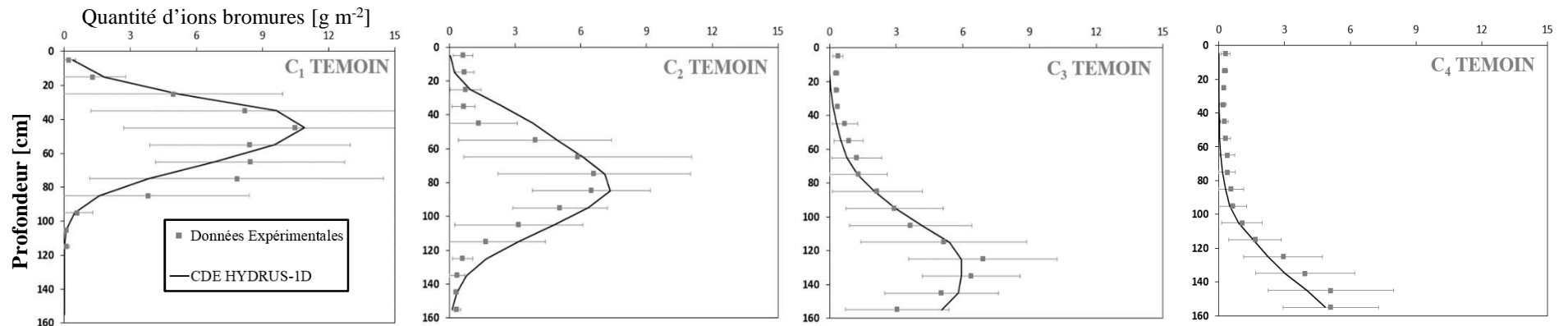


# Modélisation du transport des ions bromures sur les parcelles



## ❖ Modélisation sur HYDRUS-1D à l'aide de l'équation de convection dispersion (CDE)

➔ Apport à hauteur de 50 g m<sup>-2</sup> confirmé sur les trois parcelles



## ❖ Bonne description globale malgré écarts-types élevés

➔ Profondeur du pic

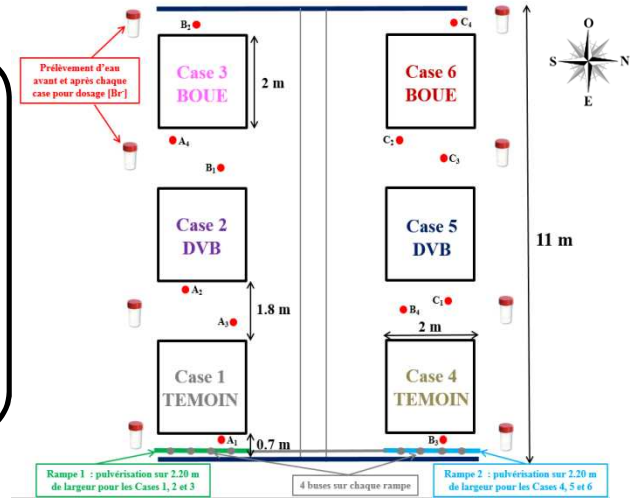
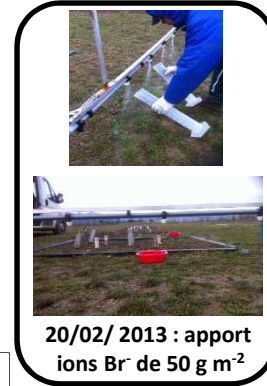
➔ Dynamique générale

Coefficient d'efficience E	BOUE	DVB	TEMOIN
C <sub>1</sub>	0.933	0.531	0.883
C <sub>2</sub>	0.800	0.857	0.767
C <sub>3</sub>	0.928	0.682	0.912
C <sub>4</sub>	0.887	0.946	0.935
<b>Moyenne Campagne</b>	<b>0.887</b>	<b>0.754</b>	<b>0.874</b>

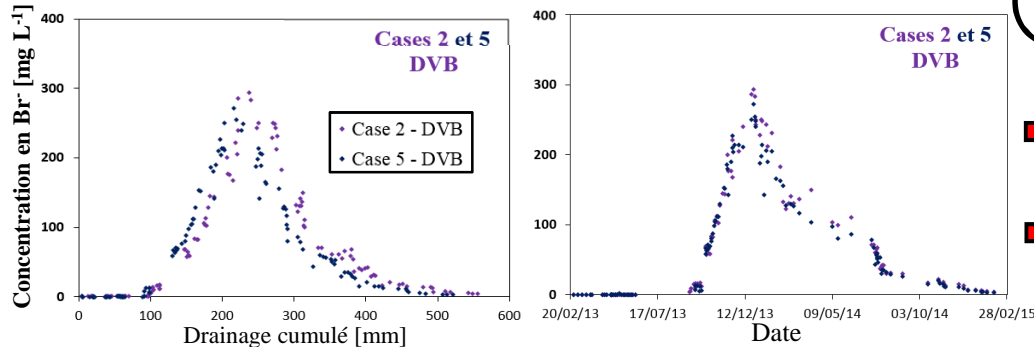


# Modélisation du transport des ions bromures sur les cases

## ❖ Apport de Br<sup>-</sup> à hauteur de 50 g m<sup>-2</sup> le 20/02/2013



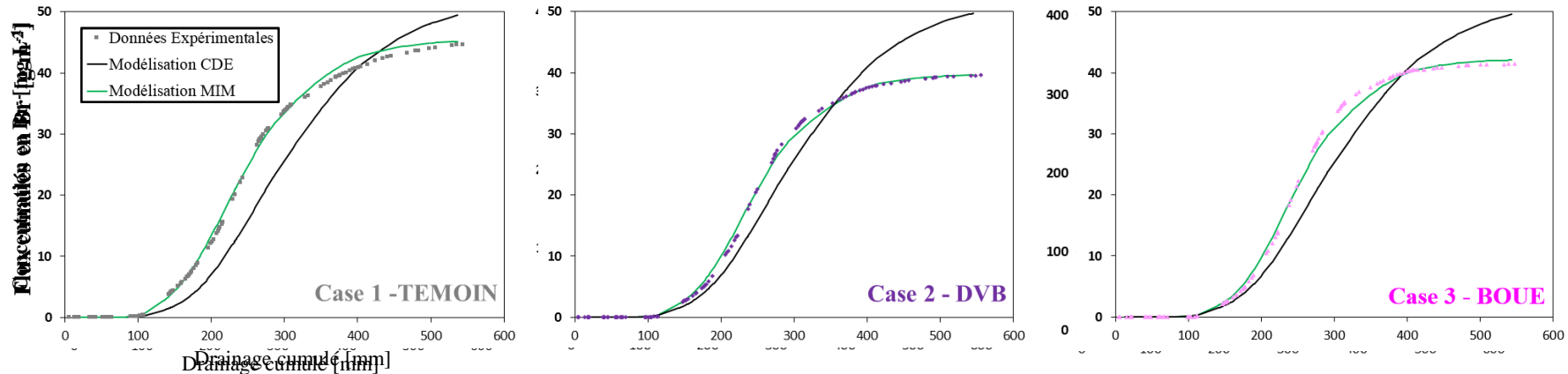
## ❖ Dynamique ≈ selon dates mais ≠ selon drainages



➔ Comportement semblable selon alignement d'E. en O.

➔ Reconstitution des cases 3 par 3 probable (1-2-3 ; 4-5-6)

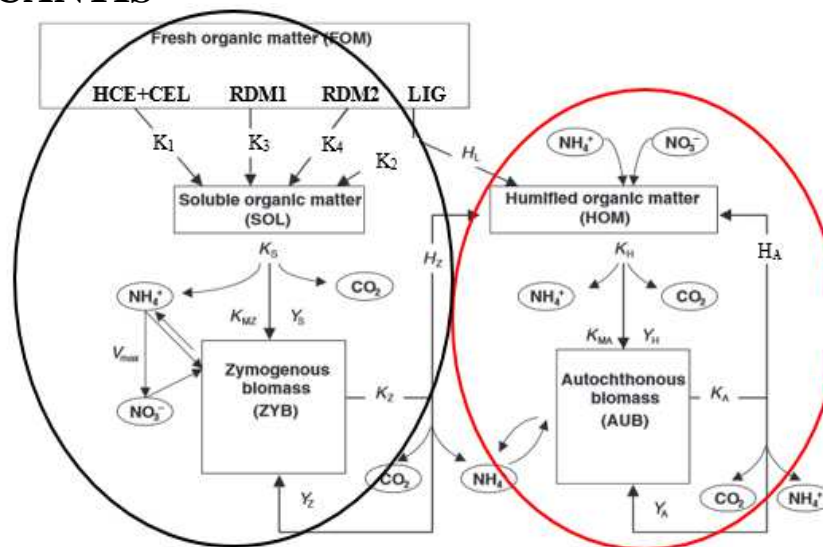
## ❖ Présence d'écoulement préférentiels marqués : simulations peu satisfaisantes avec modèle CDE



## ❖ Modélisation fidèle avec modèle MIM mais transposabilité résultats parcelles / cases limitée

# Modélisation de la minéralisation du carbone et de l'azote organique des PRO

## ❖ Modélisations des cinétiques de minéralisation sur CANTIS



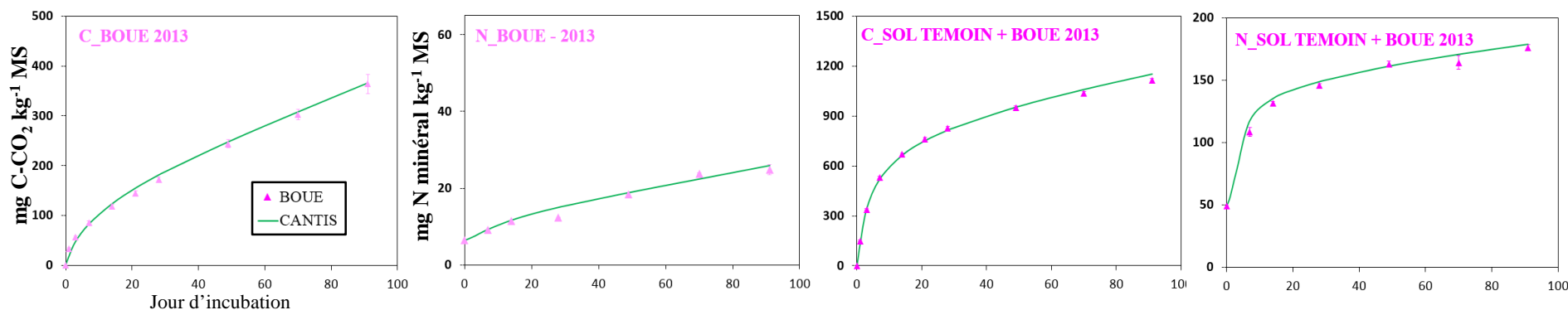
➔ Fractions biochimiques

BOUE 2013	RDM <sub>1</sub>	RDM <sub>2</sub>	HEM+CEL	LIG
C [% COT]	30.2	41.1	21.5	7.2
N [% NOT]	46.2	33.2	14.1	6.5
C/N	4.0	7.6	9.3	6.8
N/C	0.3	0.1	0.1	0.1

➔ Biomasses microbiennes

➔ Incubations C-CO<sub>2</sub> et N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> SOL SEUL et SOL + PRO

## ❖ Paramètres optimisés à partir de la modélisation des incubations SOL SEUL et SOL + PRO

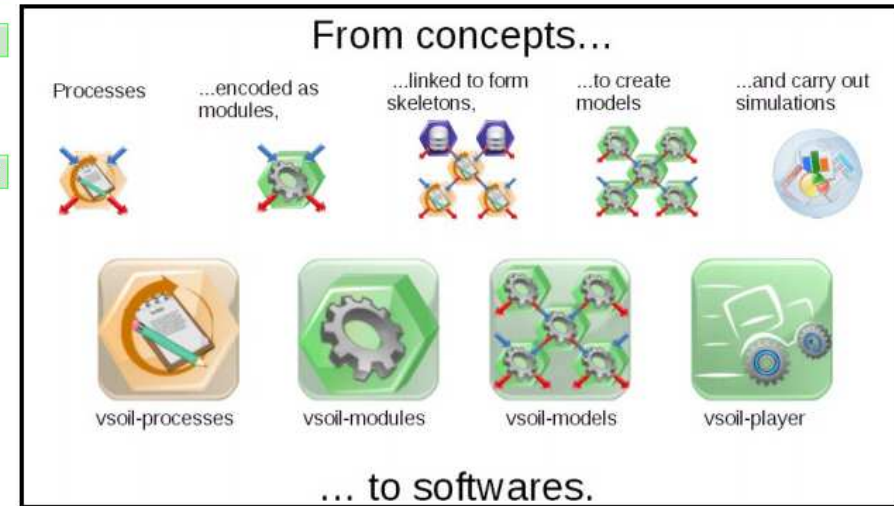
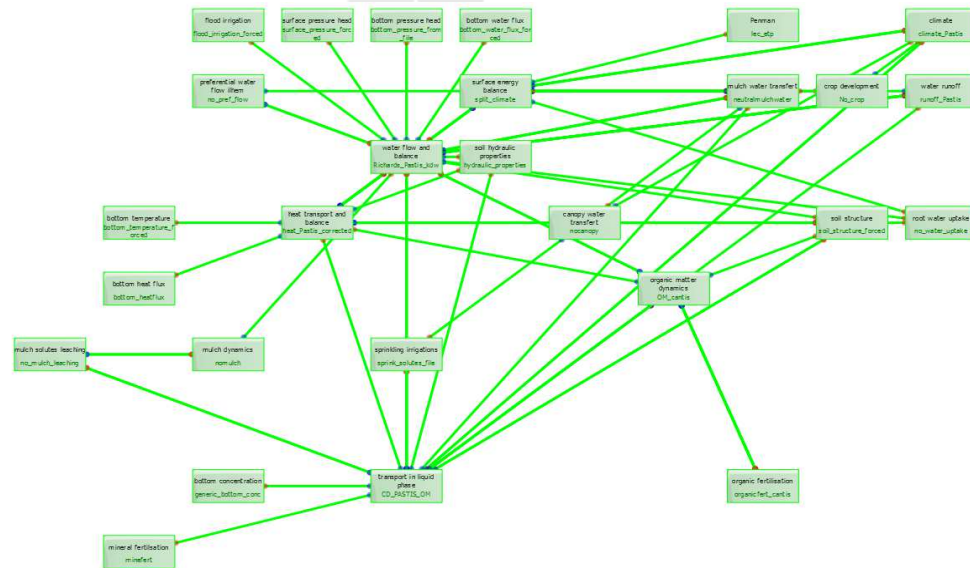


## ❖ Bonne modélisation des cinétiques de minéralisation sur CANTIS E généralement > 0.9

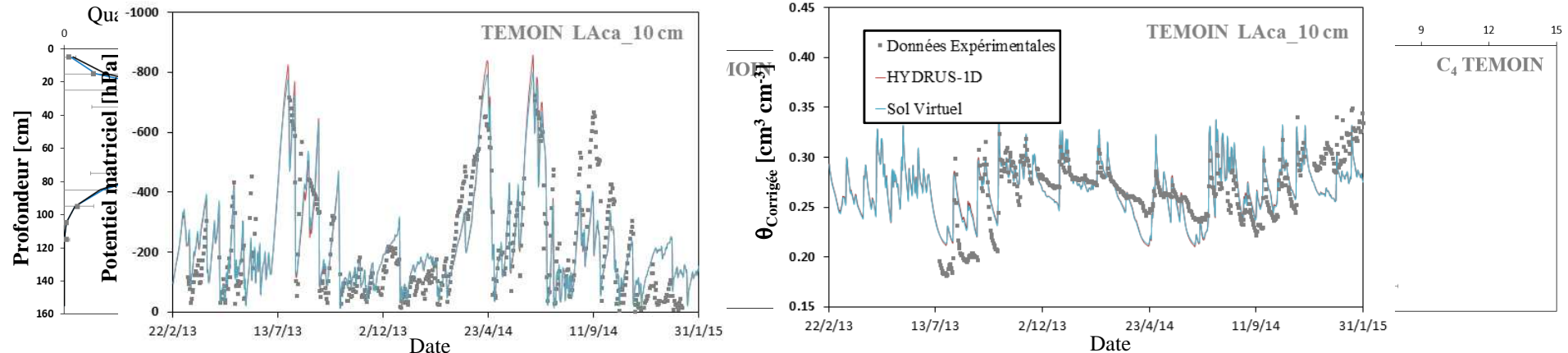
Coefficient d'efficience E	SOL BOUE	SOL DVB	SOL TEMOIN	SOL TEMOIN+N	SOL TEMOIN + PRO BOUE	SOL TEMOIN + PRO DVB
CO <sub>2</sub>	0.995	0.994	0.997	0.986	0.998	0.985
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.965	0.986	0.980	0.907	0.986	0.817

# Modélisation de la dynamique du N minéral

## ❖ Dynamique du N minéral modélisée à travers la Plateforme SOL VIRTUEL



## ❖ Calage l'hydrodynamique et transport des ions Br<sup>-</sup> avec paramètres optimisés sur HYDRUS-1D



➔ Excellente correspondance HYDRUS/SOL VIRTUEL E > 0.99

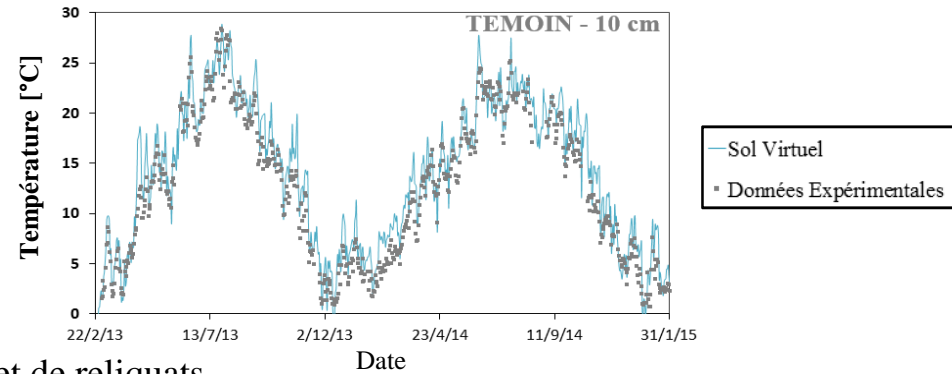
# Modélisation de la dynamique du N minéral

## ❖ Modélisation des données de températures

➔ Description fidèle à 10, 37 et 50 cm : E > 0.9

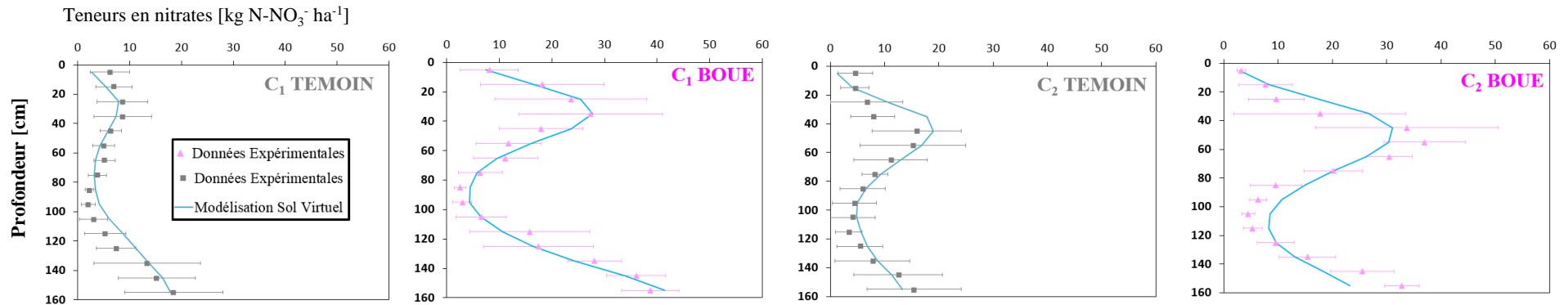
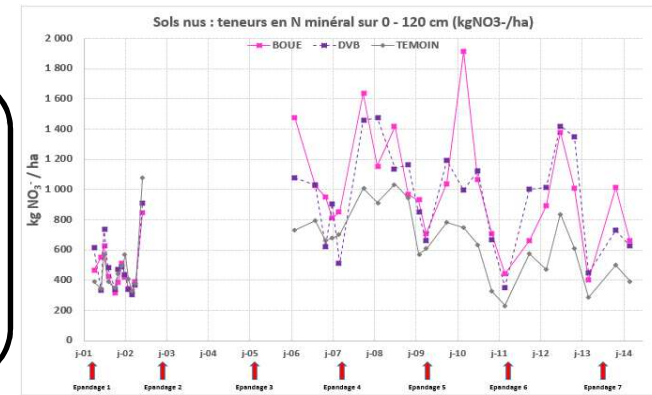
## ❖ Modélisation de la lixiviation des nitrates

➔ Comparaison des résultats aux campagnes de suivi et de reliquats



13/06 et 27/11/2013 – 01/08/2014 – 27/01/2015  
Campagnes de suivi Br<sup>-</sup> / NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

24/10 et 16/12/2014 :  
Campagnes suivi NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – Modélisation apport 2014



➔ Bonne modélisation globale de la dynamique des nitrates sur parcelles en sol nu