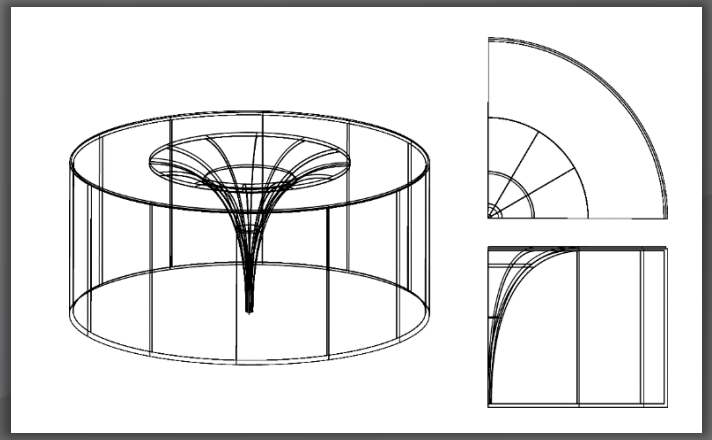


Bureau de Recherches Géologiques et Minières
[1]**BRGM** – DEPA/GDR
Gestion de la Ressource en Eau
3 avenue C. Guillemin BP 36009
45060 **Orléans** Cedex 2 France

t.klinka@brgm.fr

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

Thomas KLINKA[1], Alexis GUTIERREZ[1], Nevila Jozja[2], Christian Défarge[2,3], Chrystelle Auterives[1]

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

[1]BRGM, Orléans, France
[2]CETRAHE, Université d'Orléans, France
[3]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

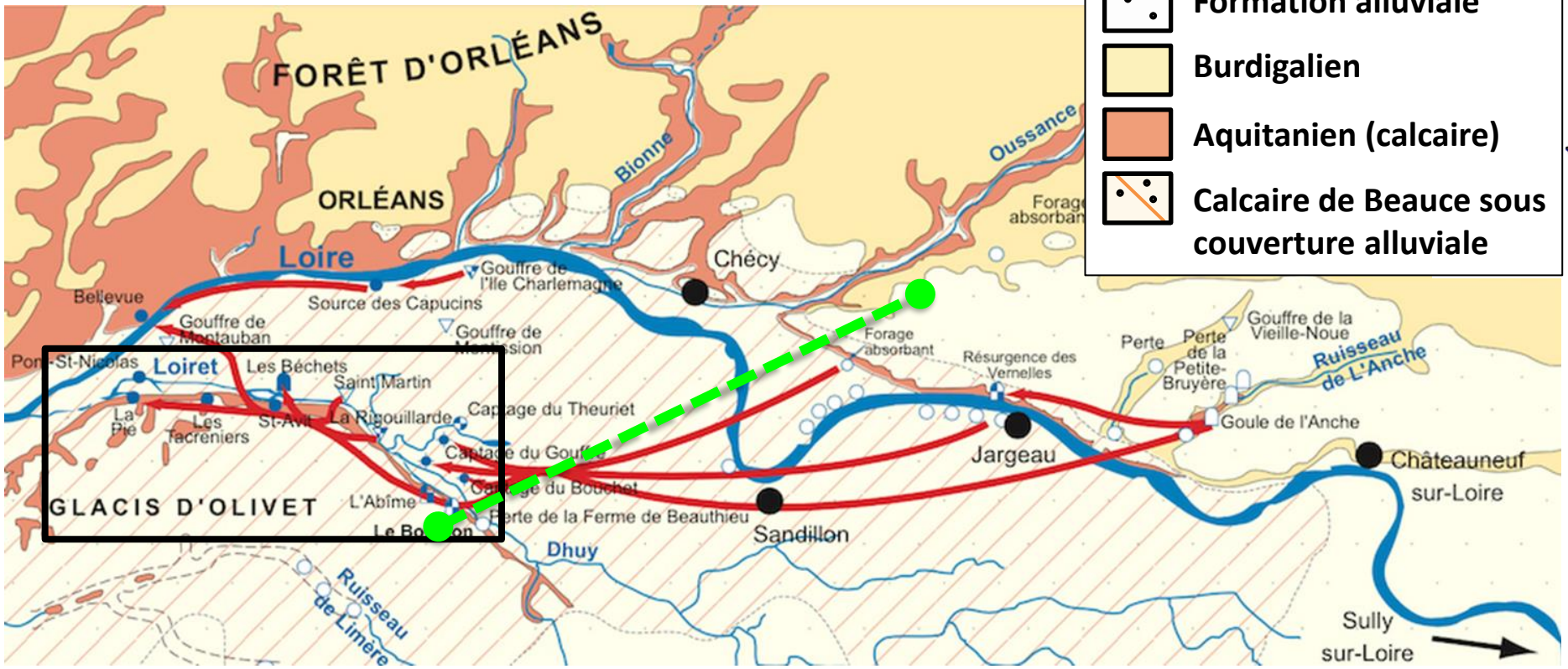
Perte de la Loire

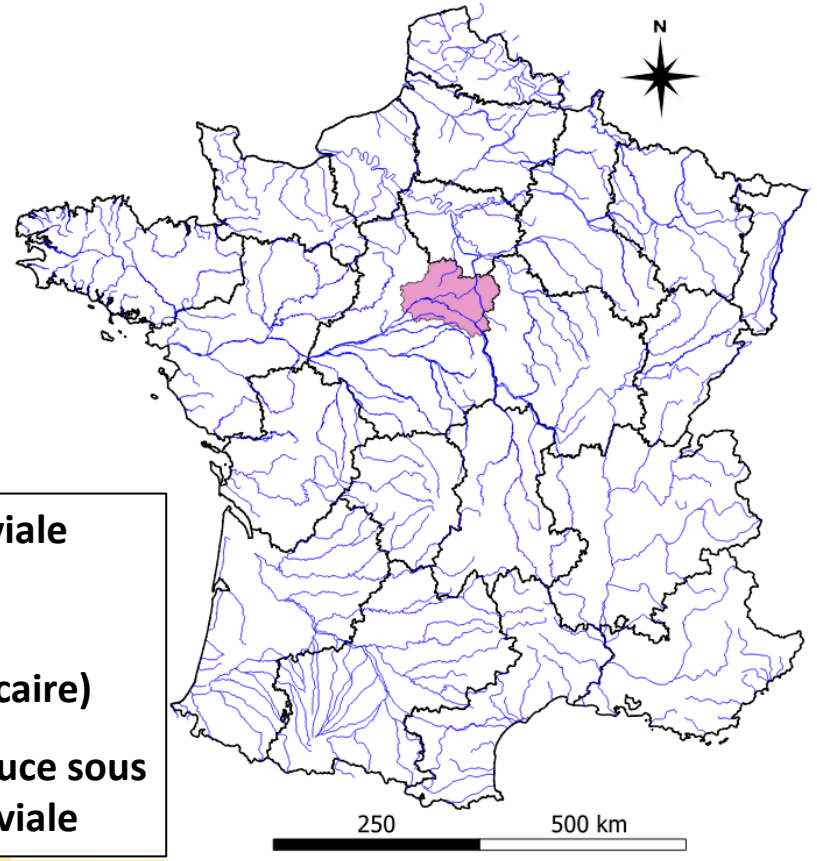
Le bassin de Bouillon vu du ciel lors d'une opération de plongée.
Photo Denis Chailloux (octobre 2020)

OBJECTIFS DU PROJET CENARI-O

Système complexe dans les interactions Loire-nappe-Loiret

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





Perte

Emergence

Perte - émergence

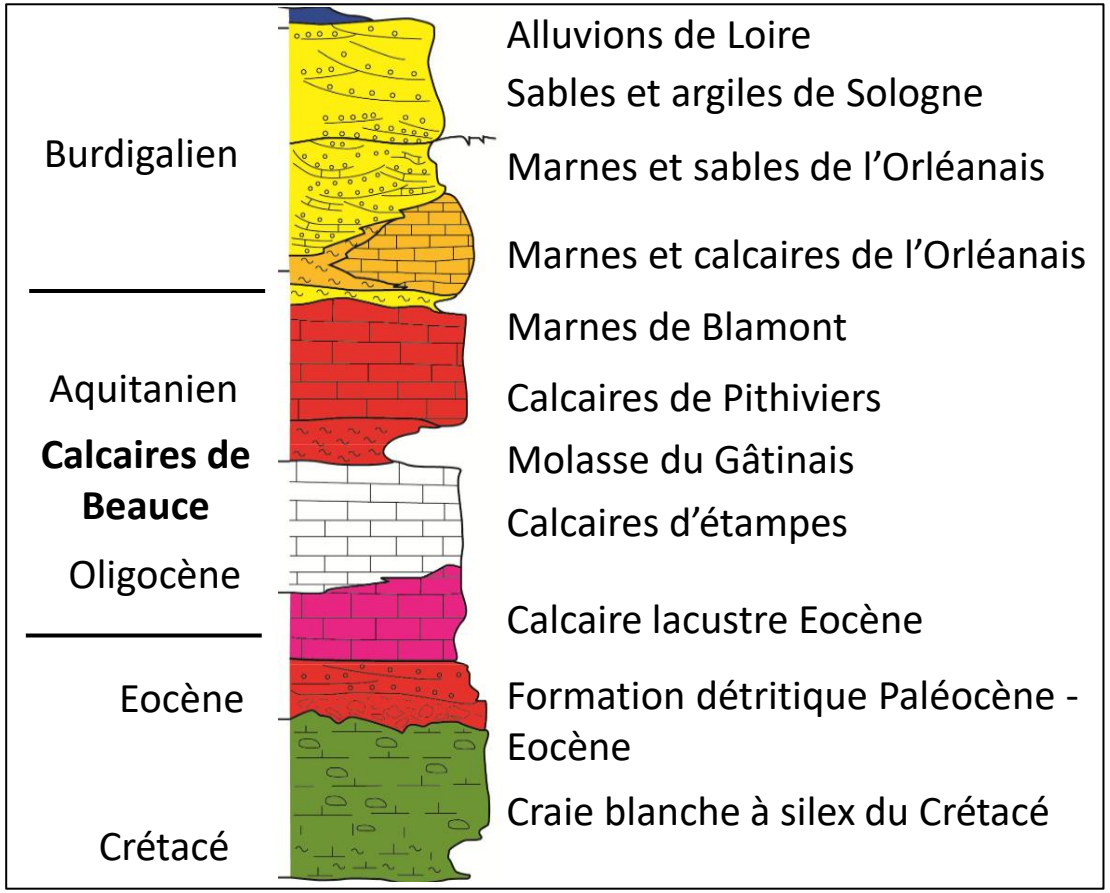
Liaison mise en évidence Par traçage

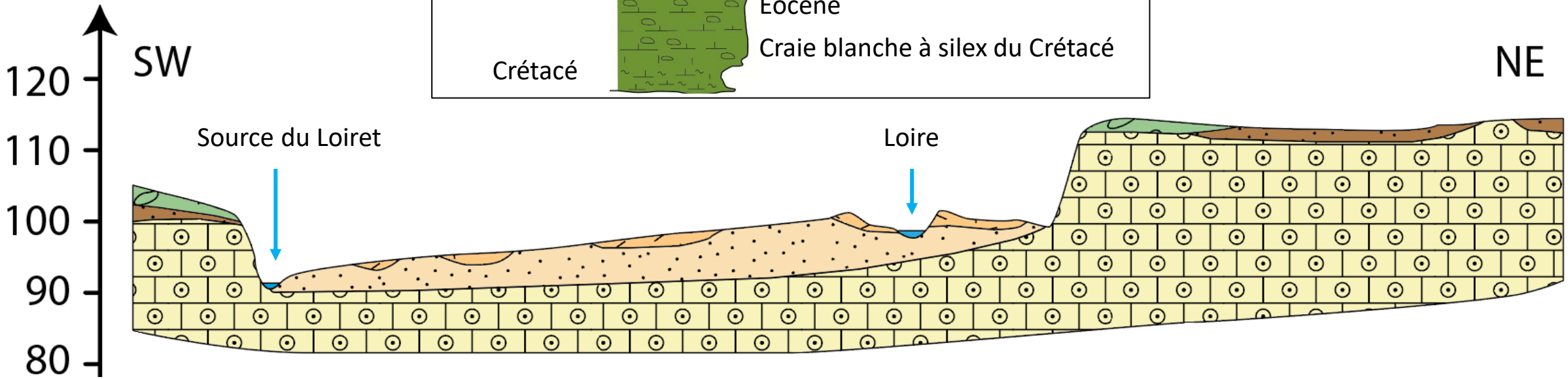
Coupe géologique

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

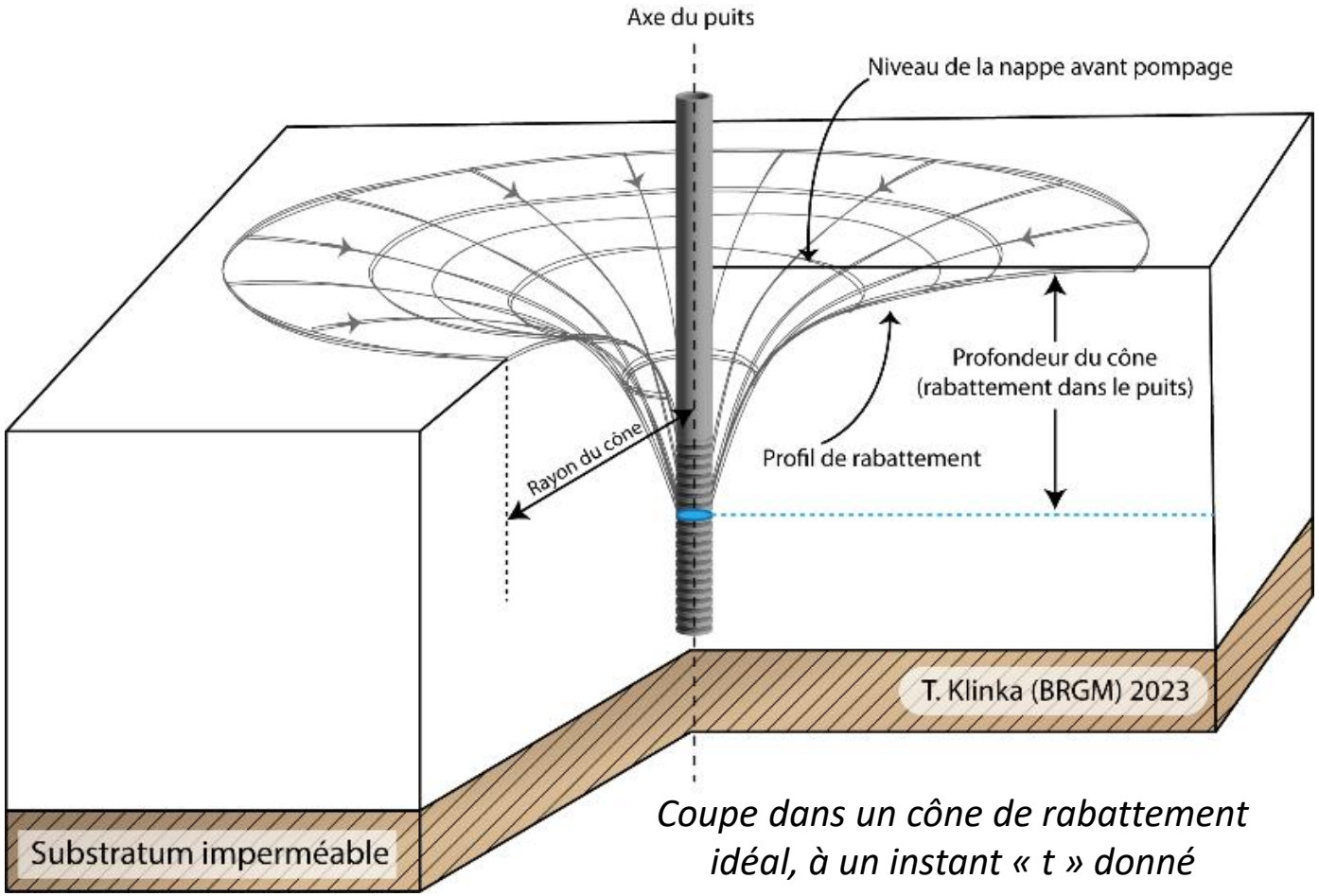
Source du Loiret : le Bouillon

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

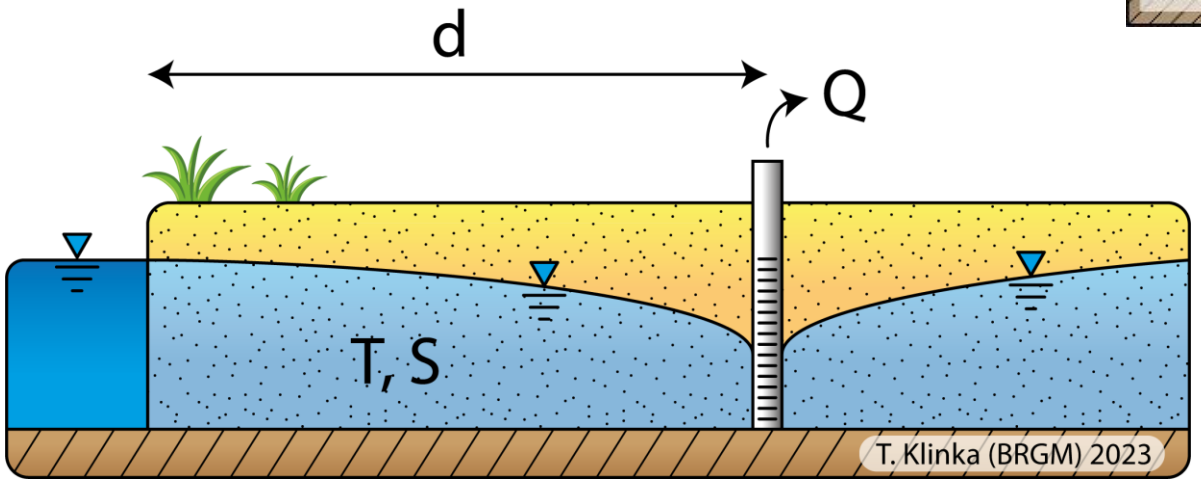
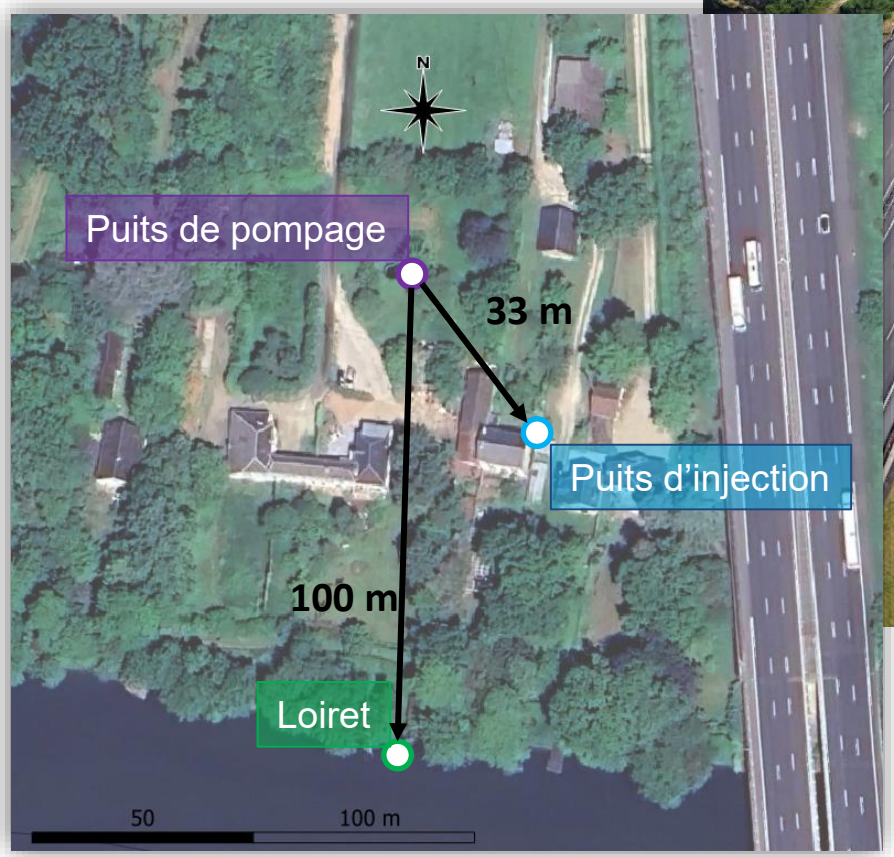
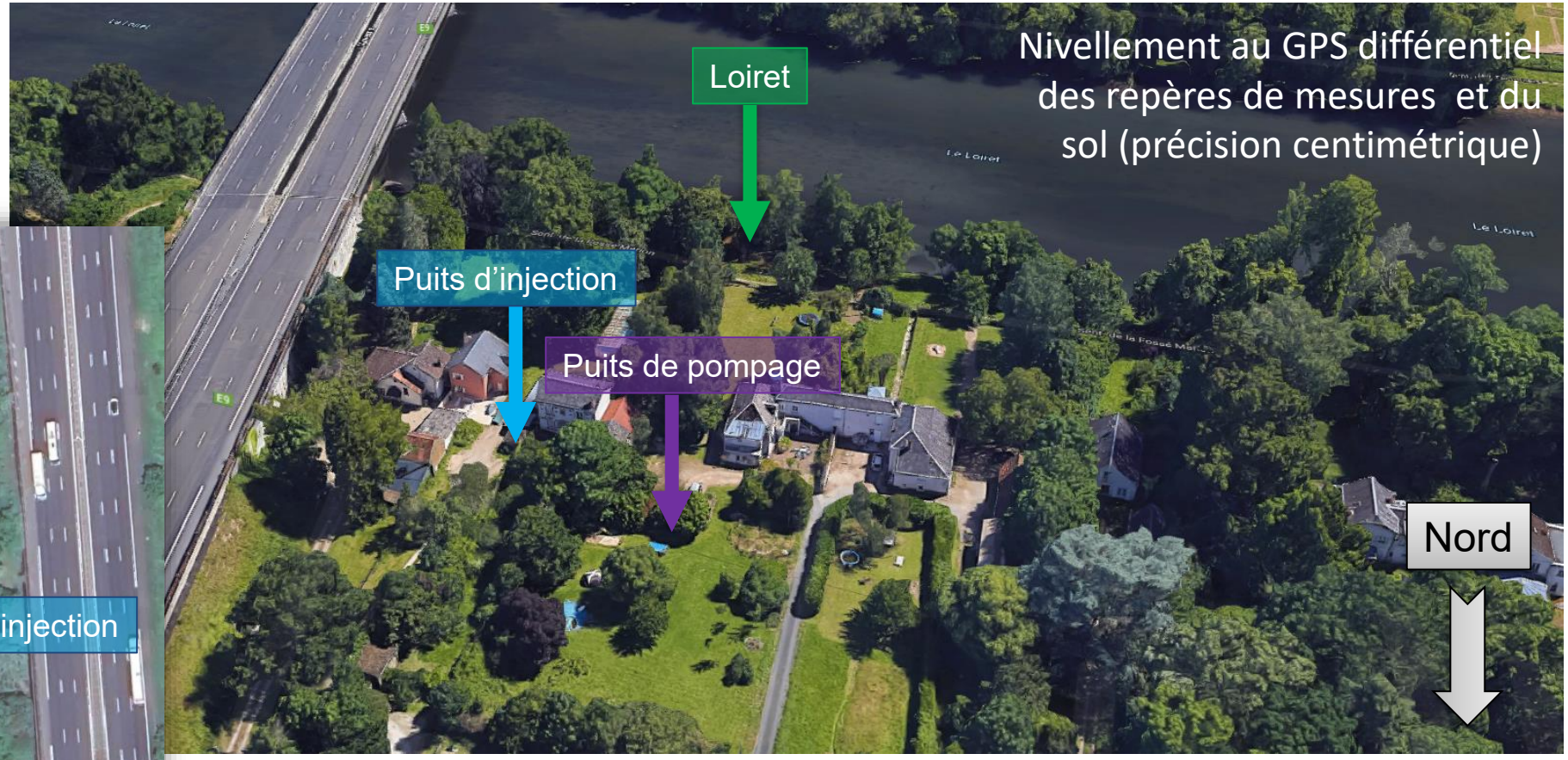


Schéma représentant une limite alimentée en lien avec l'aquifère

EXPÉRIMENTATIONS

Zone d'étude - Cartographie





Dispositif de pompage et traçage

EXPÉRIMENTATIONS

Protocol expérimental de l'essai de nappe

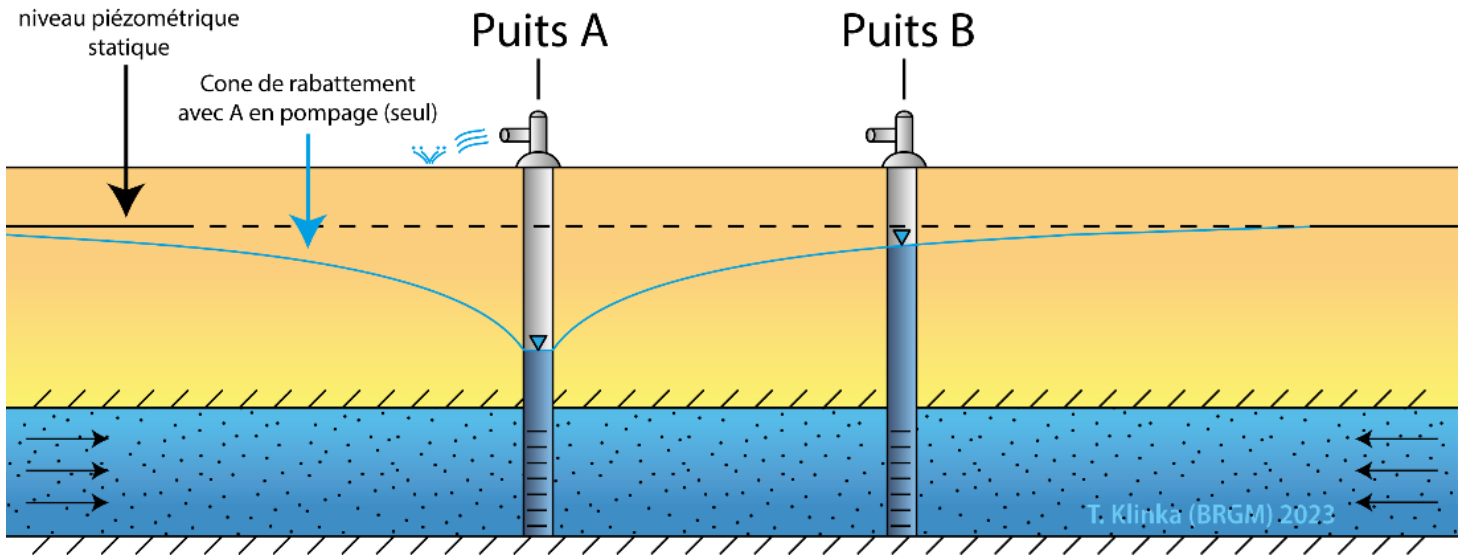
❑ Objectif : caractériser les propriétés hydrodynamiques de l'aquifère, identifier d'éventuels effets de limite (relations avec le Loiret par exemple)

❑ Matériel :
- Pompe Grundfos SQE7-40 (10 m^3/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 m3/h puis 7 m3/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 m3/h
  - Pendant 50 minutes
  - Suivi au puits de pompage et sur un puits d'observation

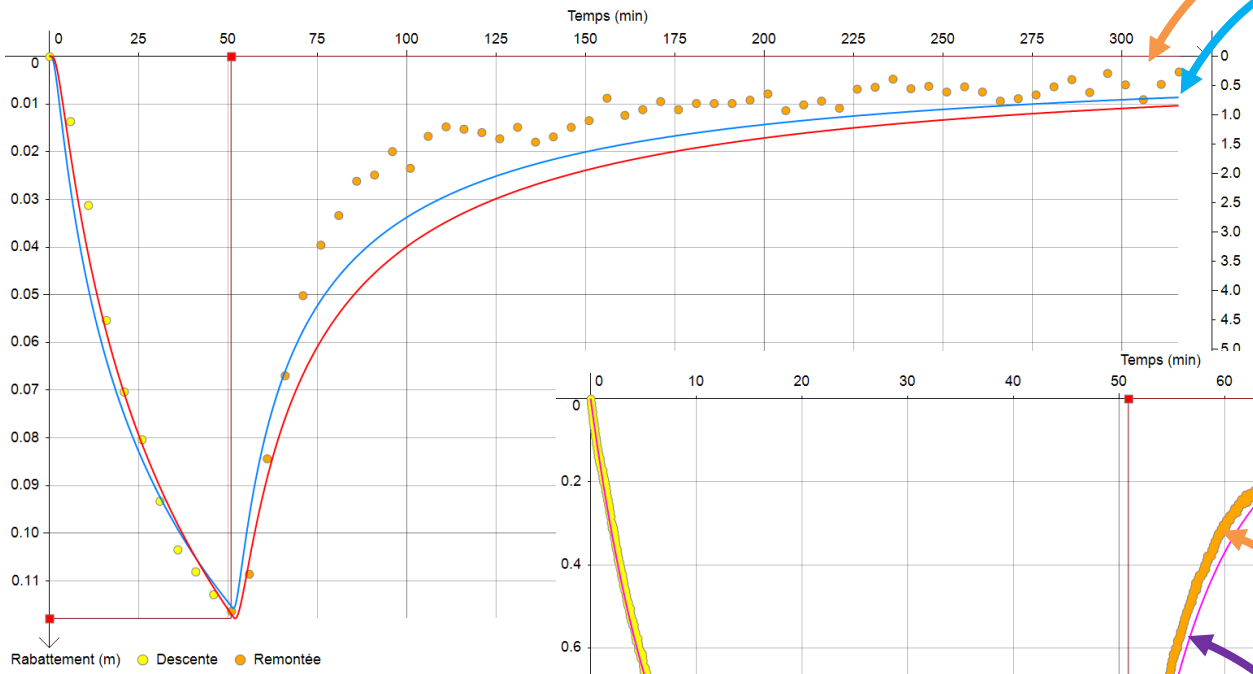
Manuel de OUAIP v2 – Outil d'Aide à l'Interprétation des Pompages

OUAIP v2

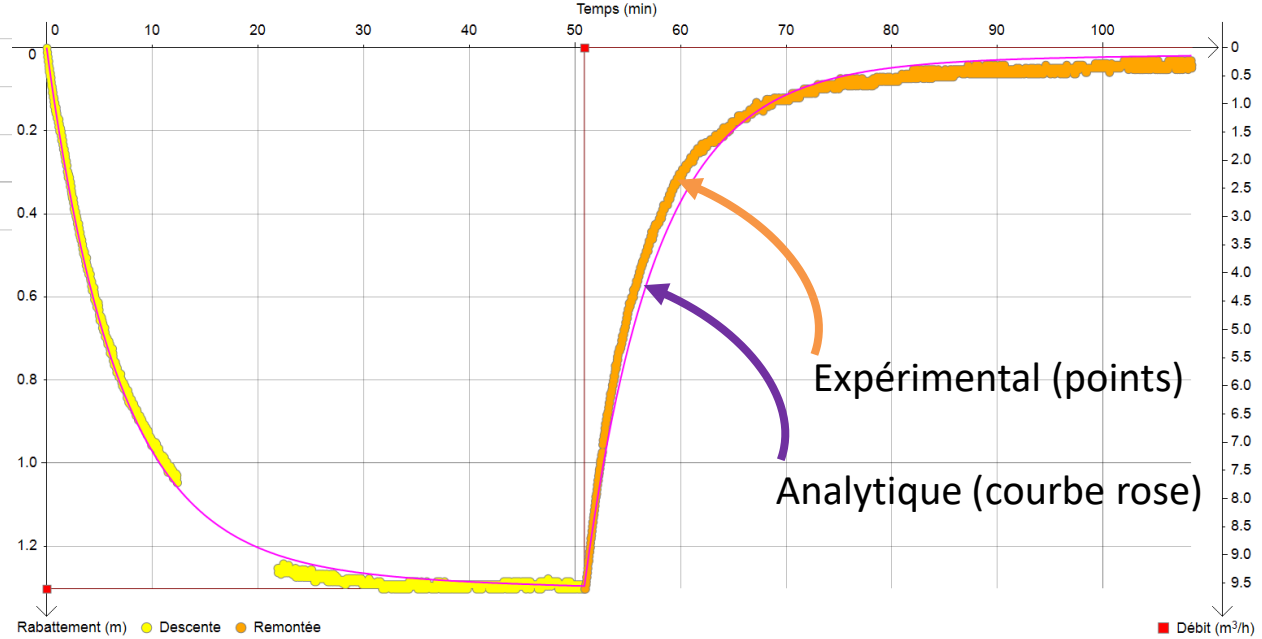
www.ouaip.brgm.fr

Expérimental (points)

Analytique (courbe bleu/rouge)



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



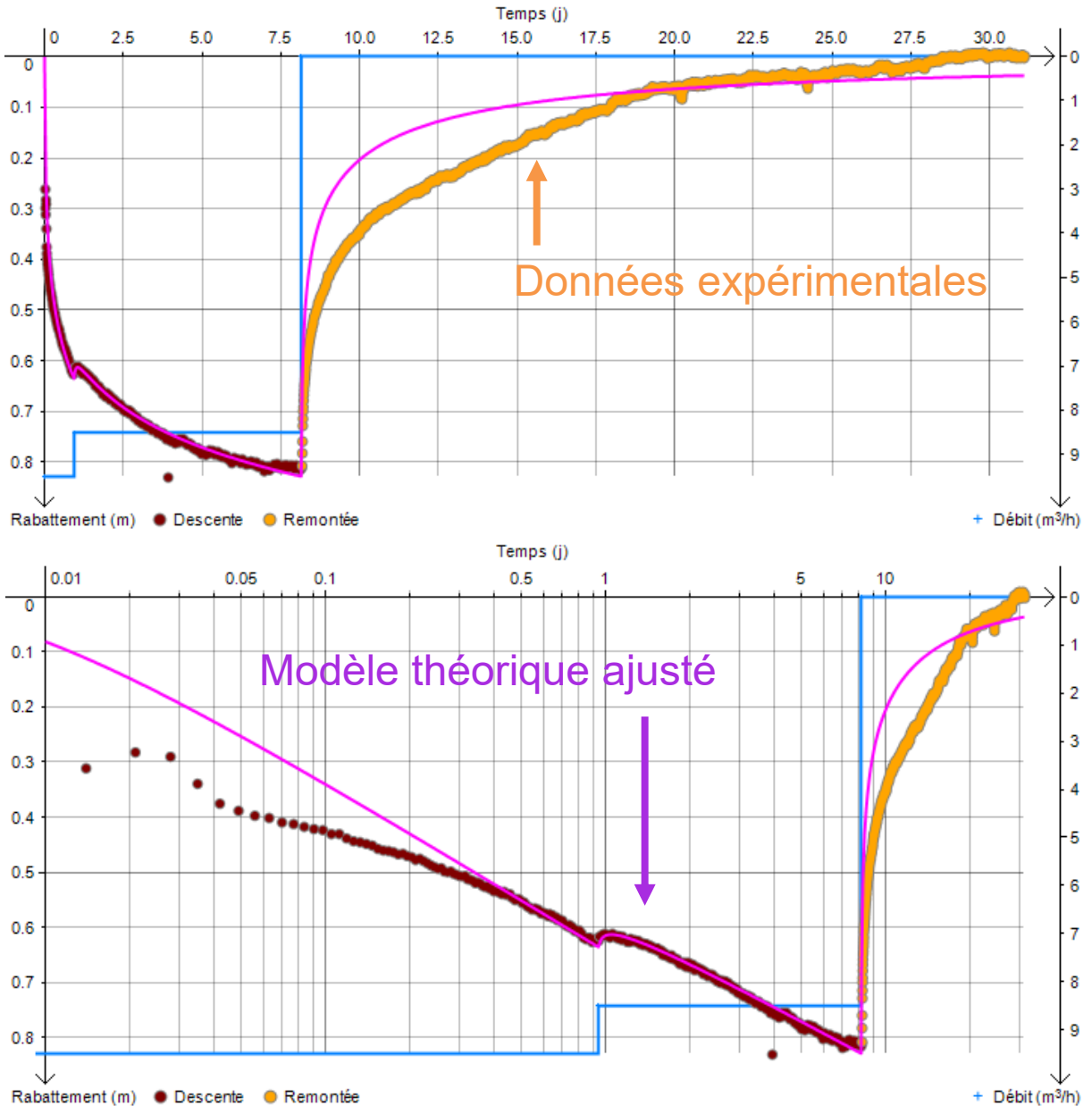
Expérimental (points)

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 = 1.6×10^{-3} m²/s
  - Notion de stock de l'aquifère
    - S = 2.3×10^{-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**

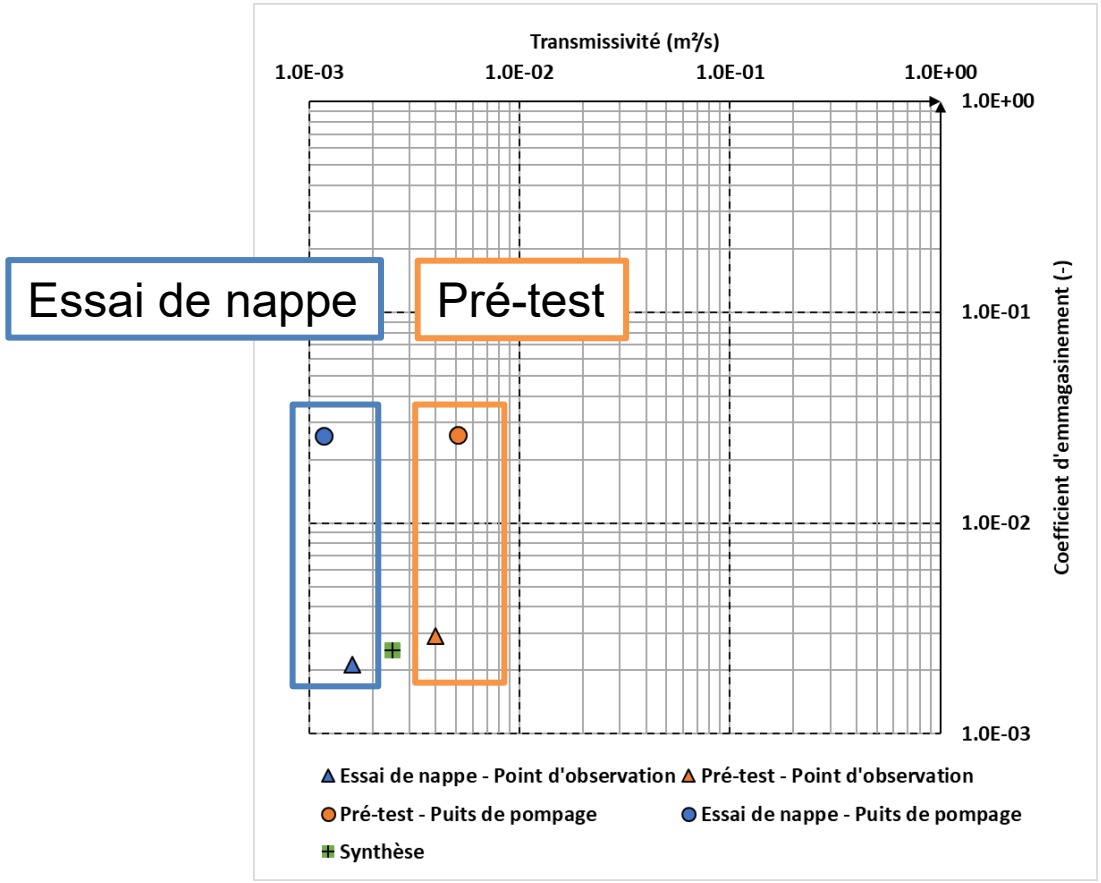
EXPÉRIMENTATIONS - POMPAGE D'ESSAI

Synthèse des interprétations

En moyenne :

- **T # 2.5x10^{-3} m²/s**
- **S # 2.5x10^{-3} (0.25 %)**
- **Diffusivité = 1**

		m²/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	-



Puits de pompage

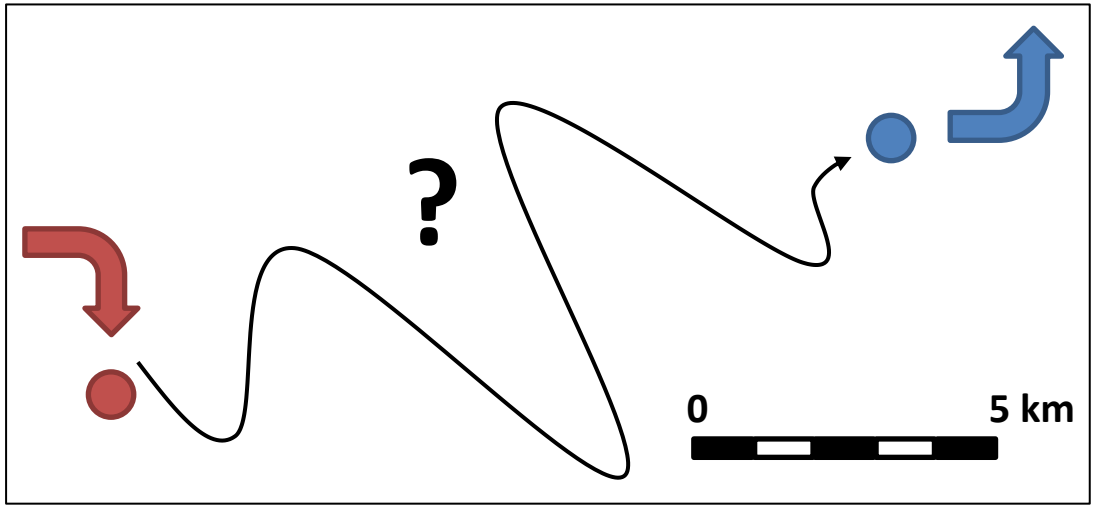
Point d'observation

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 :

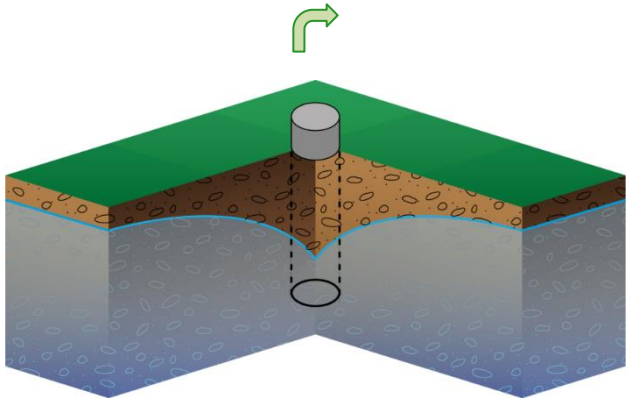
- un **point d'origine** et
- un ou **plusieurs points de détection**
- au moyen d'un **traceur** marquant l'eau.



❑ **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 m3/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

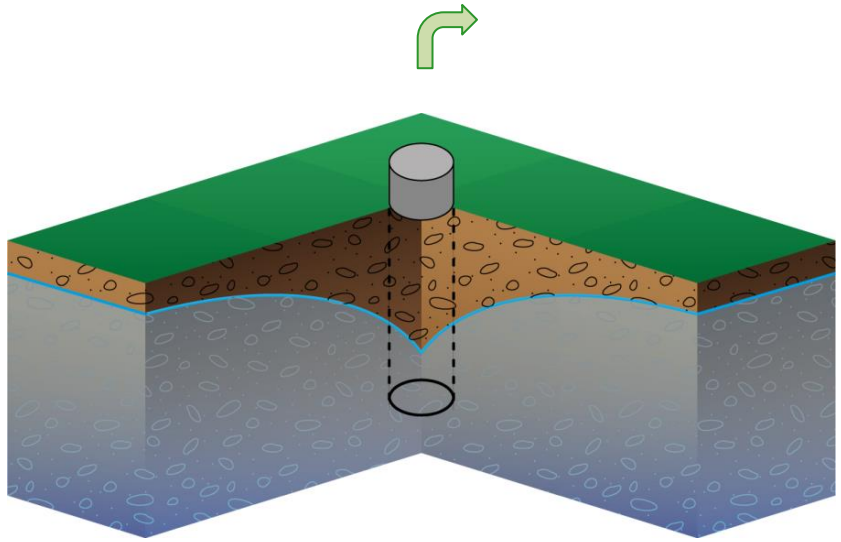
- Traçage en écoulement radial convergent entre puits le puits de pompage et le points d'injection

- Puits de pompage
  - Pompage continu à # 7 m3/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

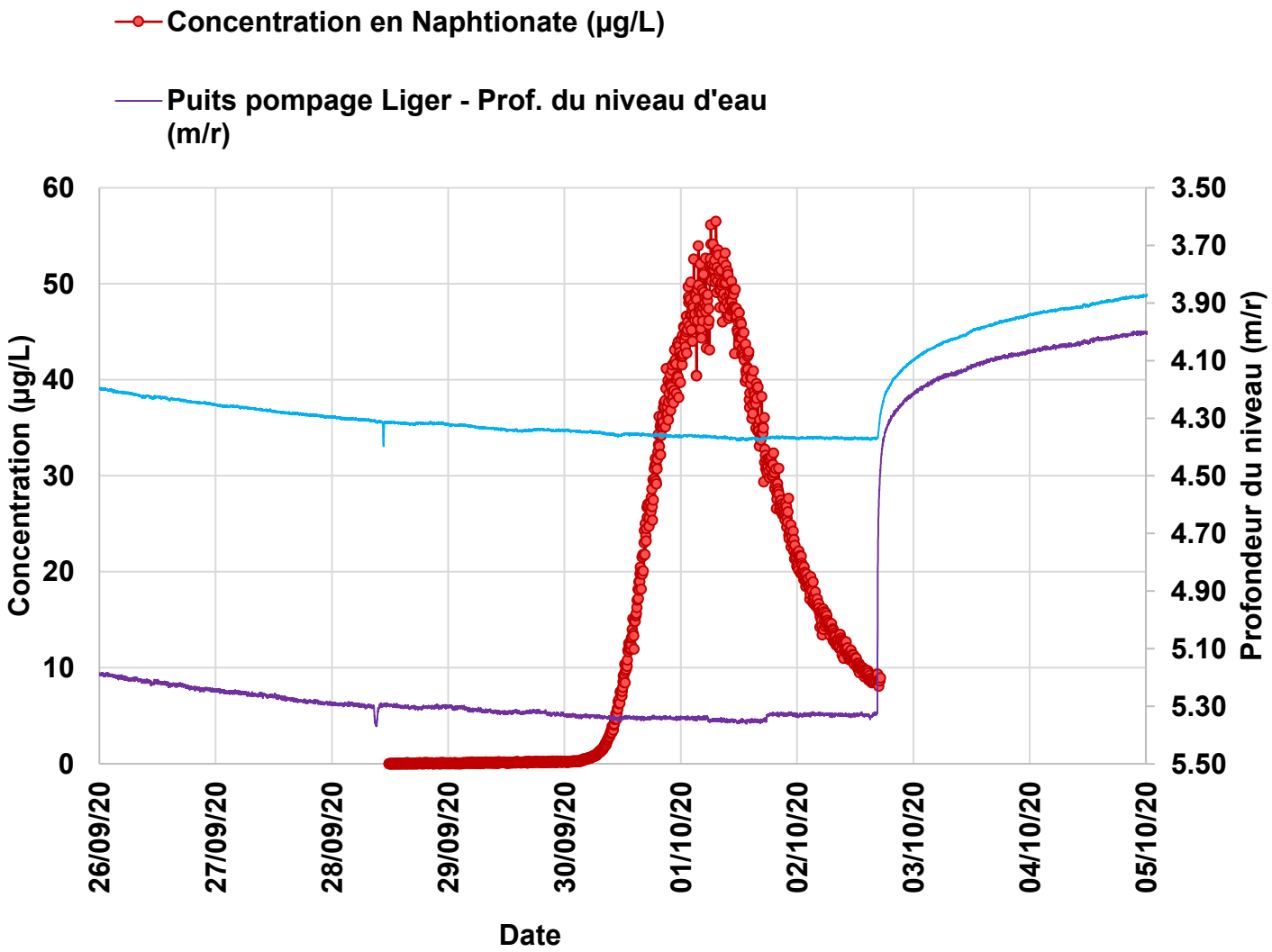
- Configuration d'écoulement : radial convergent

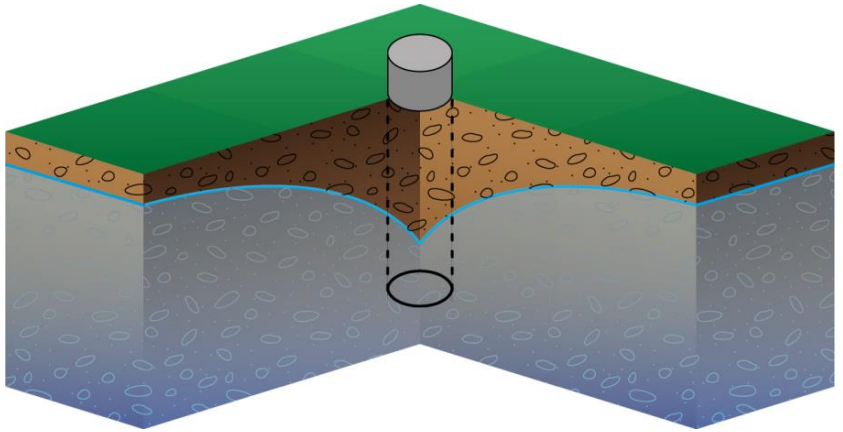


EXPÉRIMENTATIONS - ESSAI DE TRAÇAGE

Résultats

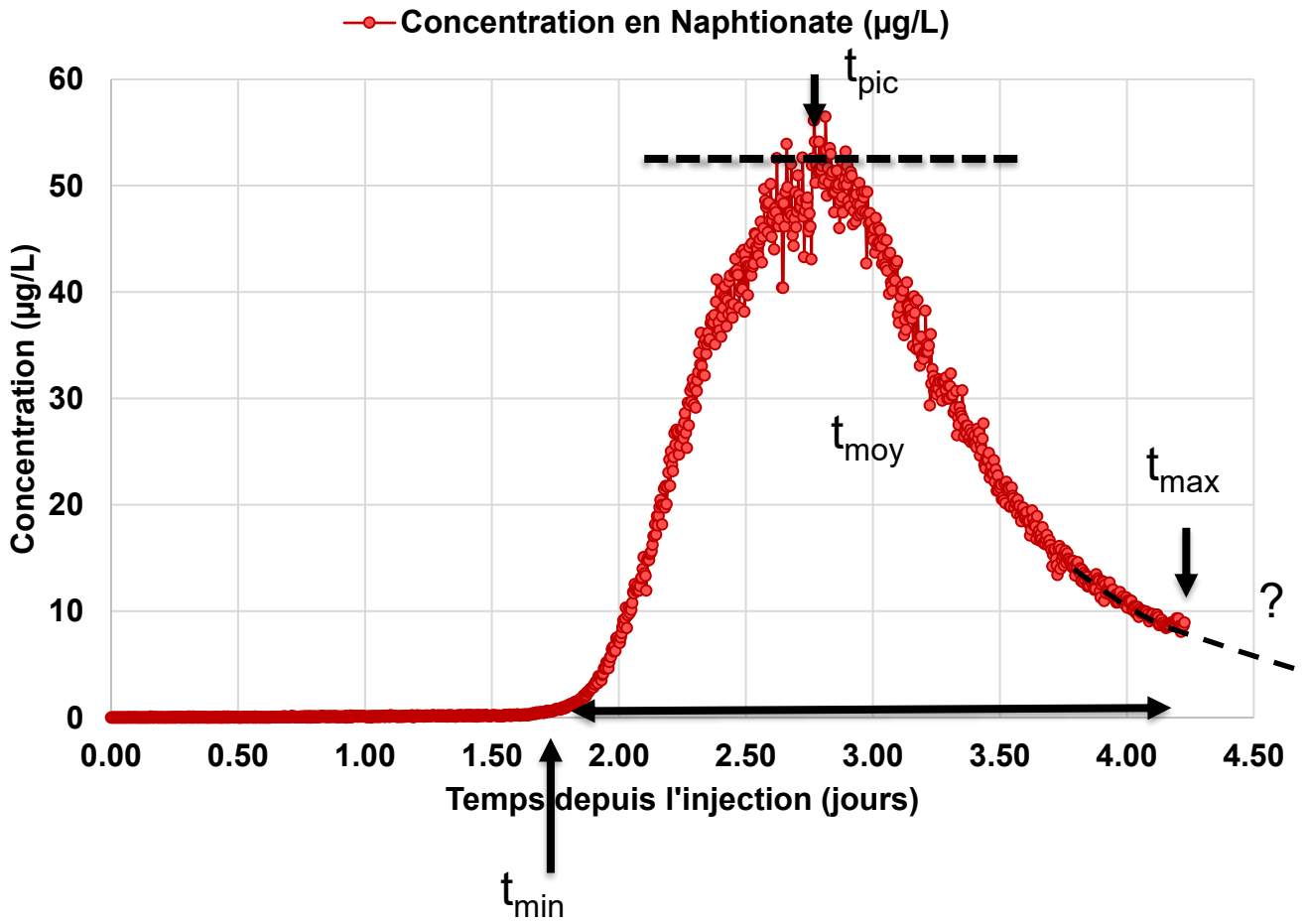
- Niveau dynamique et courbe de restitution



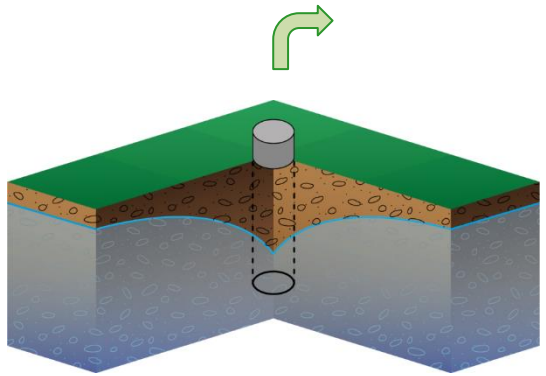


EXPÉRIMENTATIONS - ESSAI DE TRAÇAGE

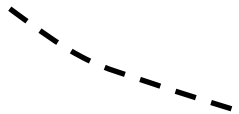
Résultats



- Vitesse maximum : 22 m/j (t_{min})
- Vitesse moyenne : 11 m/j (t_{moy})



- Masse restituée :
  - 10.84 g
- Taux de restitution (jusqu'à t # 4.2 j) :
  - 60.2 %
- Queue de restitution

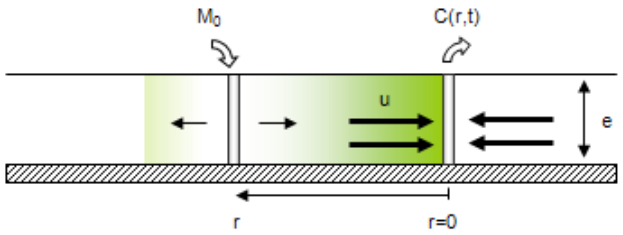


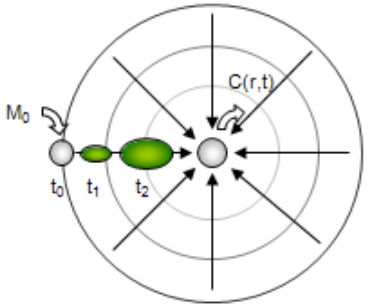
- Première apparition # 1.5 j
- Durée de restitution # 3.4 j
- Pic : 2.8 j
- Concentration maximale : 52 µg/L
- Temps moyen # 2.9 j
- Temps moyen de séjour # 2.9 j
- Temps de disparition > 4.9 j

EXPÉRIMENTATIONS - ESSAI DE TRAÇAGE

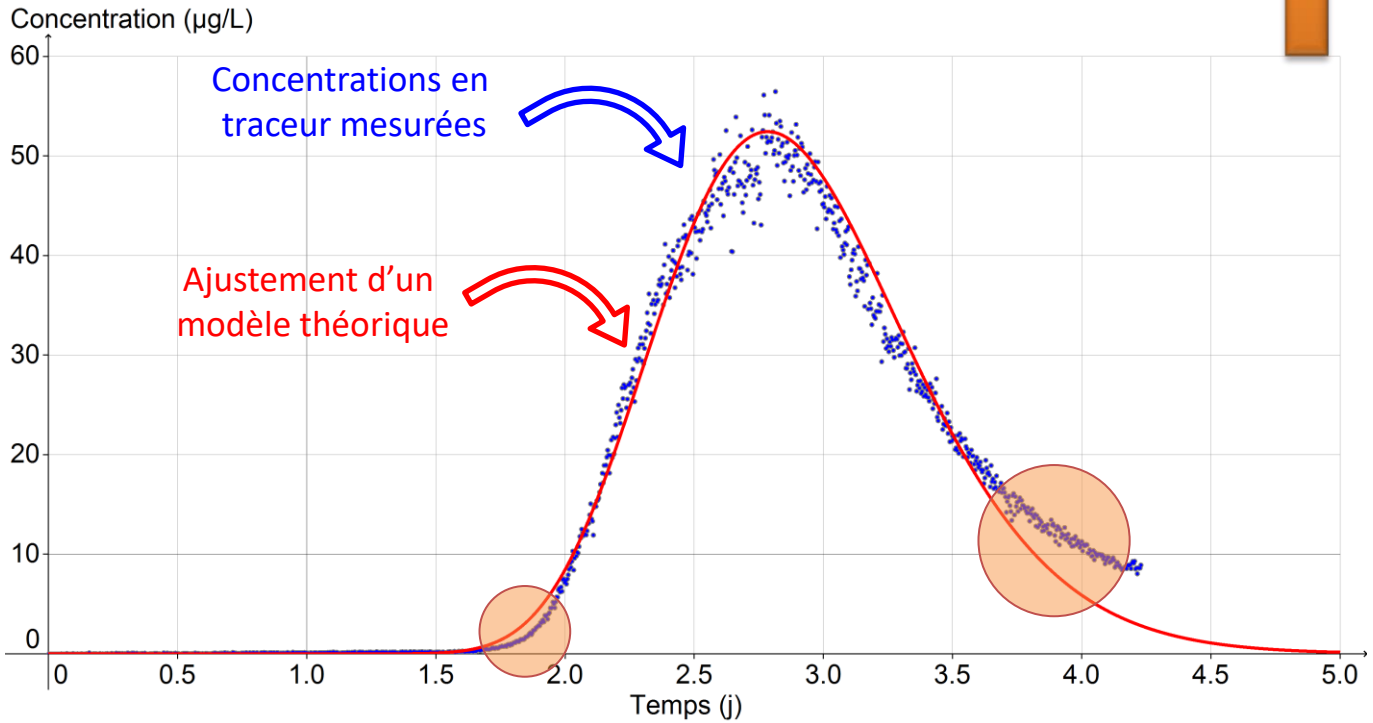
Interprétation

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



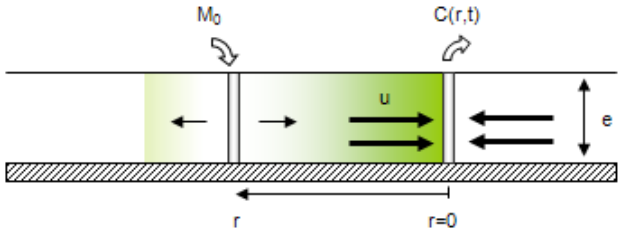


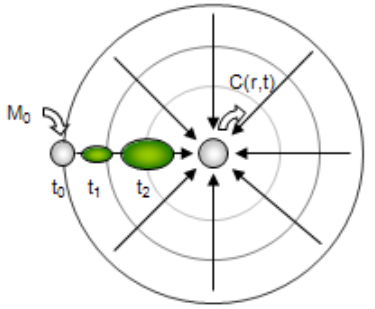
Paramètre	Valeur	Unité
Masse injectée	18.0	g
Masse restituée	10.8	g
Pourcentage de restitution	60.0	%
Porosité cinématique	2.3	%
Vitesse réelle	1.35E-04	m/s
	0.49	m/h
	11.66	m/j
Epaisseur aquifère	6.15	m
Dispersivité longitudinale	0.38	m
Distance puits - piézomètre	33	m
Débit de pompage	7	m3/h
	1.94E-03	m3/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

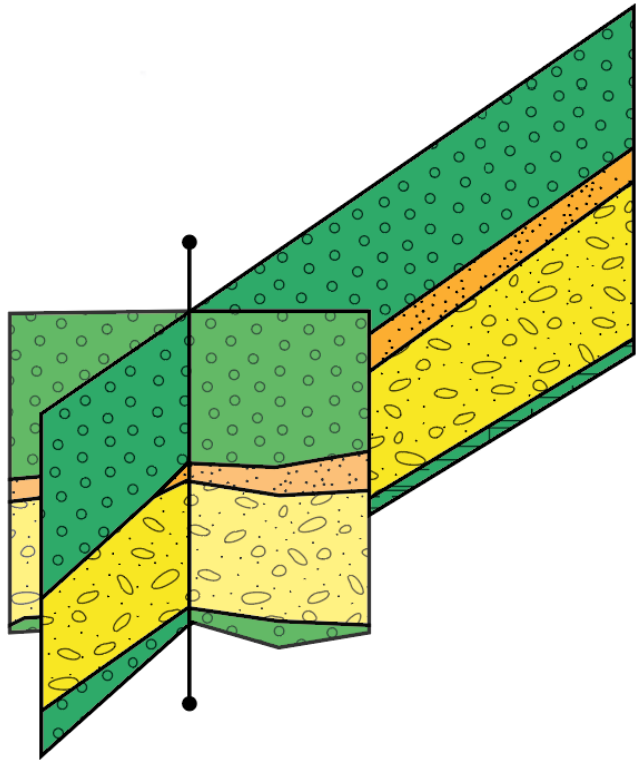




Conclusion

- 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 # 2.5x10^{-3} m²/s**
Coefficient d'emmagasinement	**S # 2.5x10^{-3}**
Porosité cinématique	**n_e # 2.3 % [2.3x10^{-2}]**
Vitesse maximale	**22 m/j** (u_{moy} = is 11 m/j)
Dispersivité	**α_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 2.5x10^{-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