

**Estimation des caractéristiques  
hydrodispersives de la nappe des  
alluvions dans le Loiret**

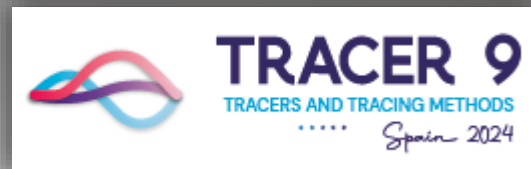
**Thomas KLINKA<sup>1</sup>, Alexis GUTIERREZ<sup>1</sup>,  
Nevila Jozja<sup>2</sup>, Christian Défarge<sup>2,3</sup>,  
Chrystelle Auterives<sup>1</sup>**

Présentation orale, Mardi 14/05/2024  
(11h30)

<sup>1</sup>BRGM, Orléans, France

<sup>2</sup>CETRAHE, Université d'Orléans, France

<sup>3</sup>ISTO, Université d'Orléans, France



Tracer 9

Du 14 au 16 mai 2024

Benicassim (Espagne)

# PLAN DE LA PRÉSENTATION

## Le projet CENARI-O

- ❑ Objectifs du projet
- ❑ Contexte
- ❑ Géologie
- ❑ Hydrogéologie
- ❑ Expérimentations
  - Géochimie des eaux de surface
  - Bathymétrie de la rivière
  - Suivi eaux souterraines – eaux de surface
  - **Pompage d'essai**
  - **Essai de traçage**
- ❑ Résultats
- ❑ Conclusions



Perte de la Loire

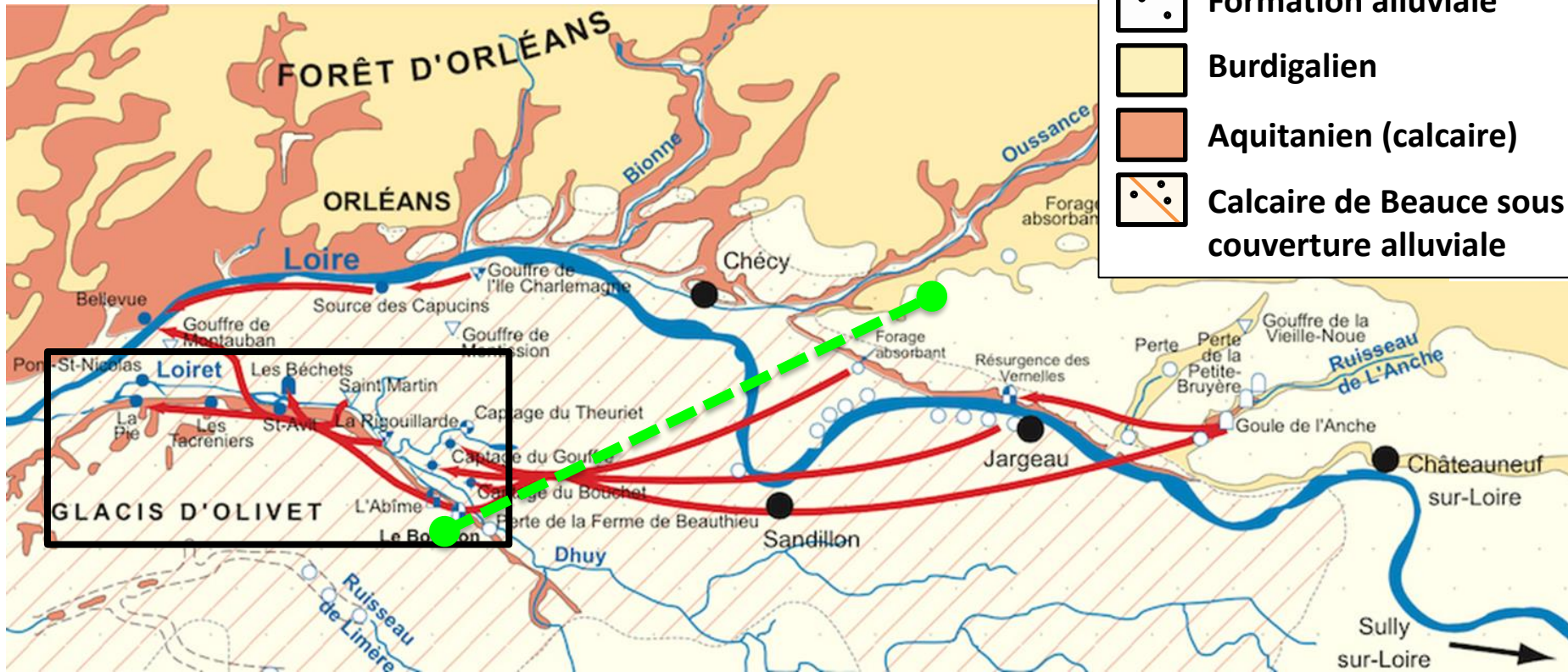
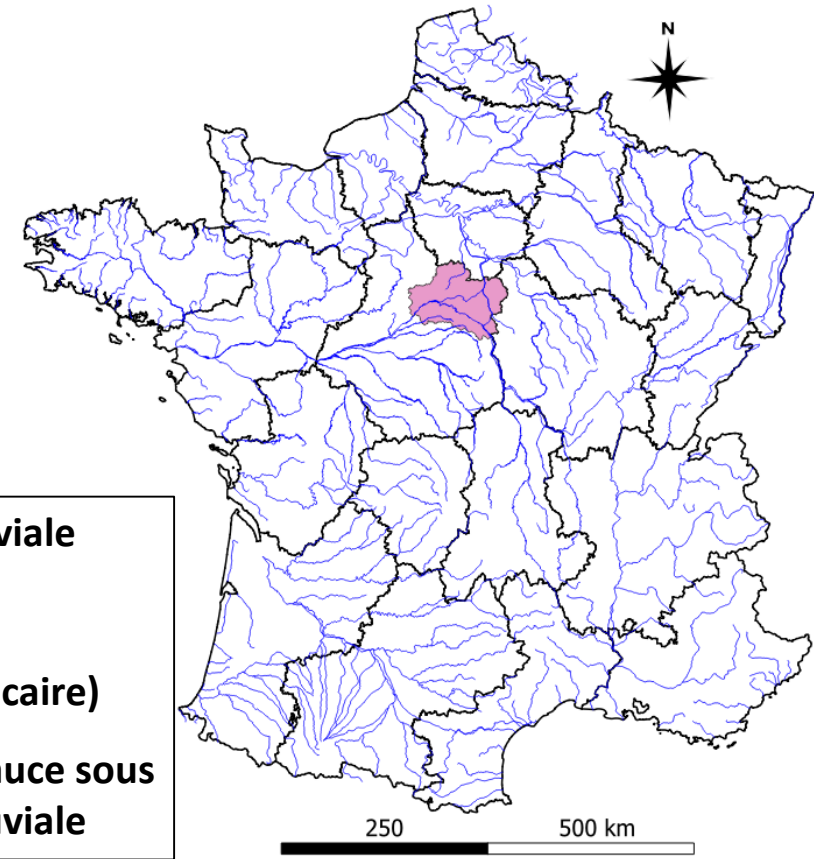


Le bassin de Bouillon vu du ciel lors d'une opération de plongée.  
Photo Denis Chailloux (octobre 2020)

# OBJECTIFS DU PROJET CENARI-O

Systeme complexe dans les interactions Loire-nappe-Loiret

- Mieux connaître les interactions nappes – rivières
- Carte des circulations karstiques du Val d'Orléans



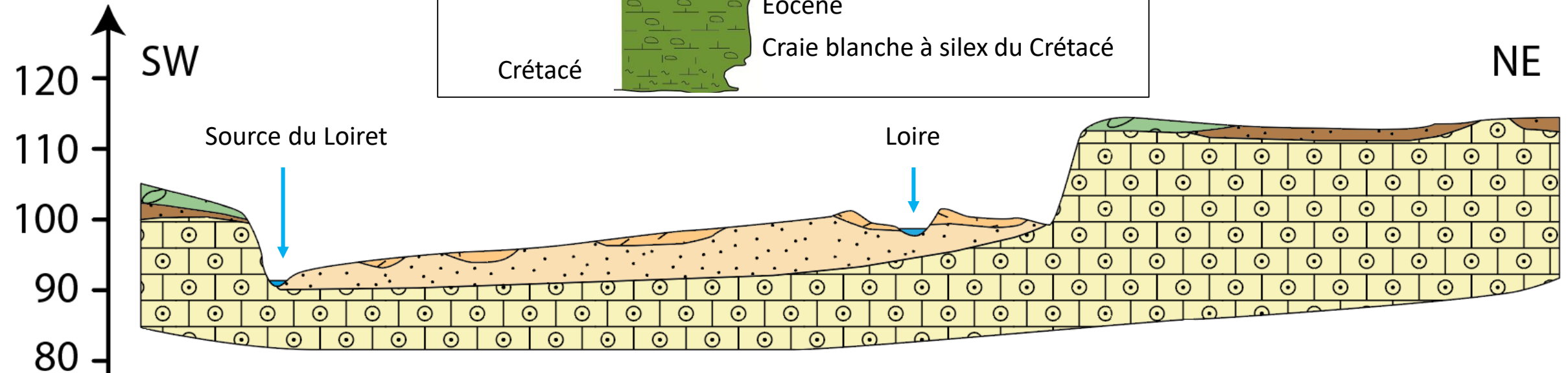
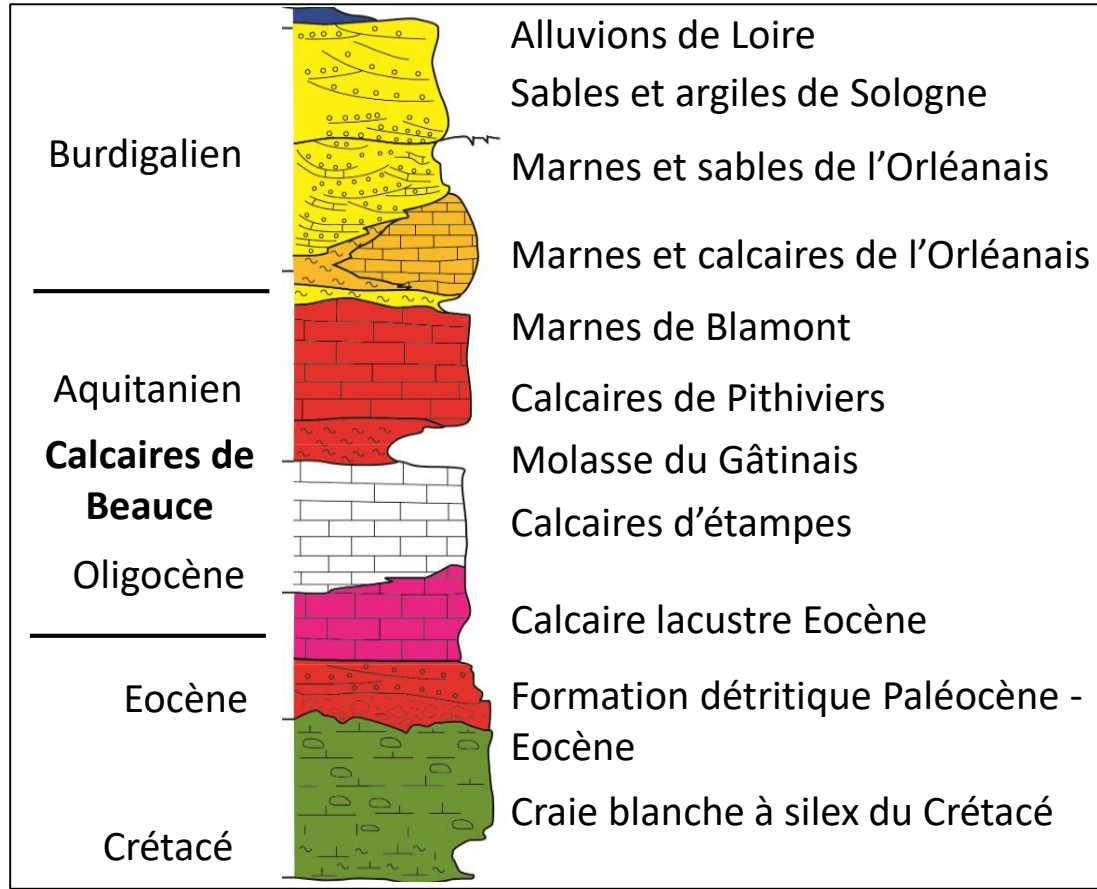
	Formation alluviale
	Burdigalien
	Aquitaniien (calcaire)
	Calcaire de Beauce sous couverture alluviale

	Perte
	Emergence
	Perte - émergence
	Liaison mise en évidence Par traçage
	Coupe géologique

Albéric et Lepiller, 1998

# CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

## Géologie du val d'Orléans



# CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Un système karstique connu depuis longtemps ...



Les pertes de la Loire



Test de traçage au droit d'une perte



Entrée du réseau karstique explorable par les spéléologues



Perte de la Loire



Réseau karstique



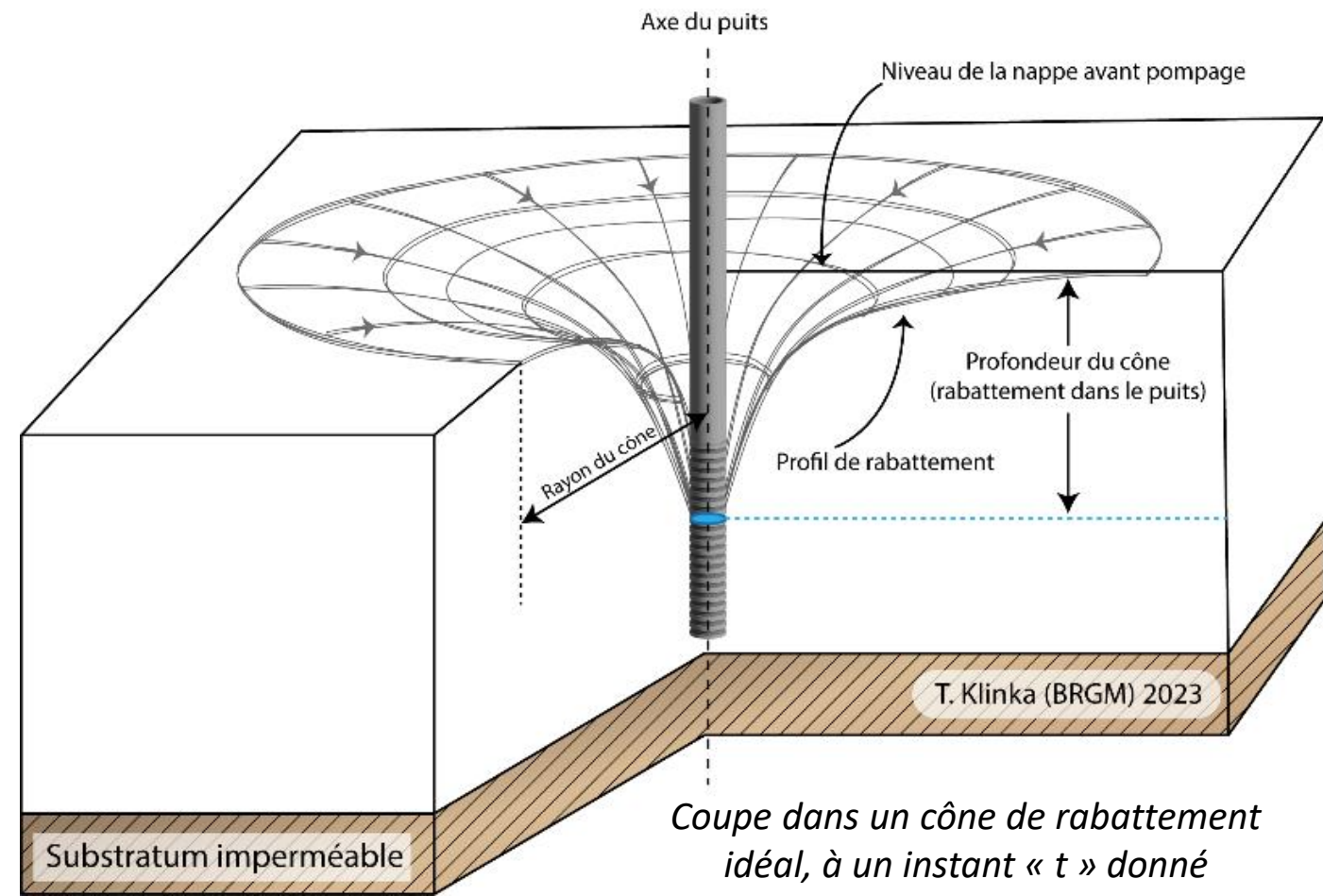
Source du Loiret : le Bouillon

# EXPÉRIMENTATIONS

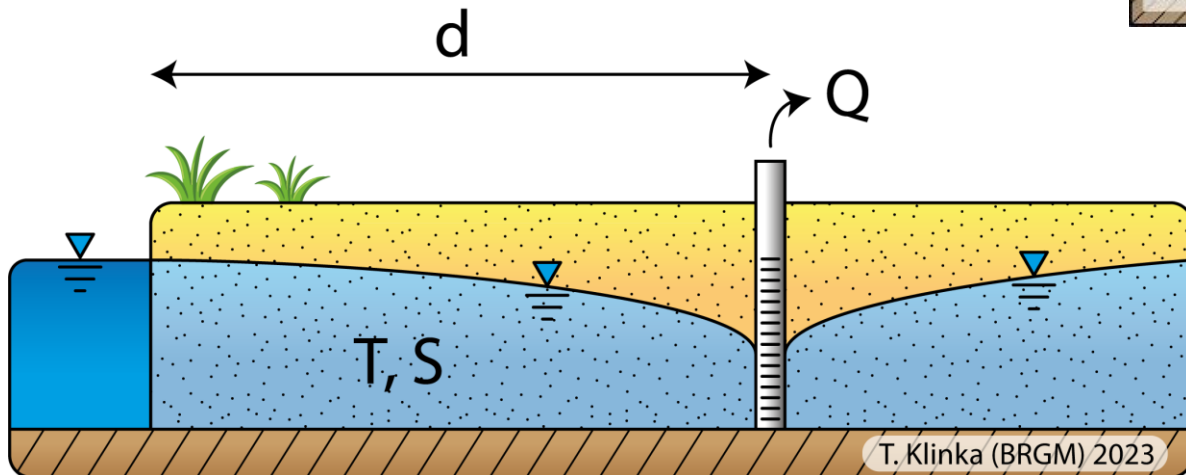
## Couplage pompage d'essai et essai de traçage

□ L'observation des effets d'un pompage dans un puits ou un forage considérée comme l'un des meilleurs moyens d'investigation en hydrogéologie

□ Les essais de traçages permettent d'obtenir des données sur les temps de séjour probables dans l'aquifère et sur les temps d'apparition de substances dans un puits.



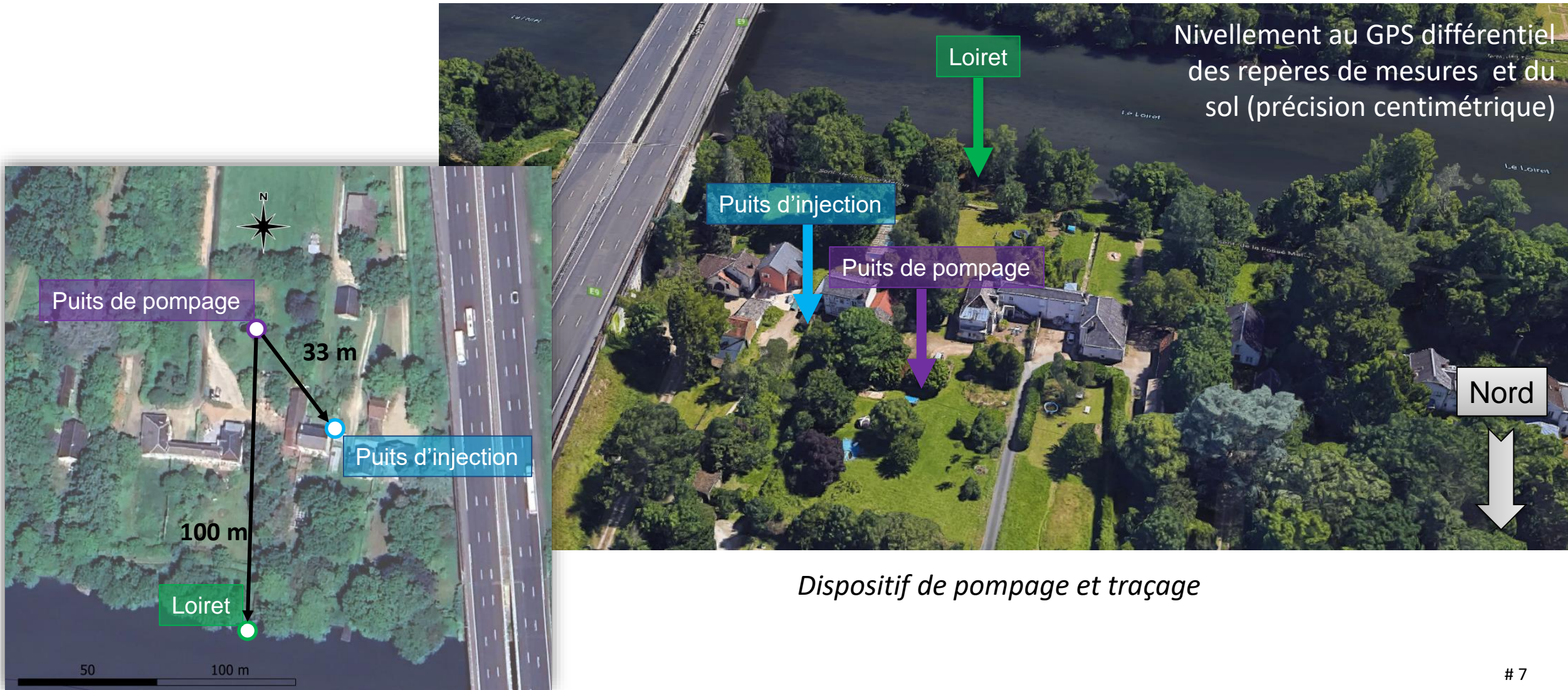
*Coupe dans un cône de rabattement idéal, à un instant « t » donné*



*Schéma représentant une limite alimentée en lien avec l'aquifère*

# EXPÉRIMENTATIONS

## Zone d'étude - Cartographie



*Dispositif de pompage et traçage*

# EXPÉRIMENTATIONS

## Protocole expérimental de l'essai de nappe

❑ Objectif : caractériser les propriétés hydrodynamiques de l'aquifère, identifier d'éventuels effets de limite (relations avec le Loiret par exemple)

### ❑ Matériel :

- Pompe Grundfos SQE7-40 (10 m<sup>3</sup>/h)
- Débitmètre IFM 2000
- Vanne de régulation
- Capteurs de pression (Diver, BaroDiver)
- Rejet au droit d'une conduite enterrée se jetant dans le Loiret

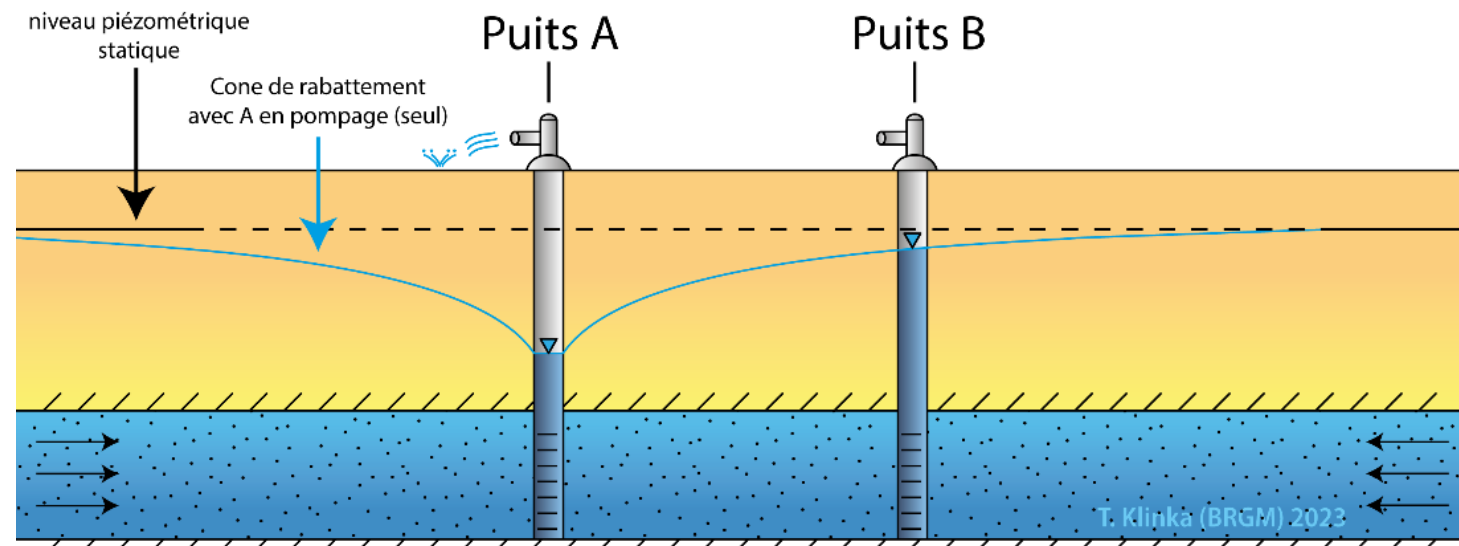
### ❑ Suivi :

- Puits de pompage (PP)
- **Puits d'observation (PO) à 33 m**
- Loiret (100 m)

### ❑ Essai de nappe : du 24/09/2020 au 02/10/2020

- Pompage à environ 9.5 m<sup>3</sup>/h puis 7 m<sup>3</sup>/h
- Pendant environ 8 jours

*Dispositif de pompage et de rejet des eaux de pompage*





# EXPÉRIMENTATIONS

## Pompage d'essai – Pré-test

□ Pré-test de pompage le 17/09/2020 :

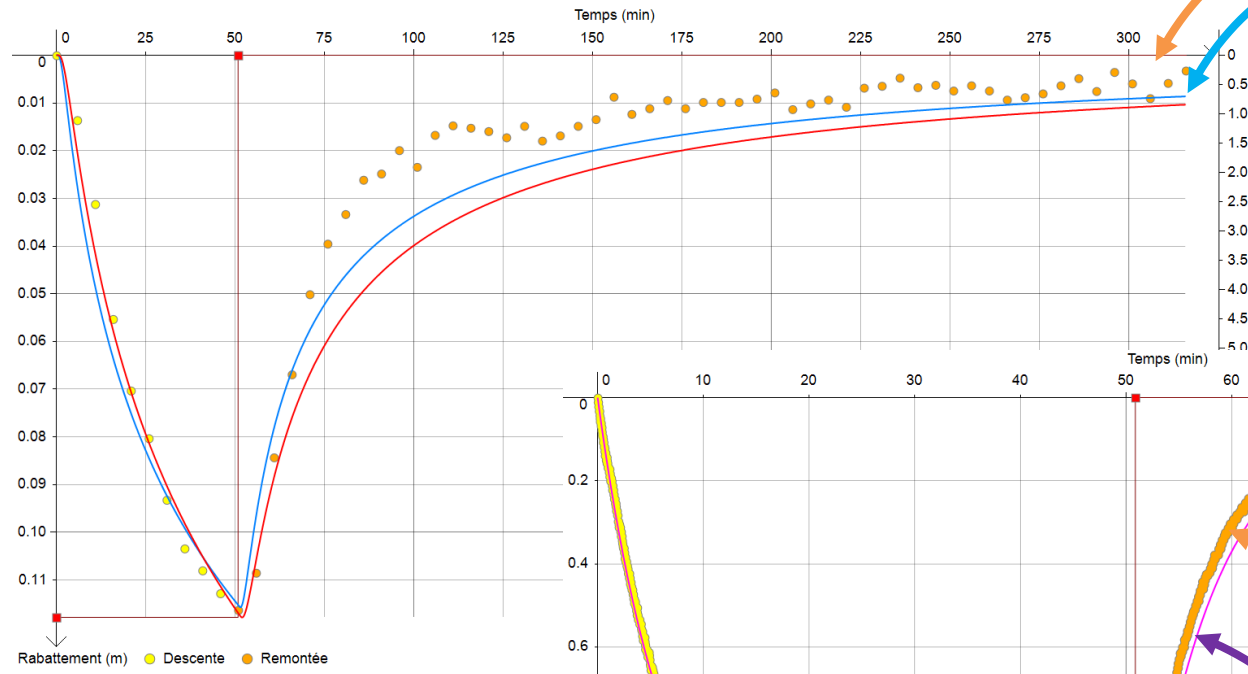
- Pompage à environ 9.5 m<sup>3</sup>/h
- Pendant 50 minutes
- Suivi au puits de pompage et sur un puits d'observation



Manuel de OUAIP v2 – Outil d'Aide à l'Interprétation des Pompages



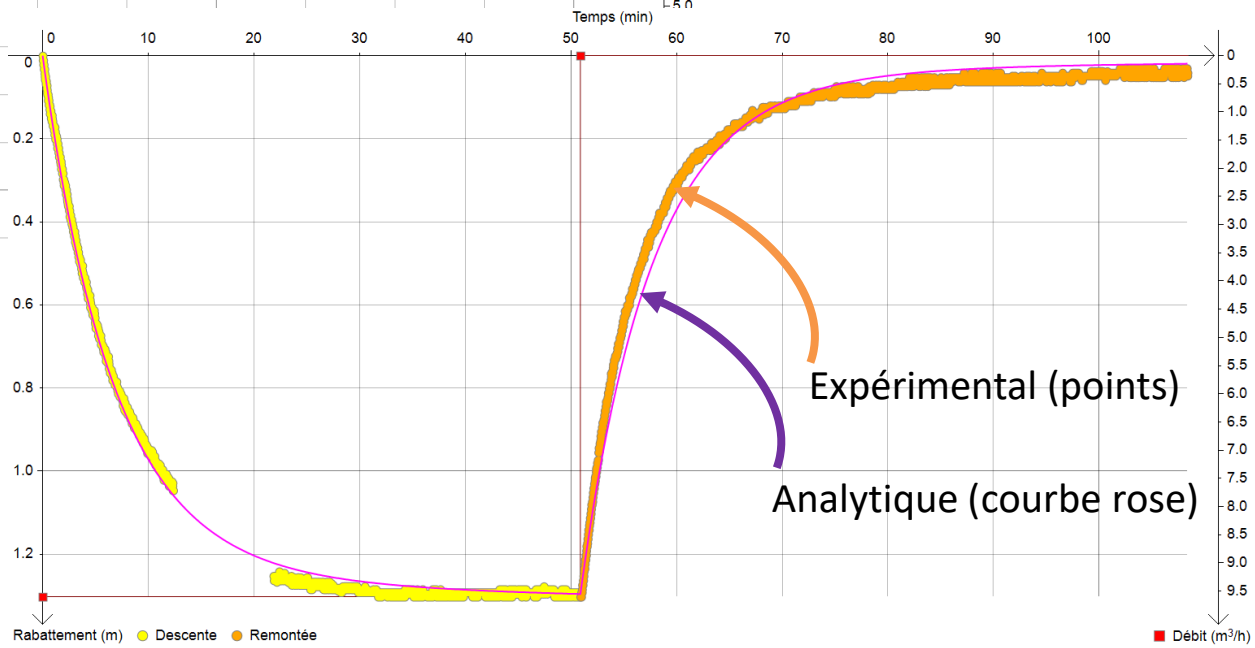
[www.ouaip.brgm.fr](http://www.ouaip.brgm.fr)



Expérimental (points)

Analytique (courbe bleu/rouge)

	$m^2/s$	-	$m$	$m$
	<b>T</b>	<b>S</b>	<b>r</b>	<b>rc</b>
Puits de pompage	5.1E-03	NA	0.50	0.52
Point d'observation	4.0E-03	2.9E-03	33.00	-



Expérimental (points)

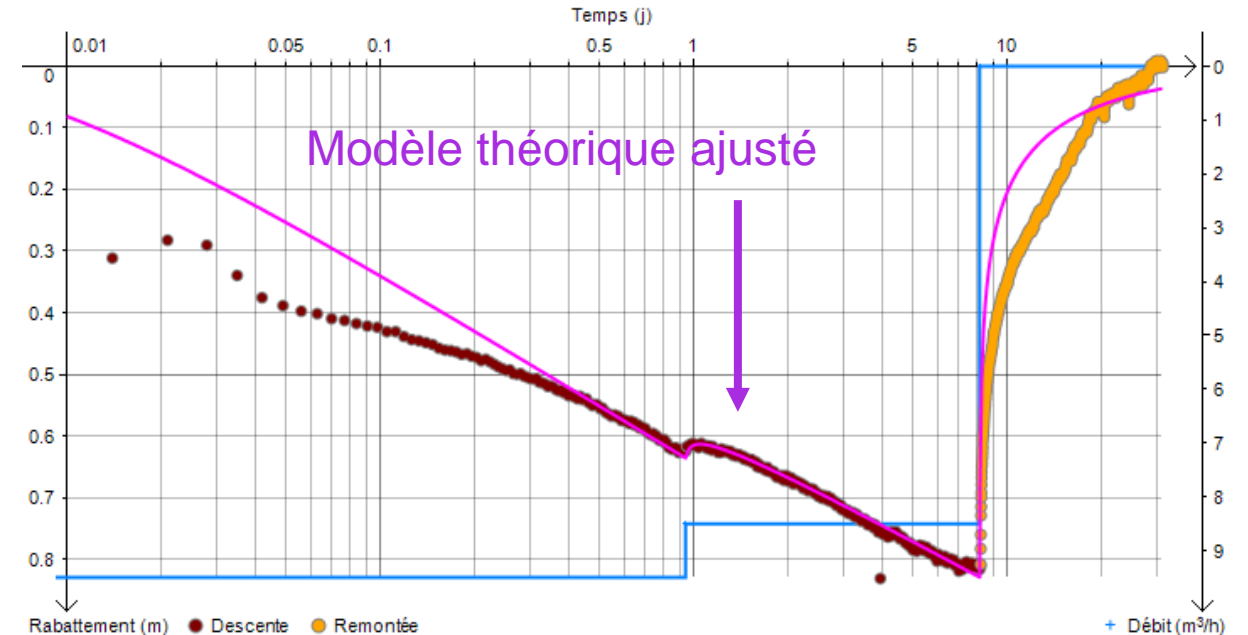
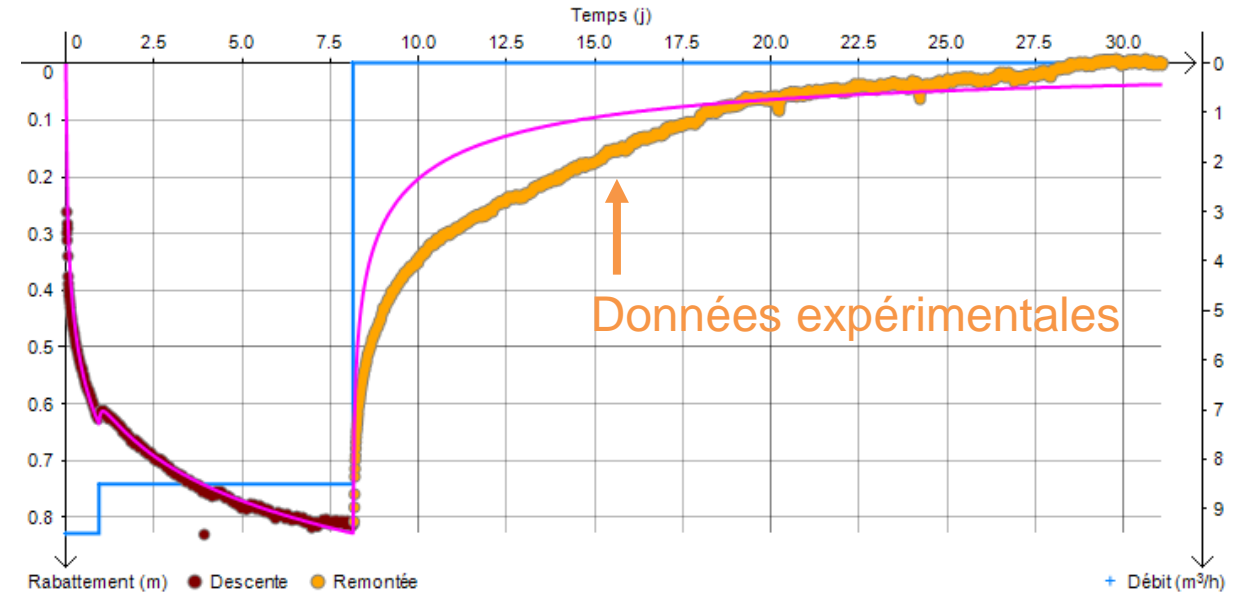
Analytique (courbe rose)

# EXPÉRIMENTATIONS

## Interprétations : puits d'observation

- Interprétations avec OUAIP
- Au puits d'observation
- Simplification de la chronique de débit (en bleu)
- Ajustement retenu :
  - Notion de flux de l'aquifère
    - $T = 1.6 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
  - Notion de stock de l'aquifère
    - $S = 2.3 \times 10^{-3}$
- Coefficient d'emmagasinement faible  $S \# 0.23 \%$

Essai de nappe - Calages retenus avec la méthode de Theis (courbe violette) en haut échelle **arithmétique** en bas échelle **semi-logarithmique**



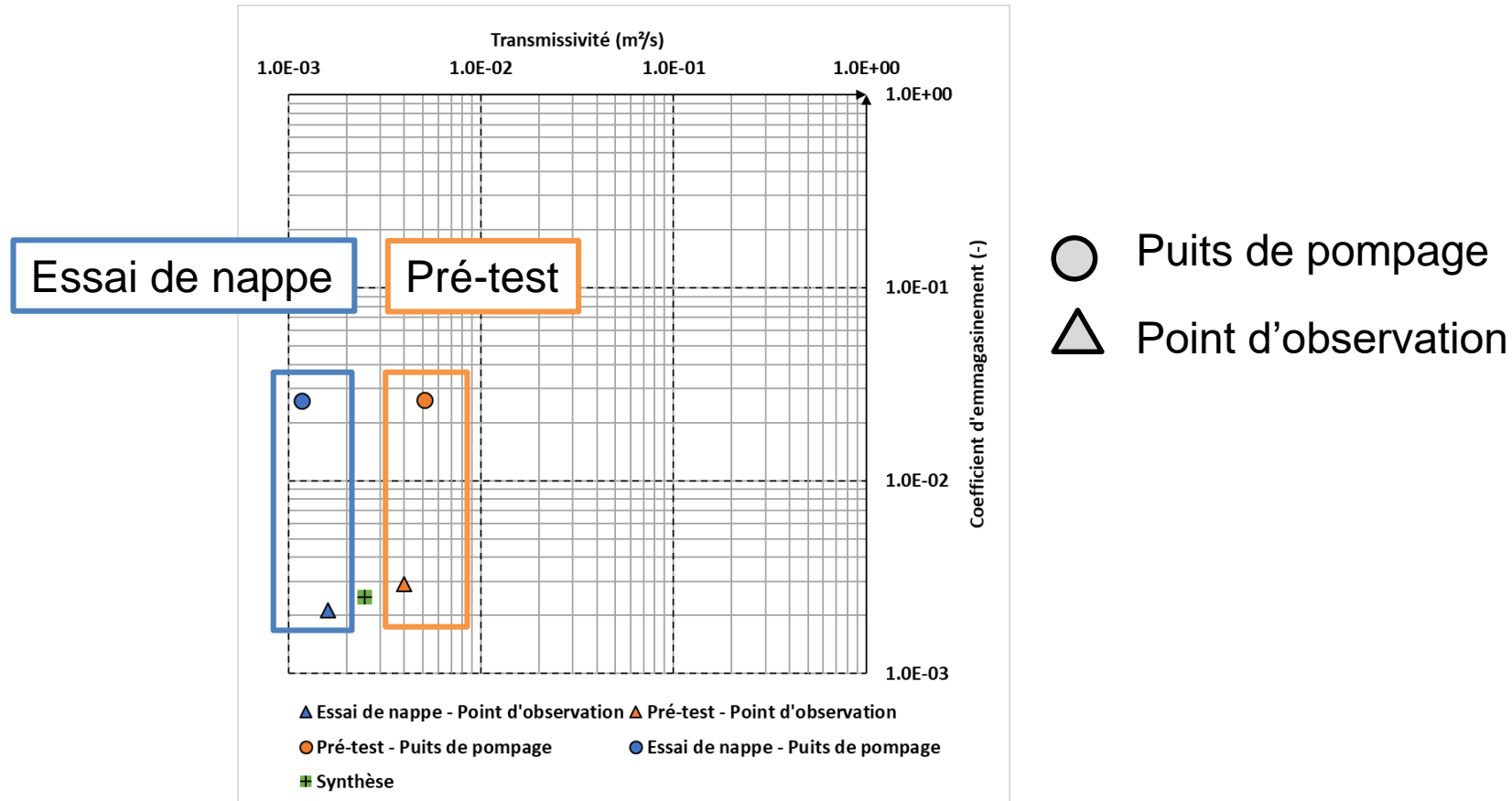
# EXPÉRIMENTATIONS - POMPAGE D'ESSAI

## Synthèse des interprétations

En moyenne :

- T #  $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
- S #  $2.5 \times 10^{-3}$  (0.25 %)
- Diffusivité = 1

		$\text{m}^2/\text{s}$	-	$m$	$m$
		T	S	r	rc
Pré-test	Puits de pompage	5.1E-03	NA	0.50	0.52
Pré-test	Point d'observation	4.0E-03	2.9E-03	33.00	-
Essai de nappe	Puits de pompage	1.2E-03	NA	0.50	0.52
Essai de nappe	Point d'observation	1.6E-03	2.1E-03	33.00	-

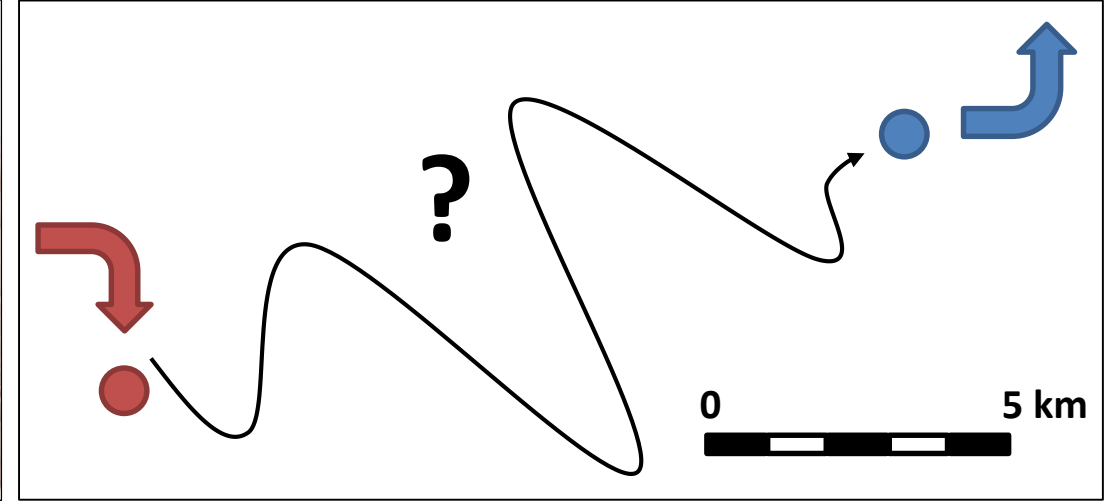


# EXPÉRIMENTATIONS - ESSAI DE TRAÇAGE

## Conditions expérimentales

□ Procédure expérimentale visant à rendre apparent et observable le mouvement réel de l'eau souterraine dans un aquifère entre :

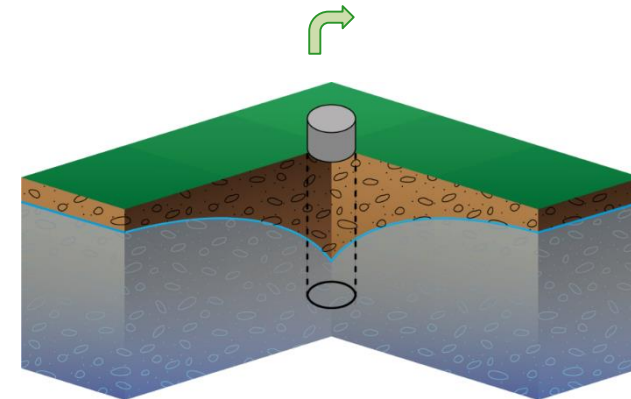
- un **point d'origine** et
- un ou **plusieurs points de détection**
- au moyen d'un **traceur** marquant l'eau.



□ **Traceur** : substance (colorant par exemple), absente dans les conditions naturelles dans l'aquifère étudié et détectable, incorporée à l'eau pour l'identifier et permettre d'observer son mouvement

□ Réalisation du traçage : durant le pompage de longue durée

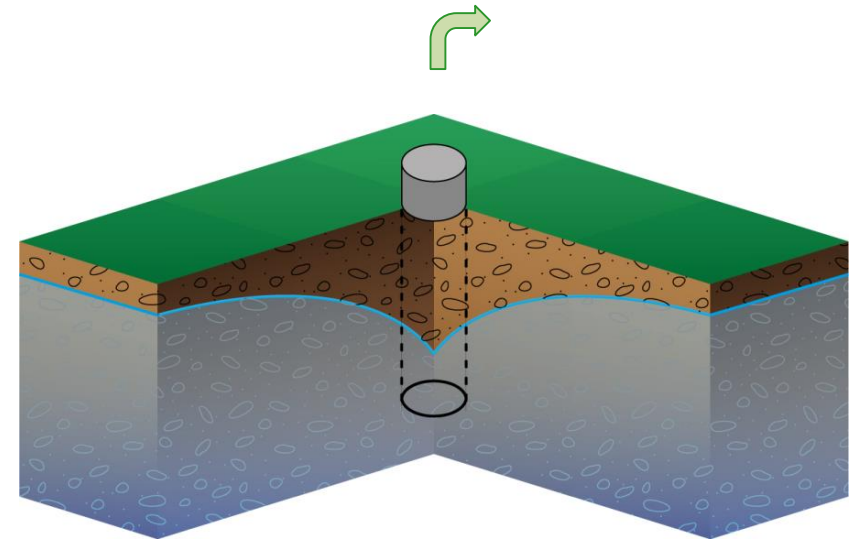
- Puits de **pompage** continu à # 7 m<sup>3</sup>/h depuis le 24/09/2020
- Puits **d'injection** du traceur
  - Après environ 4 jours de pompage
  - Injection de 18 g de Naphtionate (invisible à l'œil)
  - Distance entre le point d'injection et le puits de pompage # **33 m**
- Configuration d'écoulement : **radial convergent**



# EXPÉRIMENTATIONS - ESSAI DE TRAÇAGE

## Conditions expérimentales

- Traçage en écoulement radial convergent entre puits le puits de pompage et le points d'injection
- Puits de pompage
  - Pompage continu à # 7 m<sup>3</sup>/h depuis le 24/09/2020 13h00
  - Profondeur totale = 6.26 m
  - NS = 3.96 m/repère et ND = 5.33 m/repère
  - Fluorimètre installé à 5.65 m de profondeur (suspendu)
  - Pas d'acquisition : 5 minutes
  - Pas de prélèvements automatique possible pour analyse spectrofluorimétrique (profondeur du ND), estimation du bruit de fond plus difficile
- Puits d'injection
  - Injection de 18 g de Naphtionate le 28/09/2020 à 11:46
  - Injection « brève » après 3 jours et 22h45min de pompage
  - Distance entre le point d'injection et le puits de pompage # 33 m
- Modalité d'injection du traceur :
  - Volume de solution 1.5 L
  - Chasse : environ 20 L
  - Tube rigide descendu dans le puits
- Configuration d'écoulement : radial convergent

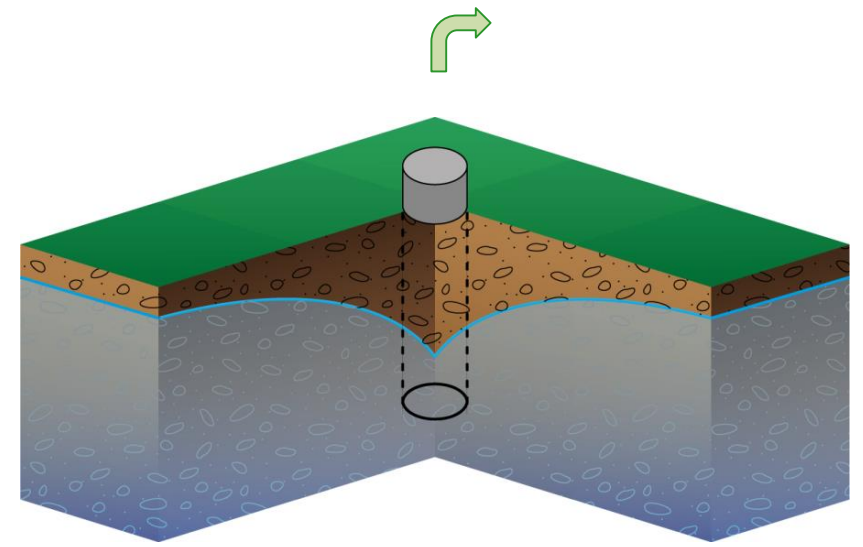
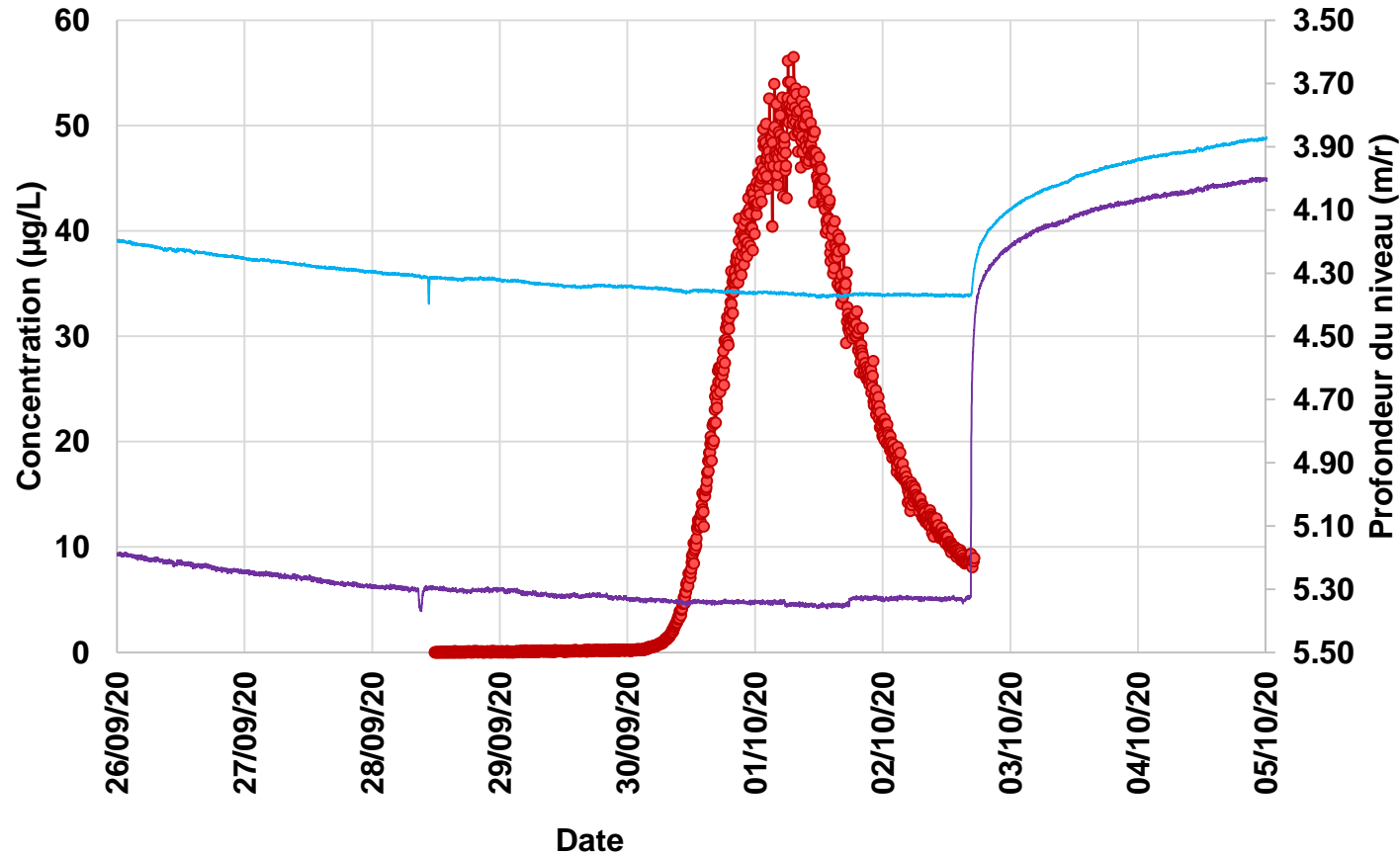


# EXPÉRIMENTATIONS - ESSAI DE TRAÇAGE

## Résultats

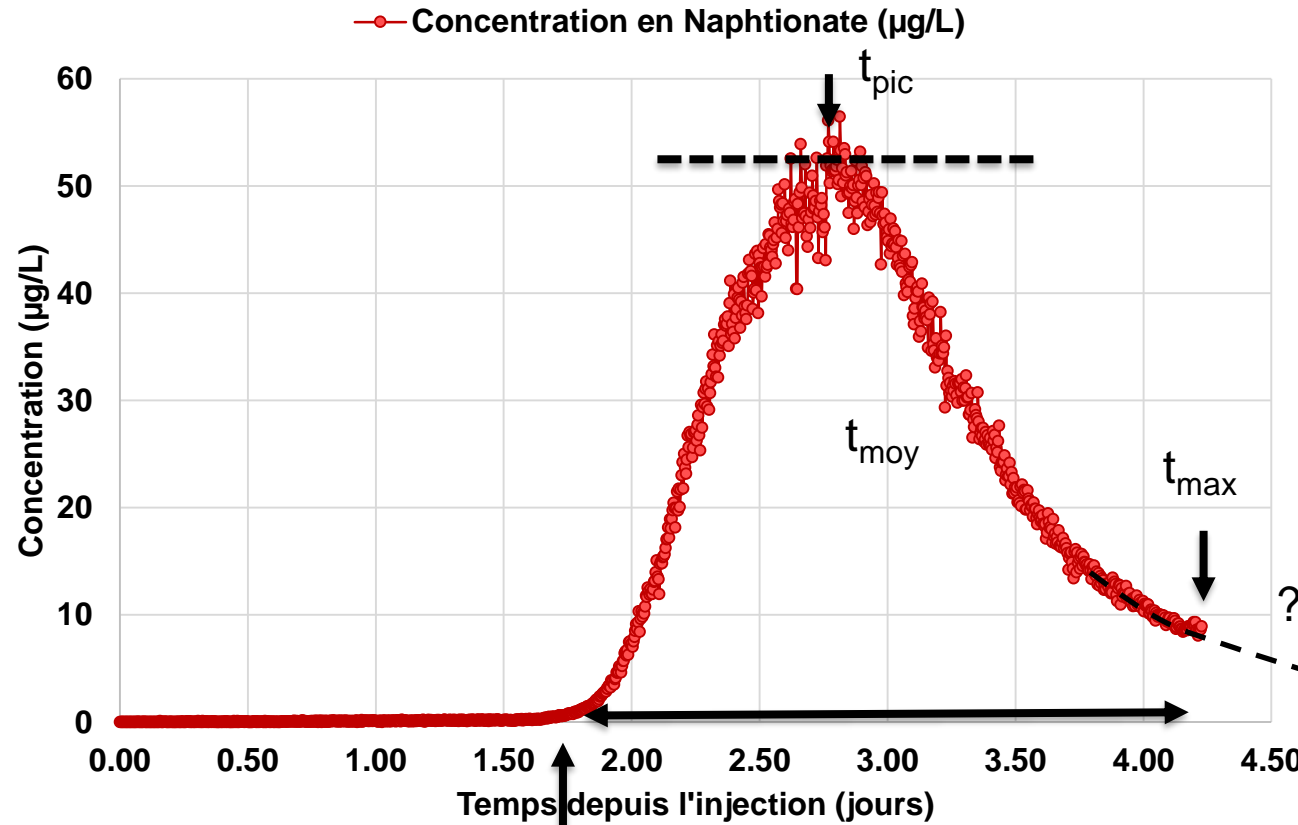
□ Niveau dynamique et courbe de restitution

● Concentration en Naphtionate ( $\mu\text{g/L}$ )  
— Puits pompage Liger - Prof. du niveau d'eau (m/r)



# EXPÉRIMENTATIONS - ESSAI DE TRAÇAGE

## Résultats



○ Masse restituée :  
■ 10.84 g

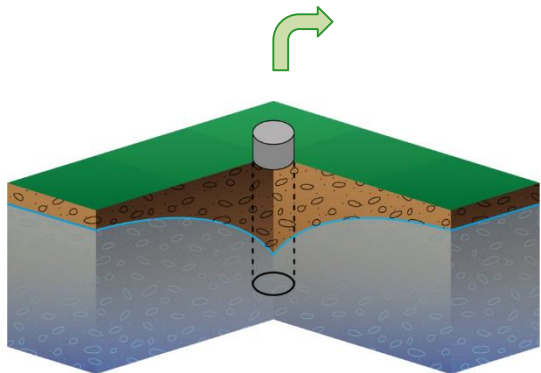
○ Taux de restitution  
(jusqu'à  $t \# 4.2 \text{ j}$ ) :  
■ 60.2 %

○ Queue de restitution

○ Première apparition # 1.5 j  
○ Durée de restitution # 3.4 j

○ Pic : 2.8 j  
○ Concentration maximale : 52  $\mu\text{g/L}$

○ Temps moyen # 2.9 j  
○ Temps moyen de séjour # 2.9 j  
○ Temps de disparition > 4.9 j

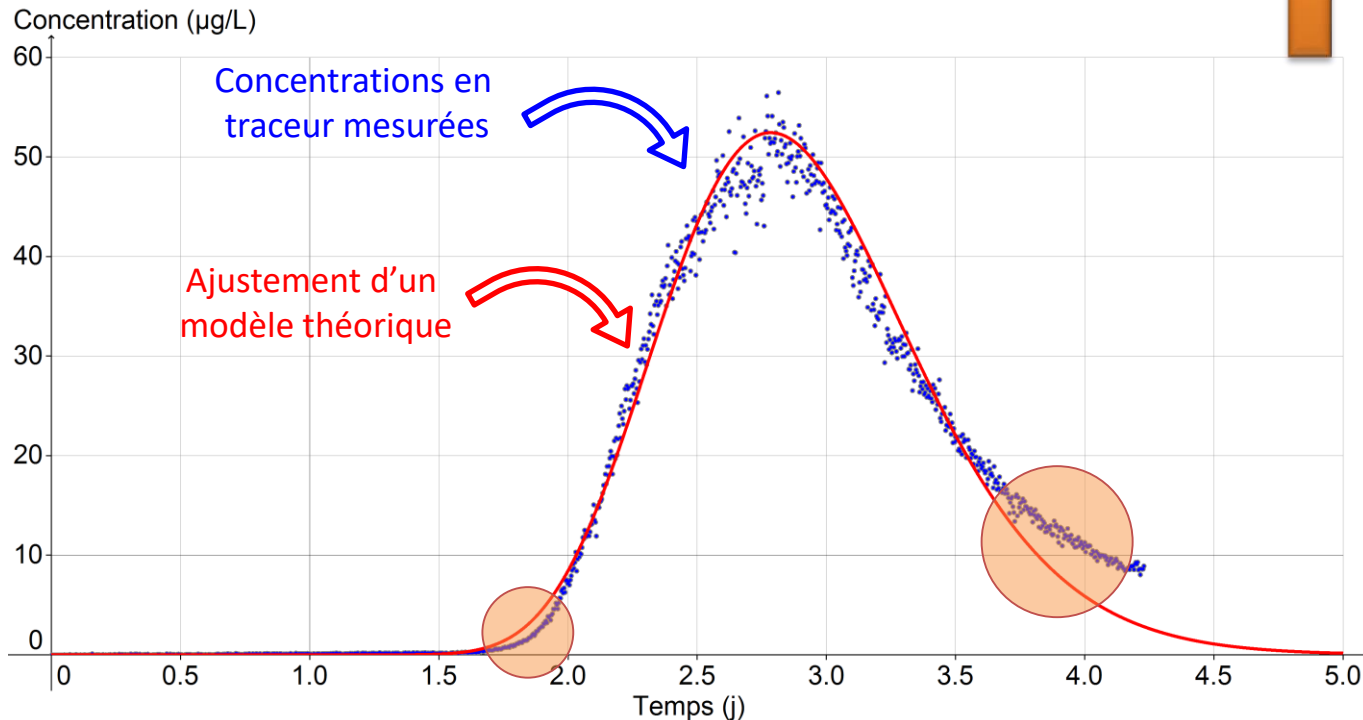
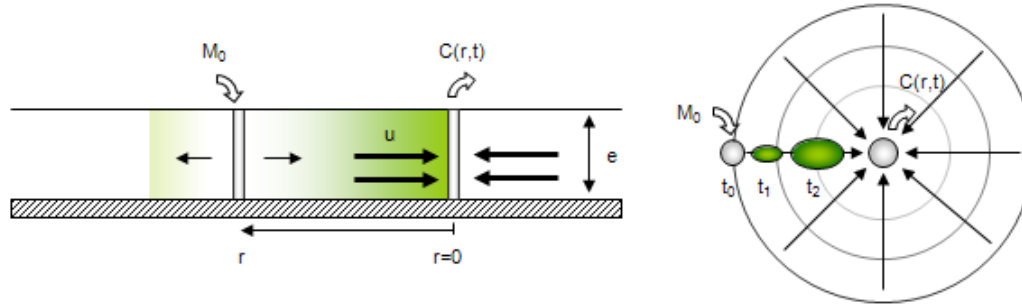


○ Vitesse maximum : 22 m/j ( $t_{\text{min}}$ )  
○ Vitesse moyenne : 11 m/j ( $t_{\text{moy}}$ )

# EXPÉRIMENTATIONS - ESSAI DE TRAÇAGE

## Interprétation

- Interprétation des données corrigées du bruit de fond avec **TRAC** ([trac.brgm.fr](http://trac.brgm.fr))
- Solution semi-analytique : modèle d'écoulement radial convergent (**courbe rouge**)



Paramètre	Valeur	Unité
Masse injectée	18.0	g
Masse restituée	10.8	g
Pourcentage de restitution	60.0	%
Porosité cinématique	2.3	%
Vitesse réelle	1.35E-04	m/s
	0.49	m/h
	11.66	m/j
Epaisseur aquifère	6.15	m
Dispersivité longitudinale	0.38	m
Distance puits - piézomètre	33	m
Débit de pompage	7	m <sup>3</sup> /h
	1.94E-03	m <sup>3</sup> /s
Nash	0.982	-

- Réalisation et interprétation du traçage avec succès
  - **Restitution** du traceur # **60 %**
  - Estimation de la **porosité** de l'ordre de **2.3%**
  - Estimation de **dispersivité** de l'ordre de **0.38 m** (soit 1/86 de la distance de transport)
  - Vitesse maximale : 22 m/j
  - **Vitesse moyenne : 11 m/j**



# EXPÉRIMENTATIONS - ESSAI DE TRAÇAGE

## Conclusion

### ❑ Caractérisation des propriétés de l'aquifère :

- Hydrodynamique : transmissivité et coefficient d'emmagasinement
- Hydrodispersion : porosité cinématique et dispersivité, connectivité
- Relation entre alluvions et Loiret

### ❑ Transmissivité

**T #  $2.5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$**

### ❑ Coefficient d'emmagasinement

**S #  $2.5 \times 10^{-3}$**

### ❑ Porosité cinématique

**$n_e$  # 2.3 % [ $2.3 \times 10^{-2}$ ]**

### ❑ Vitesse maximale

**22 m/j ( $u_{\text{moy}} = 11 \text{ m/j}$ )**

### ❑ Dispersivité

**$\alpha_L$  # 0.38 m (1/86 de x)**

### ❑ Restitution

**R > 60%**

❑ Des questions se posent sur le puits de pompage, le puits pourrait solliciter non seulement les alluvions mais aussi le calcaire karstique sous-jacent (**captif**), ce qui expliquerait **un transfert de pression rapide** lors de l'essai de pompage de longue durée (coefficient d'emmagasinement de  $2.5 \times 10^{-3}$ ) et un **transfert de matière** dans la partie libre de l'aquifère (coefficient d'emmagasinement de 2.3 %).

### ❑ Message à retenir :

- La modélisation permet d'acquérir de l'expérience plus rapidement qu'avec le vécu ...
- ... Mais les expériences de terrain permettent d'améliorer les connaissances à intégrer dans nos modèles

