

# Rôle des essais de traçage dans l'étude hydrogéologique d'un système rivière - aquifère: Flémalle *test site* (Belgique)

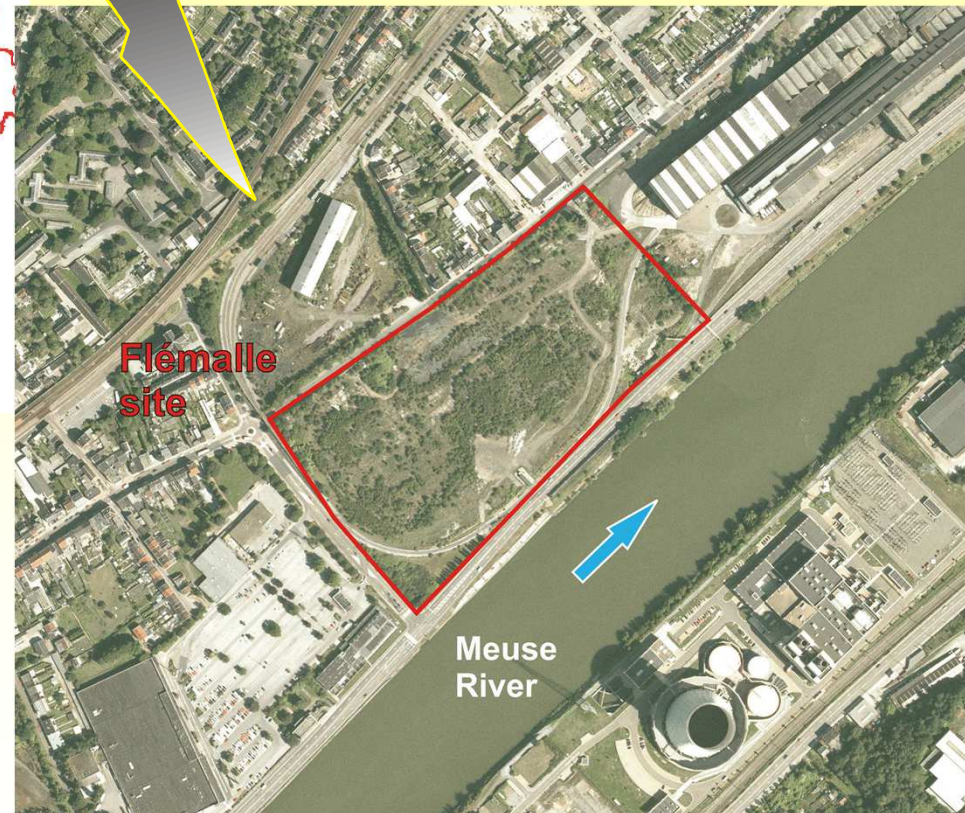
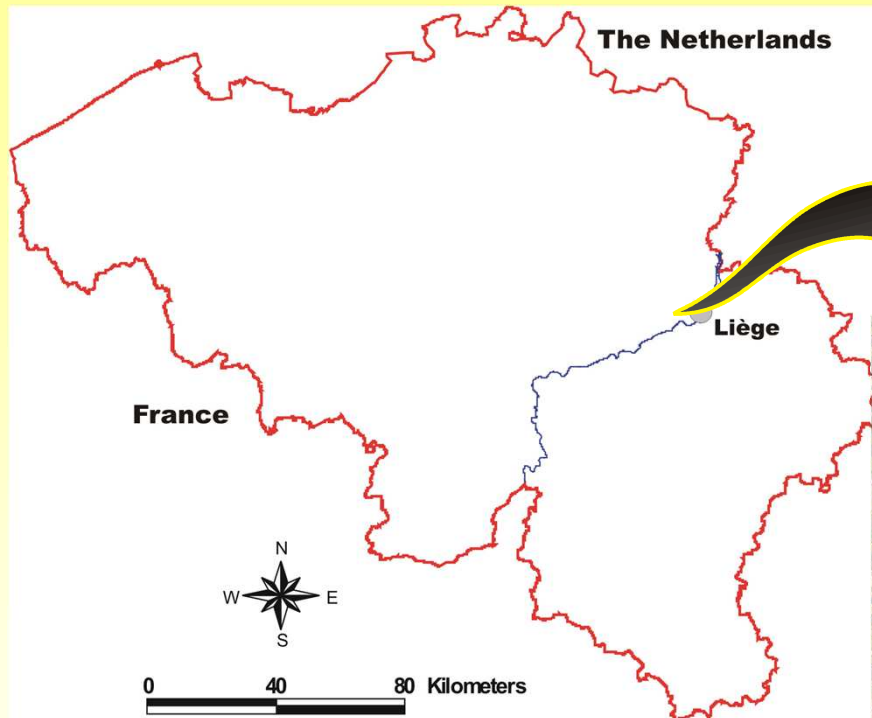
Unité d'Hydrogéologie  
Université de Liège  
BELGIQUE

Ir. Jordi BATLLE AGUILAR  
Doctorant  
[jbatlle@ulg.ac.be](mailto:jbatlle@ulg.ac.be)

---

Dr. Ir. Serge BROUYÈRE  
Directeur de thèse  
[Serge.Brouyere@ulg.ac.be](mailto:Serge.Brouyere@ulg.ac.be)

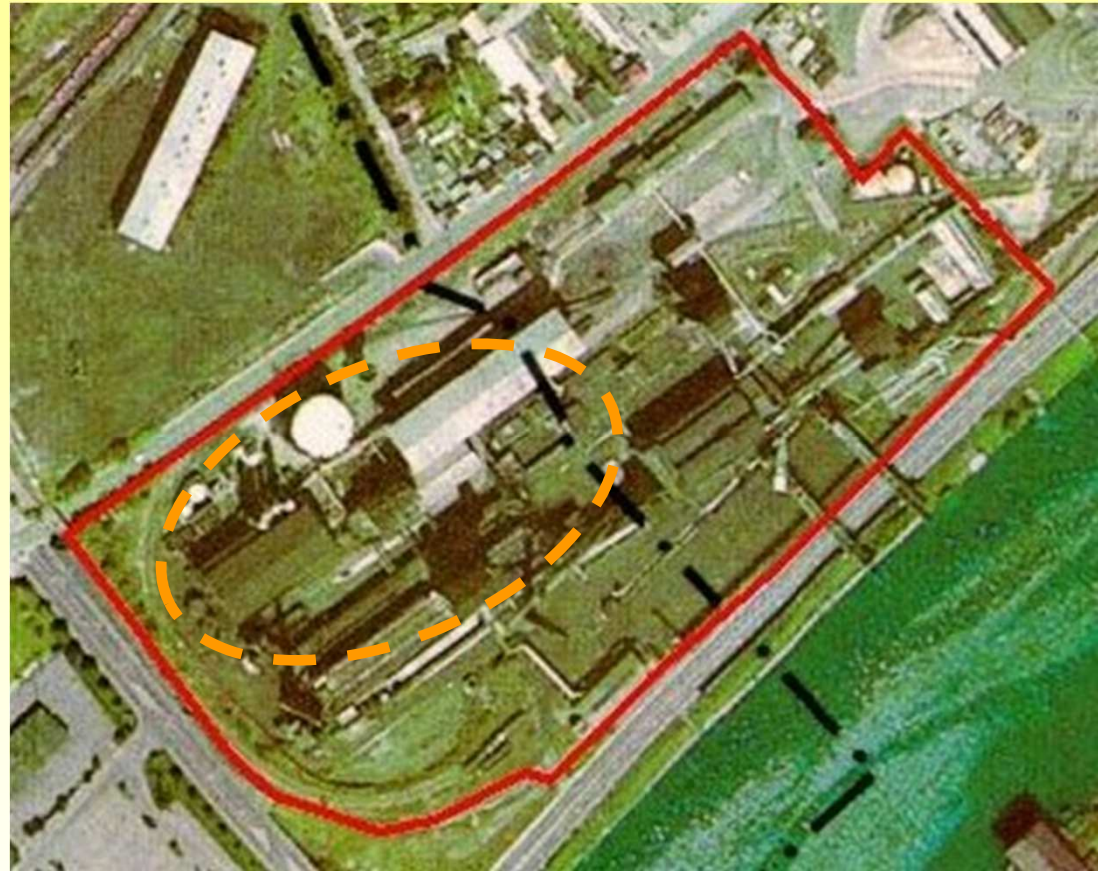
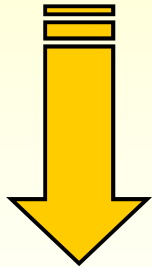
# 1. Localisation



- En amont de la ville de Liège,
- rive gauche,
- 30 m de la Meuse,
- zone urbaine – industrielle.

## 2. Historique du site

- Activités industrielles commencées en 1922,
- usine à production de coke pendant 62 ans,
- arrêtée en 1984.



- forte contamination dans les sols et dans la nappe aquifère,
- HAPs, BTEX, huiles minérales, cyanures, sulfates et métaux lourds,
- localisation des contaminants en fonction des différentes installations industrielles.

### 3. Études préalables

- Depuis 1992, il y a eu 6 études de caractérisation du site,
- dernière étude en mars - avril 2005.



- nombreux puits et piézomètres sont toujours sur place et en bon état,
- 41 piézomètres superficiels (~ 8 m de profondeur),
- 44 piézomètres profonds (~ 14 m de profondeur).

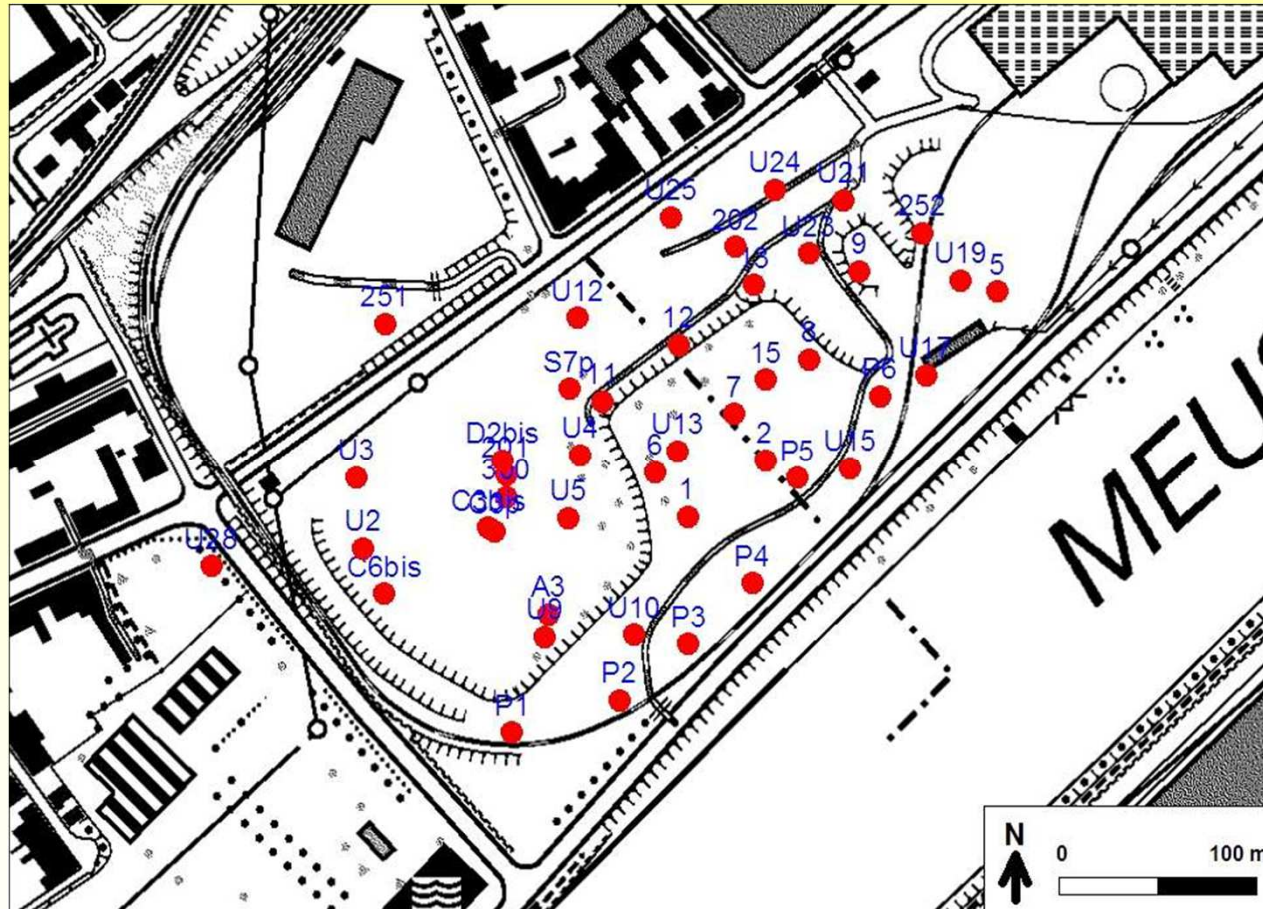


...pourtant...

- Absence d'un suivi piézométrique au cours du temps,
- méconnaissance de la direction d'écoulement de la nappe, du gradient...
- absence de tests hydrogéologiques (notamment essais de pompage),
- méconnaissance de l'ordre de grandeur de K, T et S.

## 4. Équipement hydrogéologique

Localisation des 44 puits et piézomètres profonds

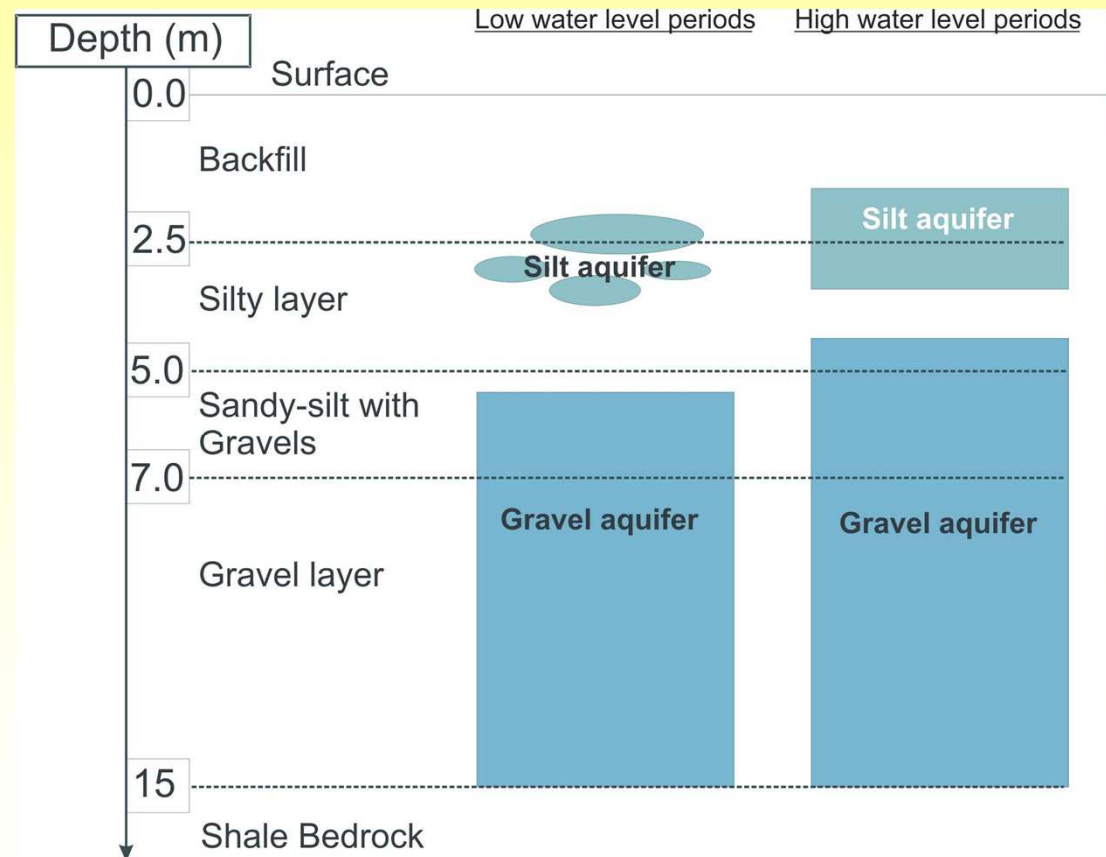


A tenir en compte lors de la planification des essais de terrain: 3 diamètres différents parmi les 44 puits (5, 10 et 15 cm)

## 5. L'aquifère alluvial

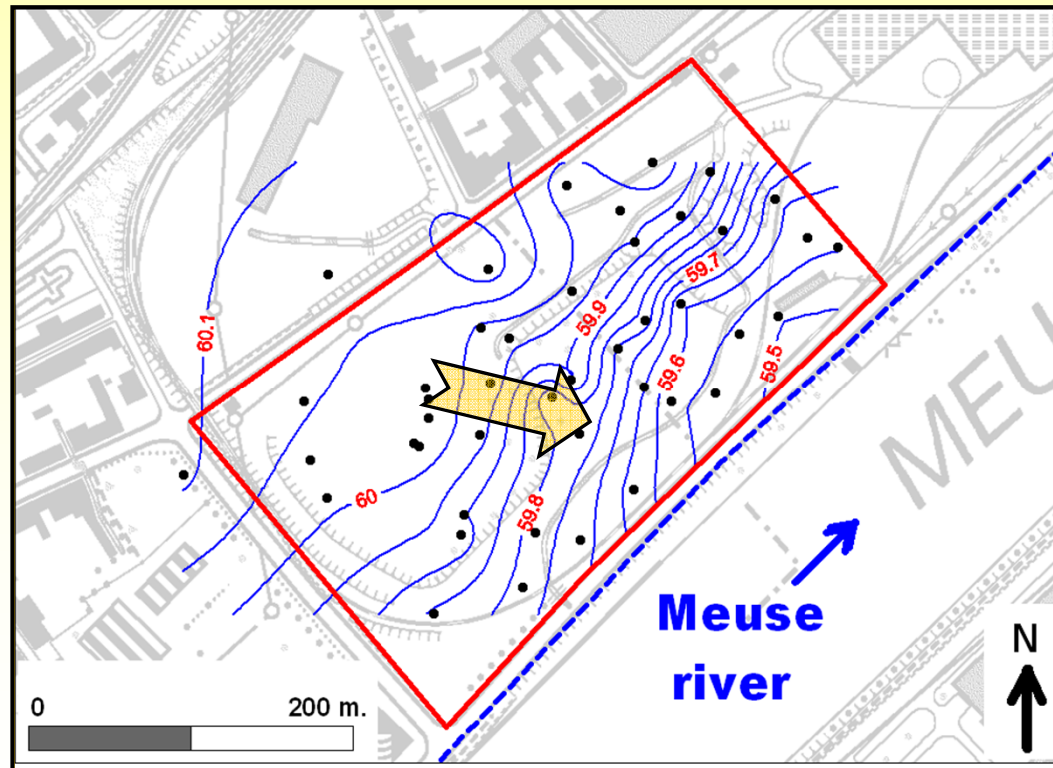
Dans les grandes lignes, la géologie du site, de haut en bas, et formée par:

- 0 – 2.5 m, remblais de différentes origines (briques, cendres...),
- 2.5 – 5.0 m couche sableuse – limoneuse,
- 5.0 - 7.0 m couche sableuse – graveleuse,
- 7.0 – 15.0 m graviers alluviaux,
- > 15.0 m schiste carbonifère bedrock.



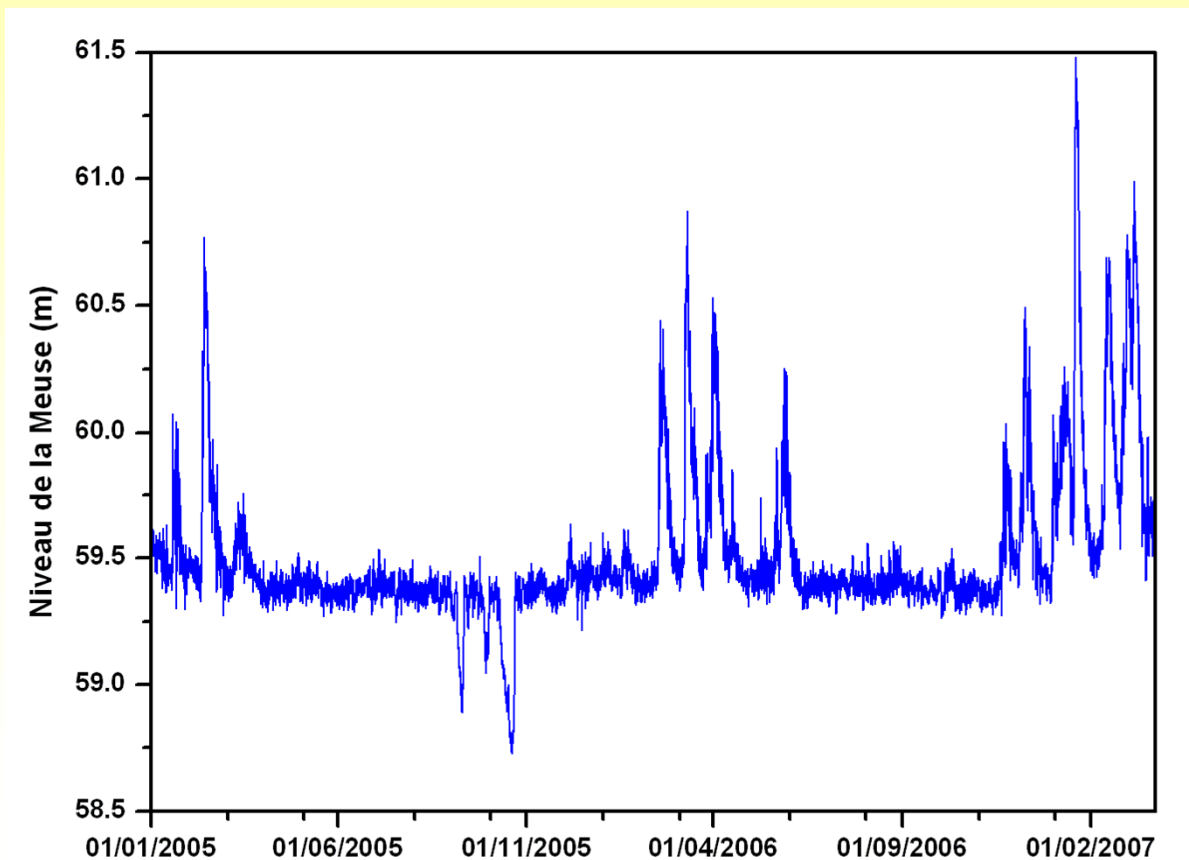
## 6. Suivi piézométrique

- 14 campagnes de mesures piézométriques depuis février 2005,
- la dernière a eu lieu en décembre 2006,
- direction d'écoulement NW-SE, vers la Meuse,
- faible gradient hydraulique ( $\sim 2\text{‰}$ ).



## 7. Monitoring en continue (I). Meuse et aquifère

- La Meuse est suivi avec un pas de temps horaire par une centrale TGV (Turbine Gaz-Vapeur) électrique,
- niveau, débit et température,
- début 2005.



## 7. Monitoring en continue (II). Meuse et aquifère

---

Depuis juin 2005, le niveau de la nappe est contrôlé aussi avec un pas de temps d'1 heure en plusieurs puits, à l'aide de sondes pressiométriques automatiques (Minitroll®) .

Le critère de sélection des puits à contrôler se fait principalement en fonction de:

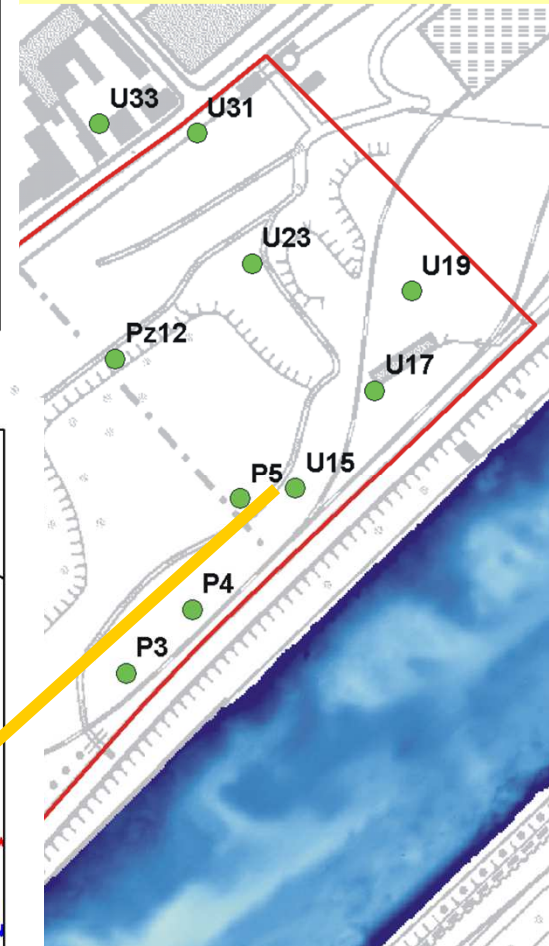
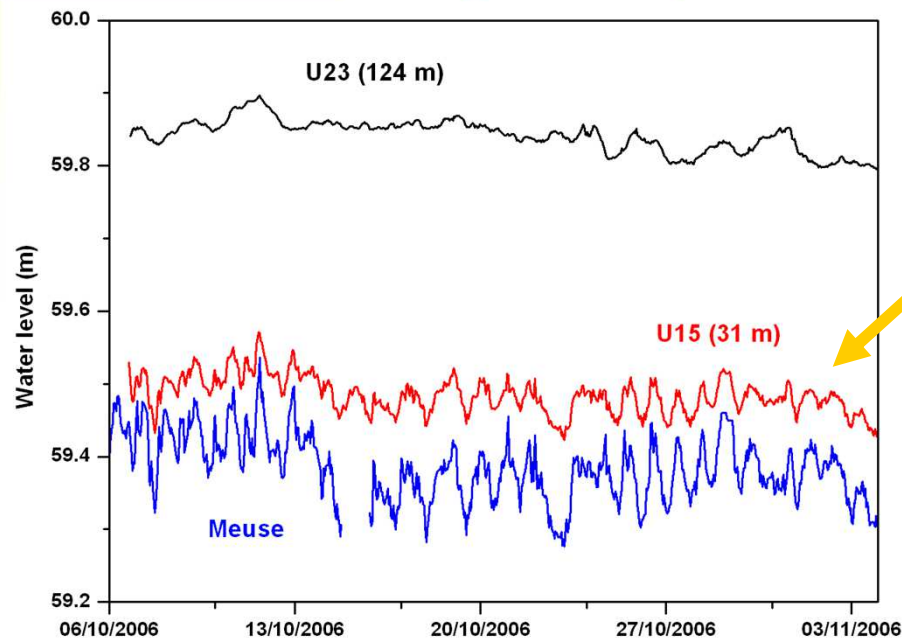
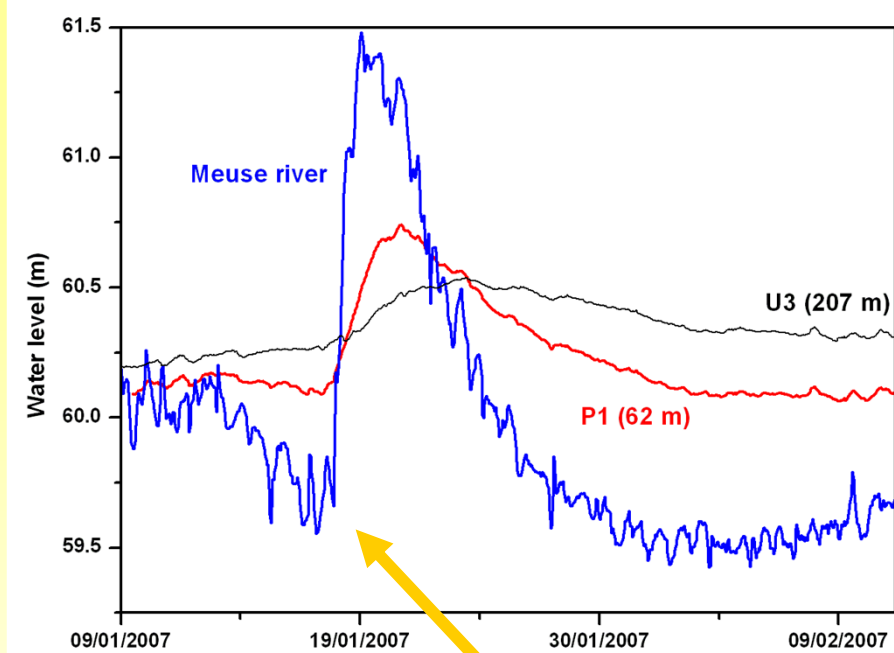
- distance du puits à la Meuse,
- obtenir une distribution spatiale telle qui couvre tout le site.



**Sonde piézométrique automatique (Minitroll®)**

## 7. Monitoring en continu (III). Meuse et aquifère

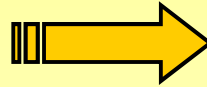
des Minitroll® jusqu'à présent.



## 8. Essais de traçage (I). Radial convergent

2 méthodes différentes mise en oeuvre

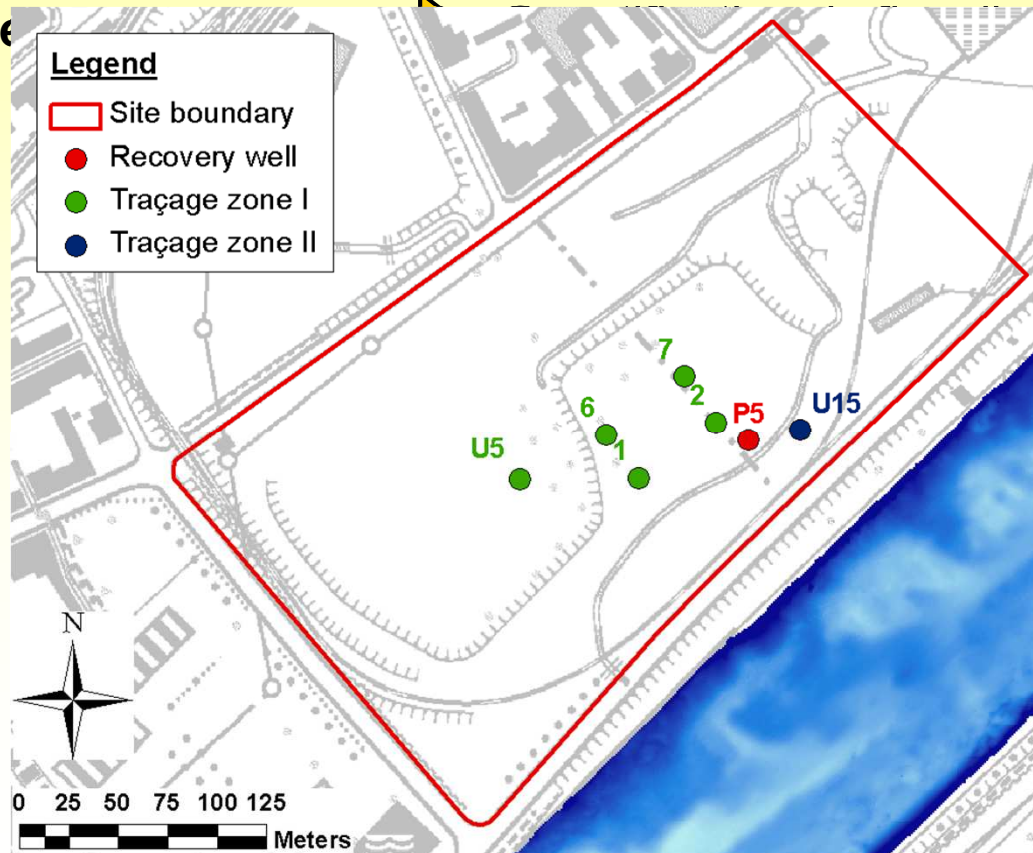
### 1. Radial convergent



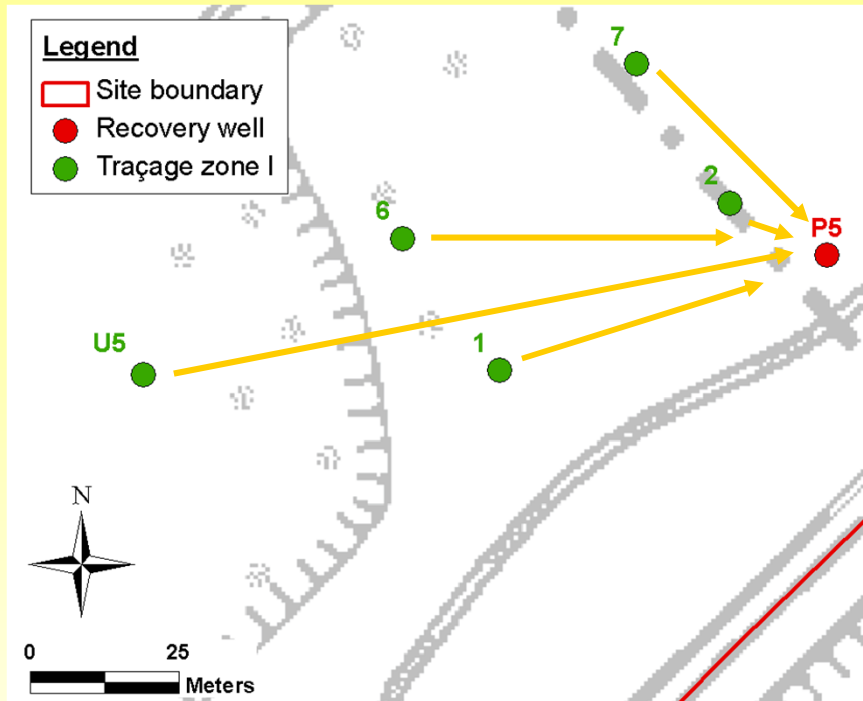
Identification et quantification des processus de transport et piégeage de substances (2 phases)

### 2. Puits unique

au souterraine au



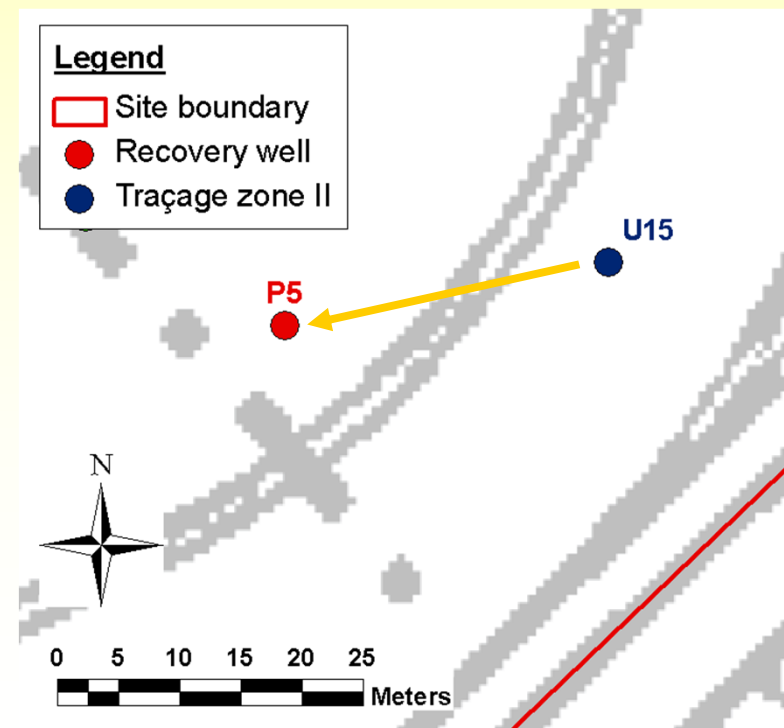
## 8. Essais de traçage (II). Radial convergent



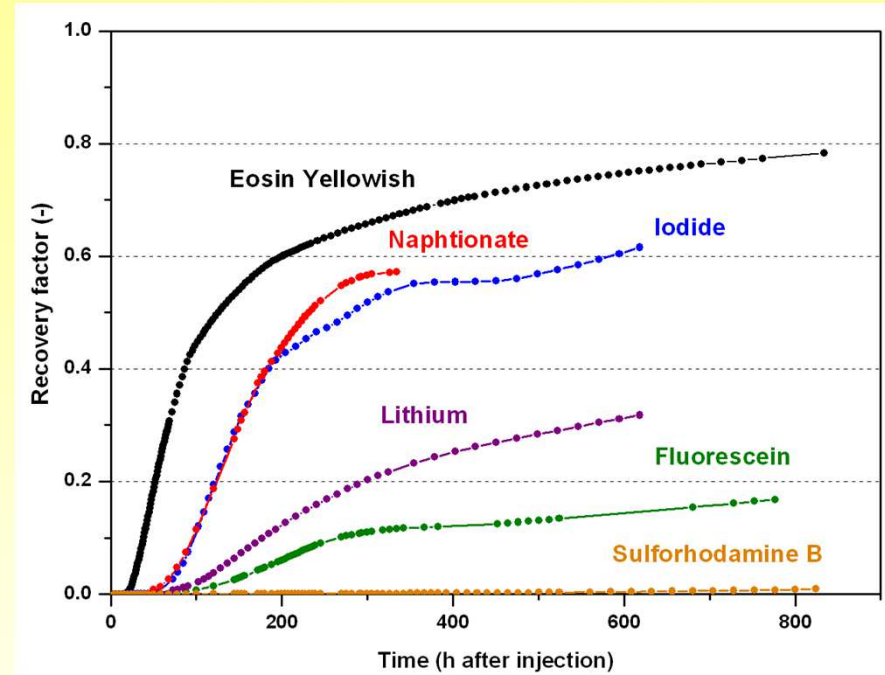
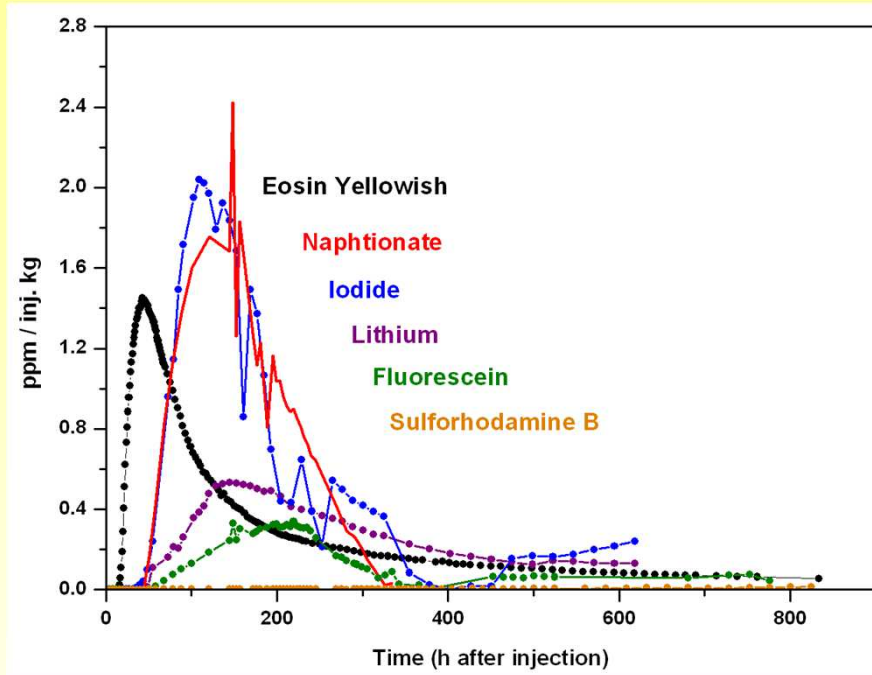
Piézo 1:  $\text{Li}^+$  (1.39 kg)  
Piézo 2:  $\text{NO}_3^-$  (12.16 kg) + sulpho B (0.10 kg)  
Piézo 6:  $\text{I}^-$  (3.28 kg)  
Piézo 7: Naphtionate (1 kg)  
Piézo U5: Fluorescein (0.2 kg)


### Piézo U15

Eosin Yellowish (1 kg)  
Naphtionate (0.01 kg)  
Sulpho B (0.01 kg)  
Fluorescein (0.01 kg)  
 $\text{Li}^+$  (0.6 kg)  
 $\text{I}^-$  (0.76 kg)



## 8. Essais de traçage (III). Radial convergent



Résultats Eosin Yellowish diffère fortement de autres  pompage plus élevé.

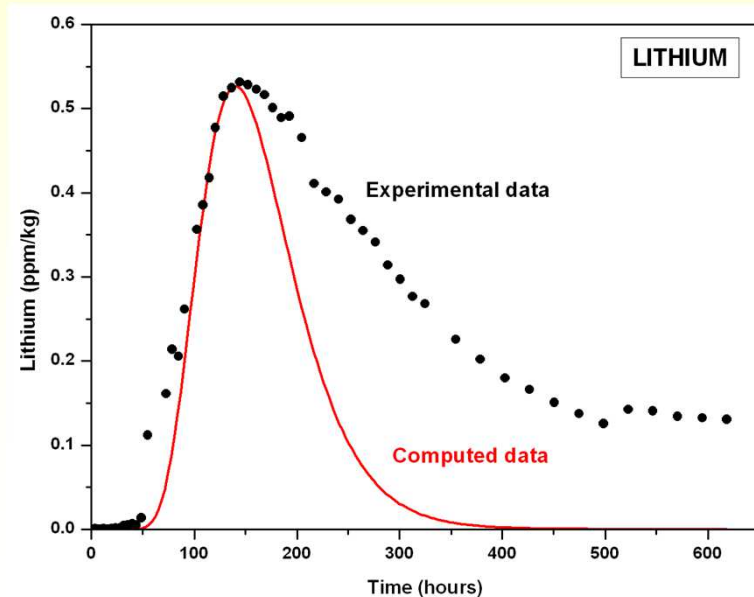
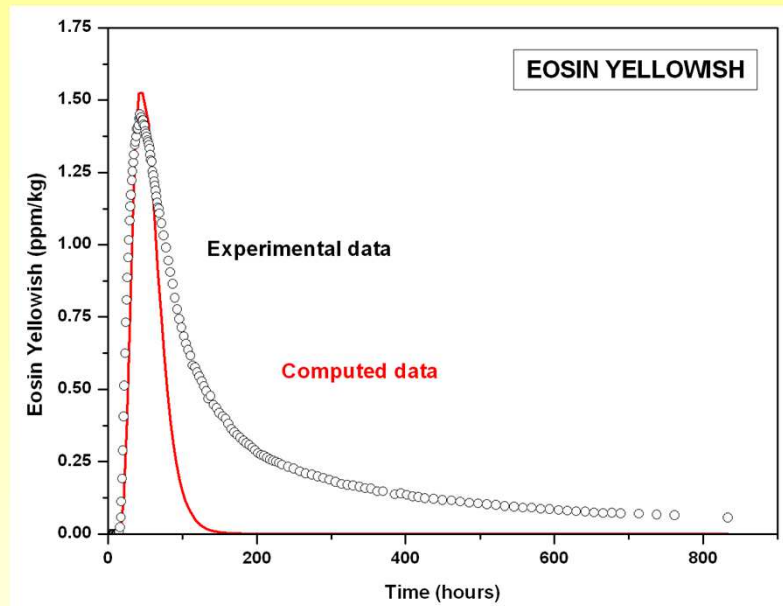
Pour la reste des traçages:

Premières arrivées, temps modal et taux de restitution variables



Différences physico-chimiques des traceurs

## 8. Essais de traçage (IV). Radial convergent



### CATTI (Sauty *et al.*, 1992)

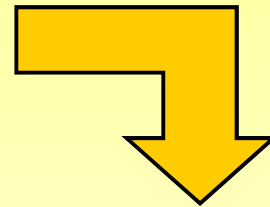
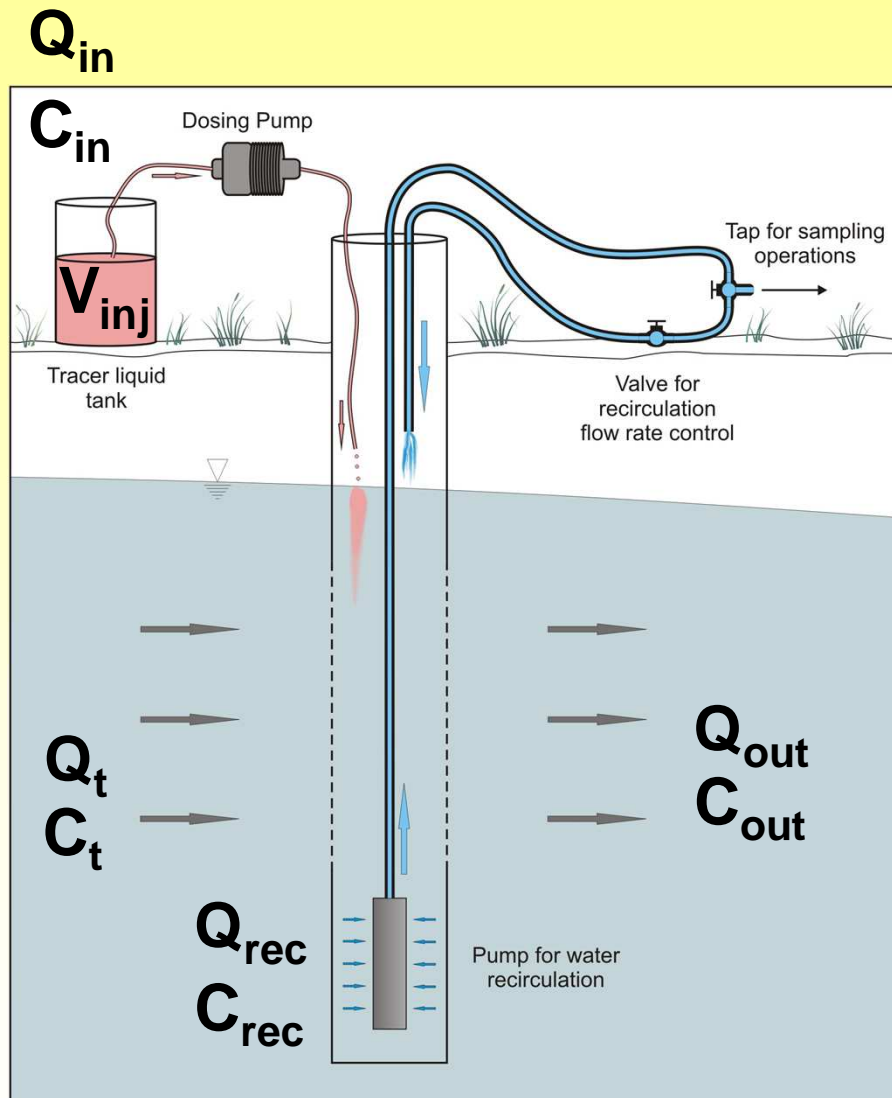
Ajustement de la première arrivée et du temps modal des courbes, en utilisant la porosité effective et la dispersion longitudinale.

Ce logiciel ne tiens pas compte des effets de retard complexes (physico-chimiques).

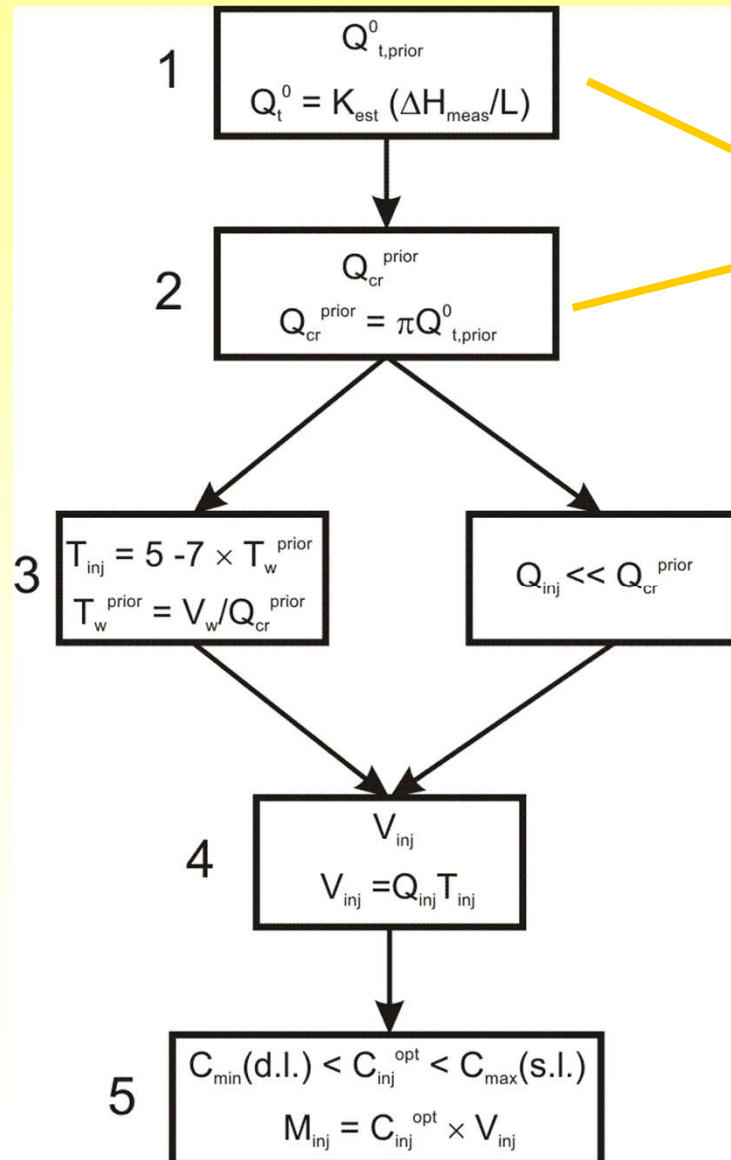
Porosité effective ( $\theta_m$ ): 1.5 – 2.9 %

Dispersivité longitudinale ( $\alpha_L$ ): 1.4 - 3.4 m.

## 9. Essais de traçage (I). Puits unique (FVPDM)



## 9. Essais de traçage (II). Puits unique (FVPDM)

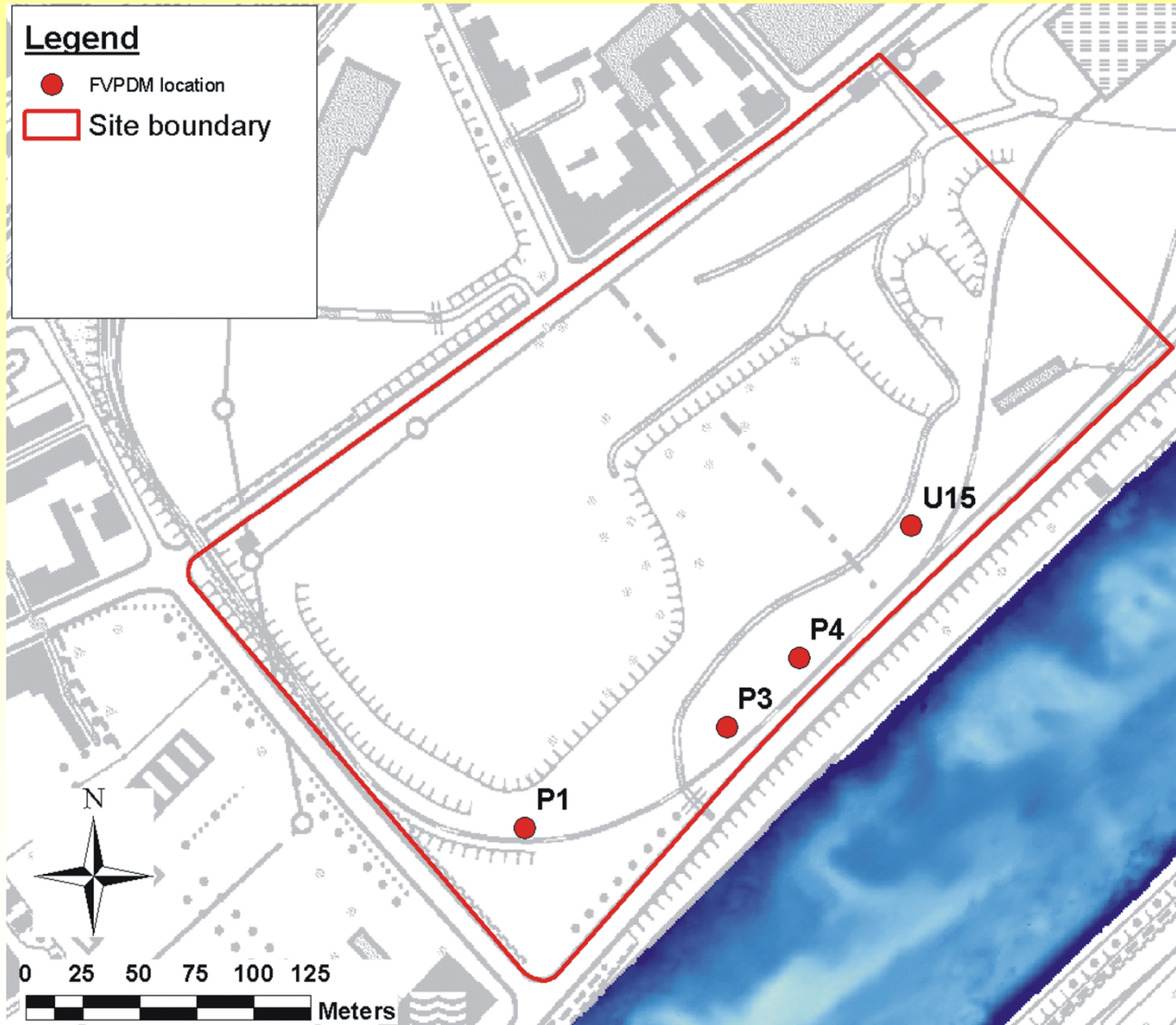


$$Q_{cr} = 2\pi e_{scr} r_w v_{ap} = 2\pi e_{scr} \alpha_w |v_D|$$



$$C_w(t) = \frac{Q_{in} C_{in} - (Q_{in} C_{in} - Q_{out} C_{w,0}) \exp\left(-\frac{Q_{out}}{V_w} (t - t_0)\right)}{Q_{out}}$$

## 9. Essais de traçage (III). Puits unique (FVPDM)



### Traceurs

**U15.** Br<sup>-</sup> (2.7 kg)

**P4.** I<sup>-</sup> (2.77 kg)

**P3.**

Sulforhodamine B (0.05 g)

**P1.**

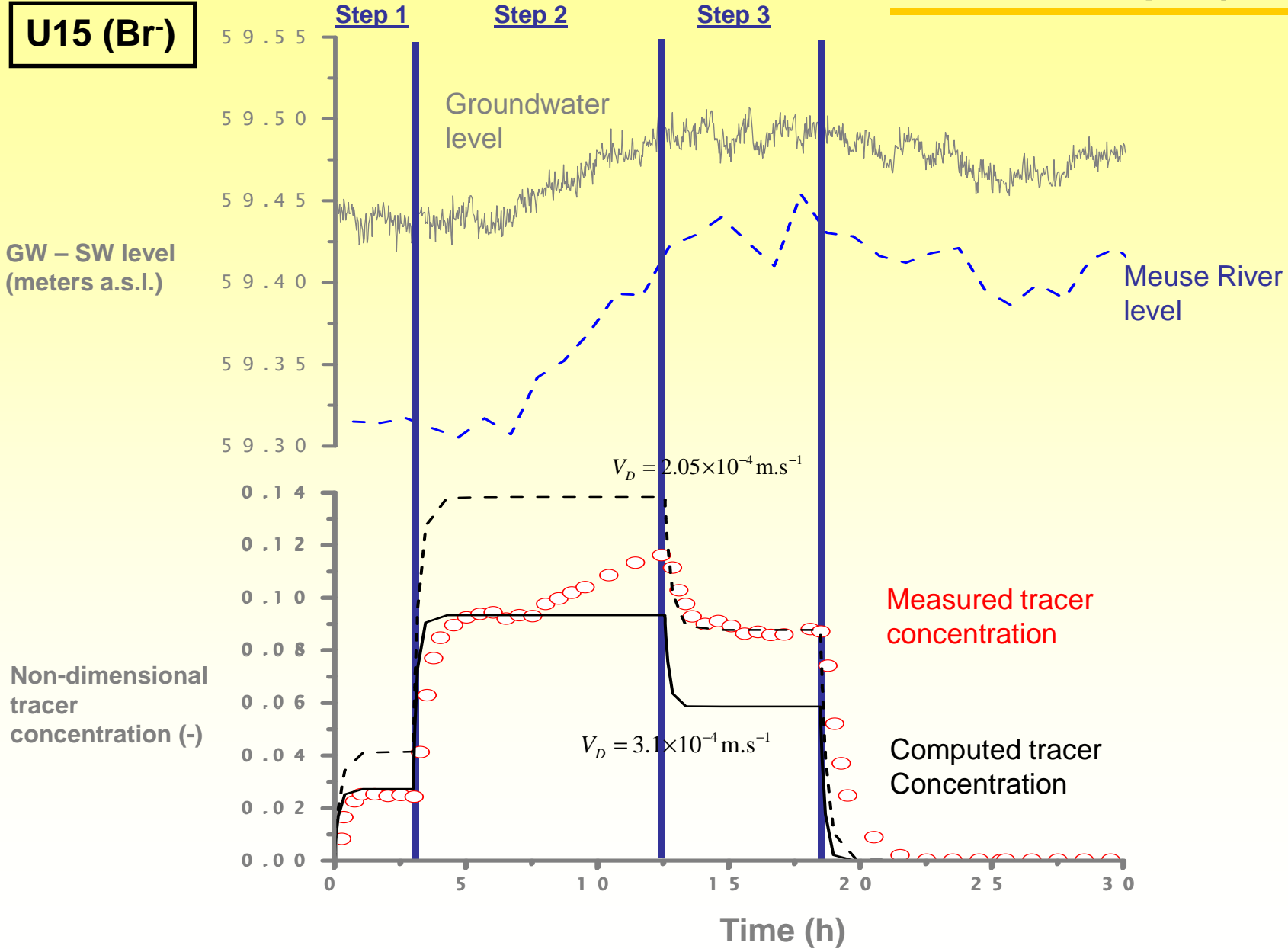
Fluorescein (0.05 g)

Naphtionate (0.05 g)

Sulforhodamine B (0.05 g)

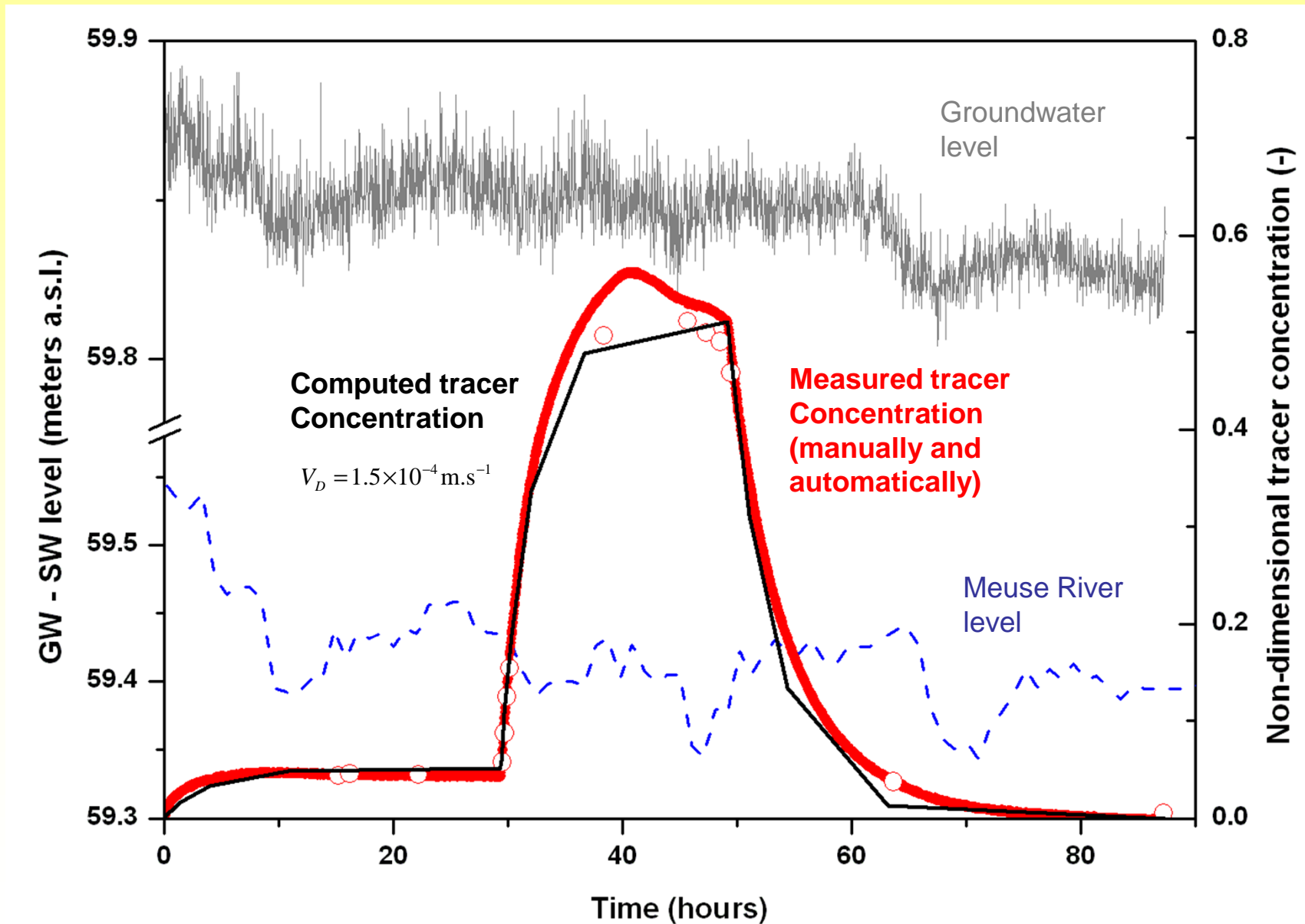
# 9. Essais de traçage (IV). Puits unique (FVPDM)

**U15 (Br<sup>-</sup>)**



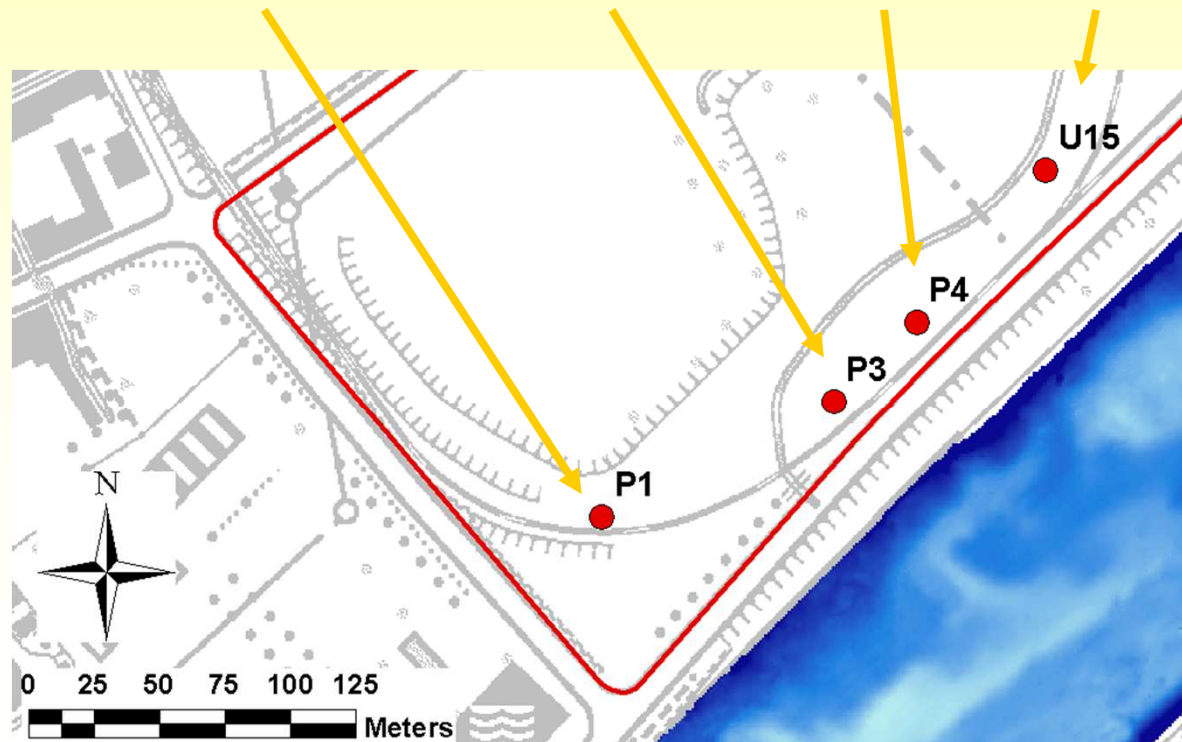
P3 (Sulforhodamine B)

9. Essais de traçage (V).  
Puits unique (FVPDM)



## 9. Essais de traçage (VI). Puits unique (FVPDM)

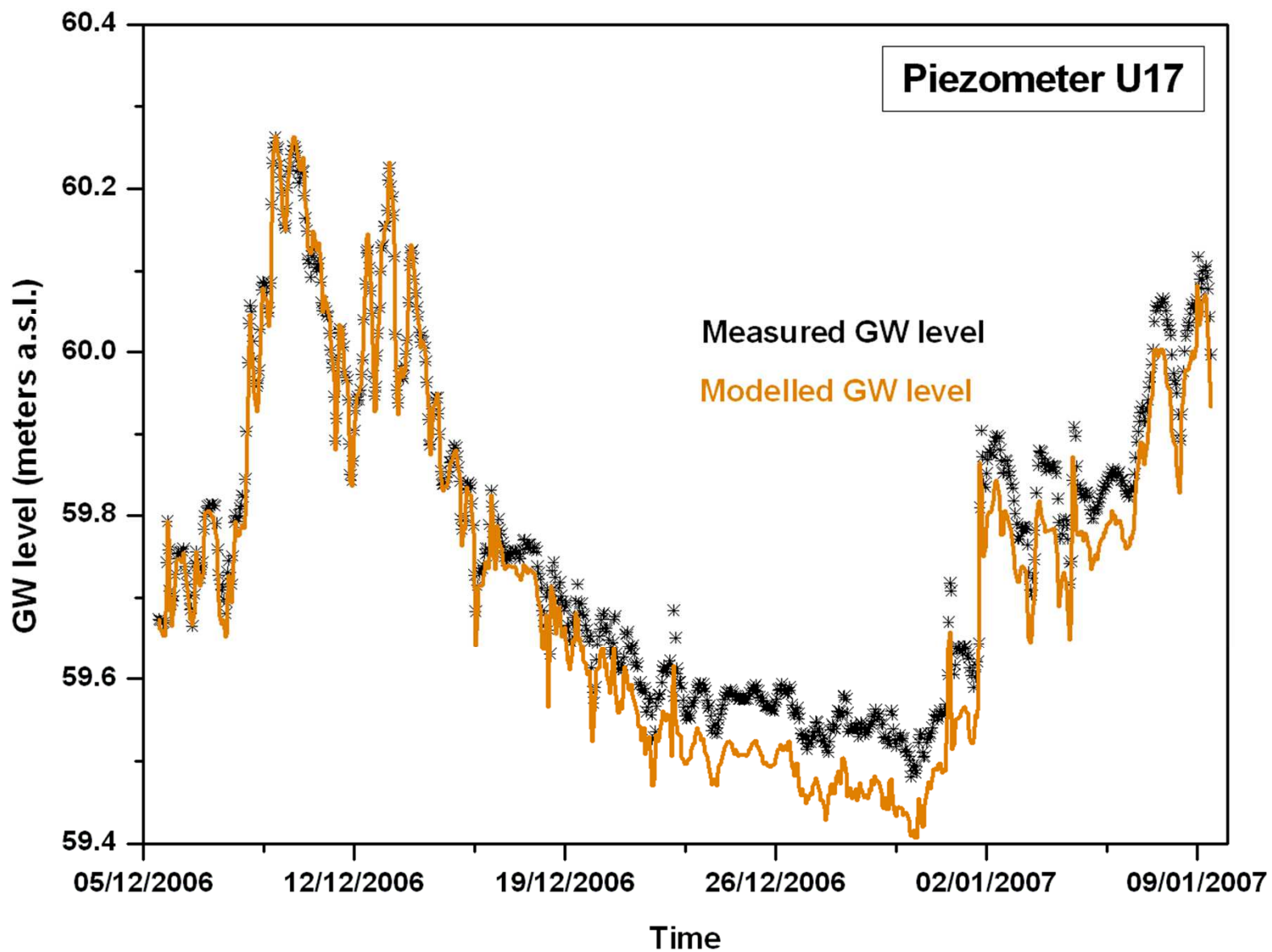
	P1	P3	P4	U15
Darcy flux $v_D$ ( $m.s^{-1}$ )	$3.0 \times 10^{-6}$	$1.5 \times 10^{-5}$	$2.7 \times 10^{-5}$	$2.05 - 3.1 \times 10^{-5}$
$Q_t^0$ ( $m^3.s^{-1}$ ) ( $l.h^{-1}$ )	$3.01 \times 10^{-6}$ (10.1 l.h <sup>-1</sup> )	$4.8 \times 10^{-6}$ (17.28 l.h <sup>-1</sup> )	$1.1 \times 10^{-5}$ (40.1 l.h <sup>-1</sup> )	$3.08 - 4.65 \times 10^{-5}$ (110.7 - 167.4 l.h <sup>-1</sup> )



### 1. Modélisation analytique

- Simulation du niveau d'eau souterraine à partir des variations temporelles du niveau de la Meuse,
- paramètres:  $K$  (T),  $S$  et  $\alpha$  (coefficient transfert entre la rivière et l'aquifère, dépendant de la conductivité hydraulique de la berge),
- détermination du *seepage* (transfert des flux entre les deux systèmes),
- possibilité de corriger les effets de la Meuse sur la phase de remontée lors des essais de pompage

## 10. Travaux en cours (II)



### 2. Modélisation numérique

- Utilisation des paramètres hydrodynamiques et hydrodispersifs obtenus lors des essais de terrain,
- modélisation du flux d'eau souterrain et transport de contaminants au sein de l'aquifère graveleux de Flémalle,
- reproduction de différents scénarios avec migration de contaminants dissous dans l'aquifère