

## 6.4.2 LES PERTES KARSTIQUES DU RUISSEAU DE LIMÈRE (SUD DU VAL D'ORLÉANS) LIVRENT ENFIN LEUR SECRET !

PAR JÉRÔME PERRIN, JACQUES MUNEROT

SSL Nevila Jozja – CETRAHE, Université d'Orléans

CHRISTIAN DÉFARGE

CETRAHE, ISTO (Université d'Orléans/INSU-CNRS/BRGM)

### 1) Préambule

Le sous-sol du Val d'Orléans contient un système karstique majeur essentiellement rechargé par des pertes du fleuve Loire et des sources alimentant la rivière Loiret (Lelong et Jozja 2008, Gutierrez et Binet 2010).

L'association SSL (Spéléologie Subaquatique Loiret), affiliée à la FFS, a pour objectif l'étude du système karstique du val d'Orléans et en particulier de contribuer à une meilleure connaissance des écoulements souterrains via les explorations en plongée des sources et les essais de traçage. Le SSL a réalisé des travaux d'élargissement de la source de l'Archer (commune de St-Hilaire-St-Mesmin, 45) en 2020, permettant son exploration sur une dizaine de mètres. Suite à ces travaux, en mars 2021, le SSL avec l'appui de CETRAHE (cellule R&D de traçage hydrogéologique de l'Université d'Orléans) a monté le « Projet de traçage hydrogéologique entre les pertes du ruisseau de Limère et les sources de l'Archer » qui a pu bénéficier du soutien financier des mairies de St-Hilaire-St-Mesmin et d'Olivet.

En effet, en 1981 puis en 1985, le laboratoire d'hydrogéologie de l'Université avait procédé à des injections de traceur (Uranine : 2,5 kg puis 4,1 kg) dans les pertes du ruisseau de Limère (en aval du golf du même nom, au sud d'Olivet, figure 1) et surveillé la restitution du traceur dans les sources de l'Archer (appelées récemment, et faussement, « Pie », du nom de la propriété qui les abritait) et du Loiret (Abîme et Bouillon). Les résultats furent négatifs ou douteux (tableau 1).

Date et conditions d'injection	Traceur	Résultat
21 janvier 1981, ruisseau de Limère débit 50-100 L/s	2,5 kg d'uranine	Négatif (source de la Pie/Archer, forage de Maison fort)
31 mars 1981, ruisseau de Limère débit <1 L/s	2,5 kg d'uranine	Négatif (source de l'Abîme (Ardoux amont)), douteux (source de la Pie/Archer)
27 avril 1984, ruisseau de Limère débit 24 L/s	4,1 kg d'uranine	Négatif (sources de St-Avit, Pie, Ardoux aval, Loiret aval) ; douteux (source de l'Abîme (Ardoux amont))

Tableau 1 : Essais de traçage antérieurs (pertes du ruisseau de Limère), voir aussi : <https://sigescen.brgm.fr/?page=carto>

### 2) Préparation de l'opération de traçage

Il s'est agi d'injecter le traceur (uranine) dans les pertes du ruisseau de Limère (Figure 1) en période de crue pour avoir un débit naturel et de surveiller les sources de l'Archer et quelques sources supplémentaires du système karstique du val d'Orléans (cf. Tableau 2). Le suivi des points de surveillance a été réalisé à la fois grâce à des sondes d'enregistrement in situ (fluorimètre FL24 et fluorimètre Stream)<sup>1</sup>, des fluocapteurs (sachets de charbon actif permettant de fixer le traceur) et des prélèvements d'eau automatiques et manuels réguliers pour analyses au laboratoire de l'Université avec un spectrofluorimètre Hitachi F2500.

Les points de surveillance sont localisés sur la carte figure 1.

1. Le fluorimètre STREAM a été gracieusement mis à disposition par la société TRAQUA (<https://traqua.be/>) via la participation du SSL à l'appel à projets TRAQUA 2022

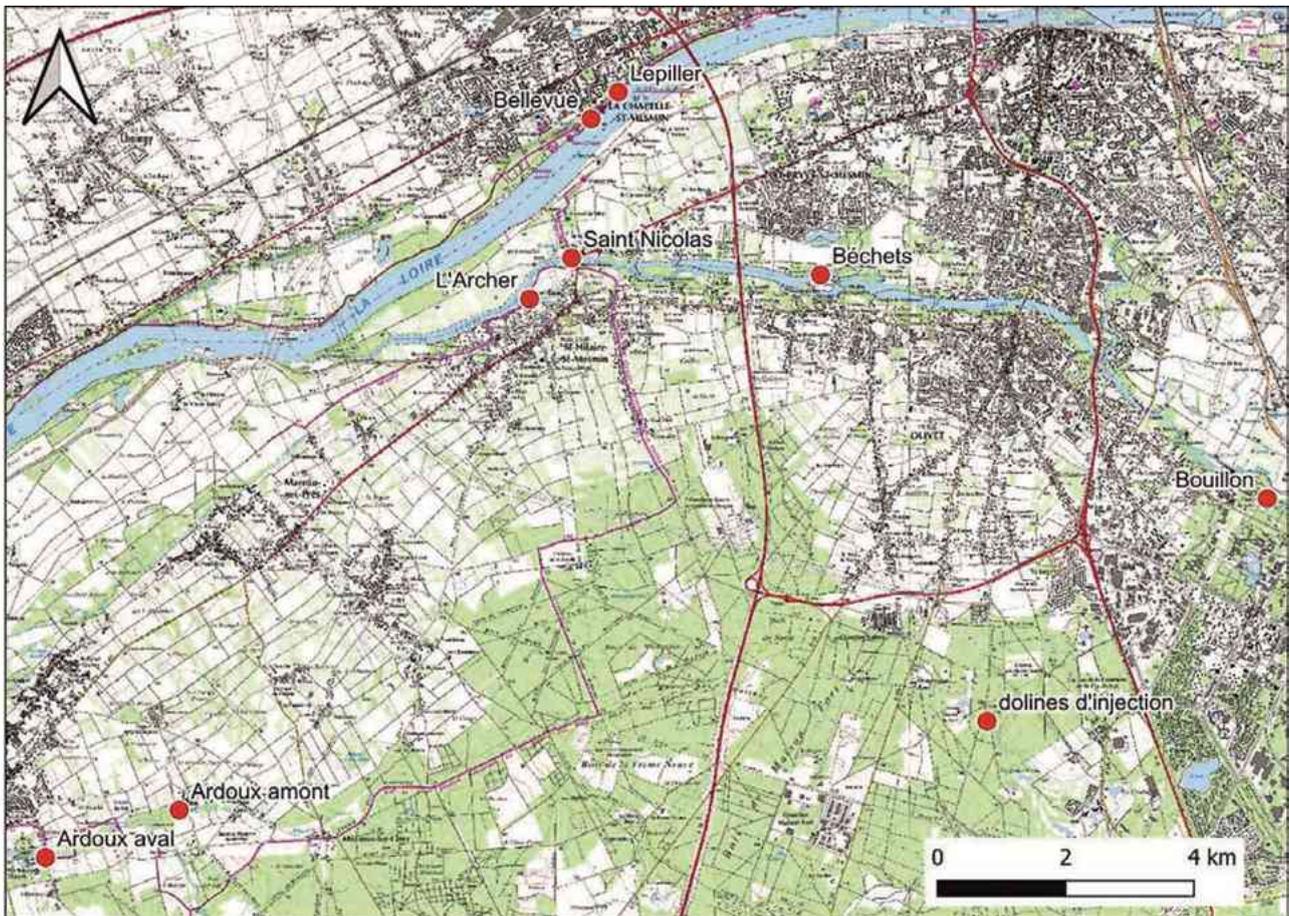


Figure 1 : Localisation du point d'injection et des points de suivi

Tableau 2 : Liste des points de surveillance

Point de surveillance	Remarque	Equipement
Source de l'Archer (aval)	Source plongée	Fluorimètre Stream & prélèvement manuel journalier à la passerelle (Archer aval)
Source de l'Archer (amont)	Source avec échelle limnimétrique	Préleveur automatique & prélèvement manuel journalier
Autres sources de l'Archer	Amont (plus minéralisée), rive gauche en amont source plongée	Prélèvement occasionnel
Source du Bouillon (Parc Floral)		Fluorimètre FL24 & prélèvements manuels
Le Loiret au Pont St-Nicolas (rive droite)	Informations sur les sources le long du Loiret en aval du Bouillon	Prélèvement manuel journalier & fluocapteur
Source du Pont St-Nicolas (rive droite)		Prélèvement manuel
Sources de La Chapelle St Mesmin	Sources de Bellevue, source « Lepiller »	Prélèvement manuel
Source de l'Abîme (Ardoux amont)	Mézières lez Cléry	Fluocapteurs & prélèvements manuels
Ruisseau L'Ardoux (Ardoux aval) + Source Bleue	Cléry-St-André	Fluocapteurs & prélèvements manuels
Source des Béchets	Olivet	Prélèvement occasionnel

### 3) Réalisation de l'opération de traçage

Après une année 2022 sèche et peu propice à l'opération, un créneau a enfin été trouvé mi-janvier 2023 pour réaliser le traçage. Le déroulement de celui-ci est décrit succinctement ci-dessous.

**Date et heure de l'injection :** 16 janvier 2023 de 16h à 16h30 (durée d'injection 30 min)

**Traceur :** Uranine (9 kilos ; cf. figure 2).

**Point d'injection :** 3 dolines de Limère situées dans un périmètre de moins de 10 m – latitude : 47,82923° / longitude : 1,8981° (figure 3).



**Figure 2 :** Injection du traceur le 16 janvier 2023 : trois dolines contiguës ont absorbé le traceur ; la plus large qui a permis la dissolution de la fluorescéine, la deuxième en bordure aval (visible sur la photo du bas), et la troisième, la plus creuse, décalée en rive gauche dans laquelle le traceur cascade (avant remplissage de la doline, photo en haut à gauche).



**Figure 3 :** Vue satellitaire du secteur d'injection : le ruisseau de Limère arrive du sud et se propage progressivement vers le nord pendant les crues jusqu'à être complètement absorbé par les dolines. Le point d'injection est indiqué par le cercle rouge.

**Conditions hydrologiques (figure 3) :**

1. Ruisseau de Limère en crue depuis le 15 janvier (lac temporaire rempli, figure 2) ;
2. Progression de la crue vers l'aval le 16 janvier (jusqu'au point d'injection) ;
3. Progression de la crue vers l'aval le 17 janvier matin (visite à 8h, environ 30 cm d'eau au-dessus des dolines d'injection, plus de trace de fluorescéine) ;
4. Progression de la crue vers l'aval le 19 janvier (visite à 13h30). Environ 5-10 cm de charge en plus sur les dolines d'injection. Débit entrant en amont du Lac temporaire estimé à 200-300 L/s ;
5. Décrue assez rapide puisque le 22 janvier (visite à 14h), les dolines sont à sec et l'eau est présente uniquement au niveau du lac temporaire (retour à l'état au 15 janvier).

**4) Suivi de la restitution**

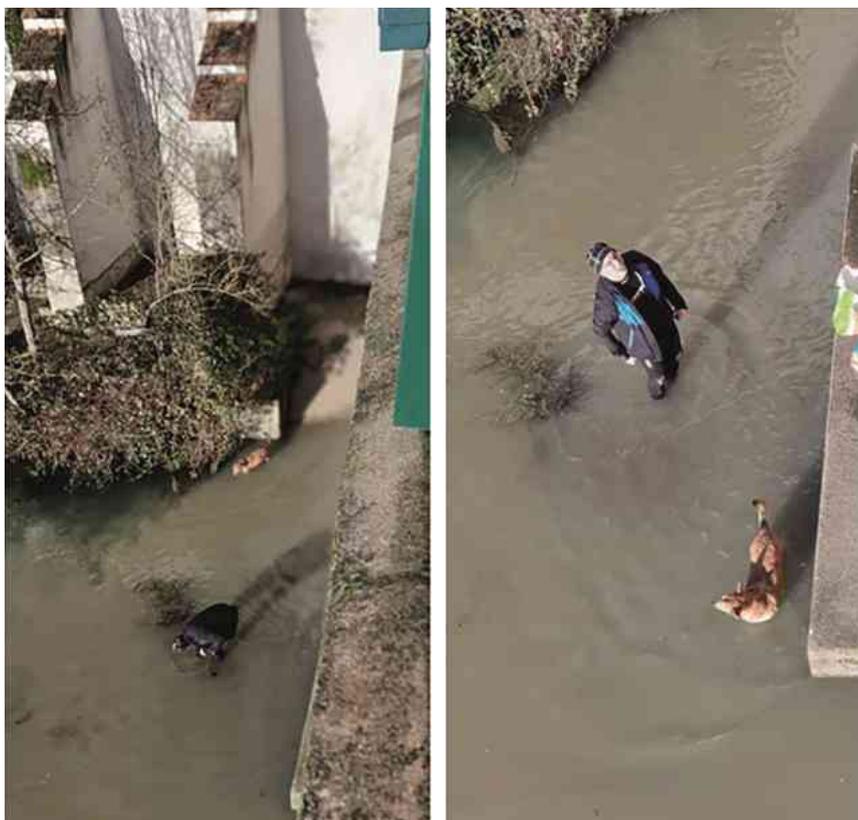
Le suivi des sources a été réalisé par des élèves-ingénieurs de Polytech'Orléans dans le cadre de leur projet de fin d'études (relève du préleveur automatique installé à la source amont de l'Archer : source du limnimètre), la mairie de St-Hilaire-St-Mesmin (prélèvements quotidiens de la source du limnimètre, l'Archer aval et rivière Loiret au niveau du Pont St-Nicolas) et l'association SSL (fluorimètre FL24 à la source du Bouillon, fluorimètre STREAM source de l'Archer aval (Figure 4), fluocapteurs sur l'Ardoux (amont et aval) et le Loiret au niveau du pont St-Nicolas, échantillons sur les sources de Bellevue, les points suivis avec les fluocapteurs, la source Archer aval, la source du pont St-Nicolas et la source des Béchets).



*Figure 4 : Mise en place du fluorimètre STREAM à la source de l'Archer aval le 18 janvier après-midi*

Les fluocapteurs ont été installés (figure 5) chaque fois pour une période d'une semaine et ce sur 3 semaines au total :

1. 15/1/23 – 18/1/23
2. 18/1/23 – 25/1/23
3. 25/1/23 – 31/1/23



**Figure 5 : Installation d'un fluocapteur dans le Loiret au Pont St Nicolas (le 18 janvier 2023, pendant la crue et un Loiret turbide)**

Les conditions hydrologiques pendant la période de restitution ont été influencées par une crue locale sur le val d'Orléans (ayant permis l'injection dans les pertes de Limère) avec les observations suivantes (Tableau 3, Figure 6).

**Tableau 3 : Conditions hydrologiques durant l'essai de traçage**

	Ardoux aval (h passerelle)	Bouillon (h limnimètre)	Archer amont (h limnimètre)	
15/1/23 16h	60 cm			Loiret clair le 15/1/23 lors de l'installation du fluocapteur au Pont St-Nicolas
16/1/23 14h30		37 cm		
18/1/23 17h	81 cm		32 cm	Ardoux aval très turbide, Loiret très turbide le 18/1/23 au Pont St Nicolas
20/1/23 11h		33 cm		
21/1/23 17h	60 cm		32,5 cm	600 L/s débit estimé Archer aval (passerelle)
25/1/23 16h	47 cm		30,5 cm	
28/1/23 11h		28 cm		
31/1/23 17h	41 cm		29 cm	

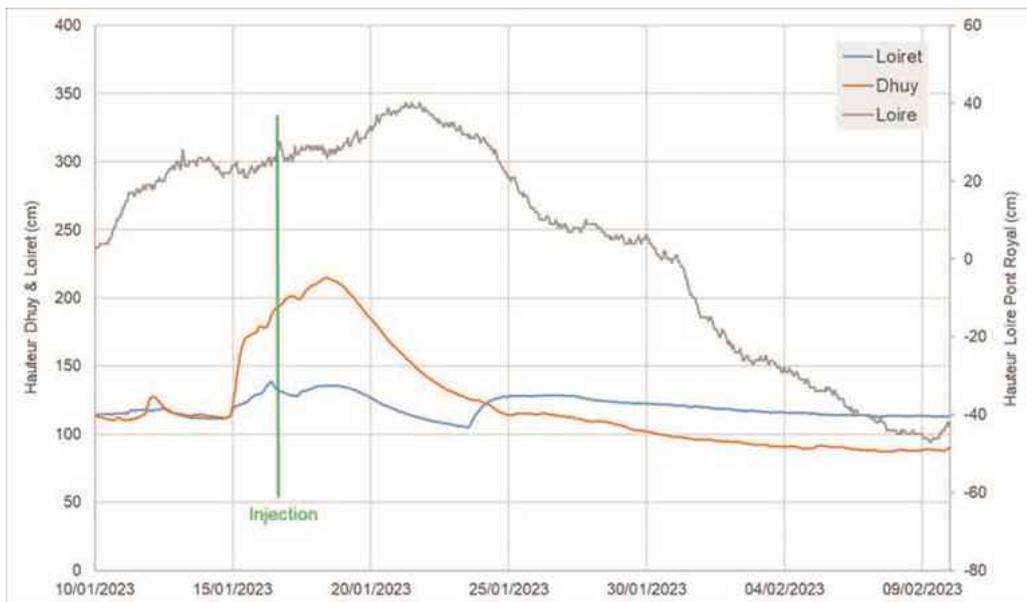


Figure 6 : Conditions hydrologiques lors de l'essai de traçage (source HydroPortail). Loire station du Pont Royal, Dhuy station de Sandillon, Loiret station du Pont Général Leclerc

## 5) Résultats de l'opération de traçage

### a) Sources de l'Archer

Le traceur est observé dès le 18 janvier aux sources de l'Archer (limnimètre et aval) (Figure 7). Le temps de première arrivée du traceur est d'environ 41 heures après l'injection, soit une vitesse maximale de transit de 159 m/h (6500 m/41 h). Le pic de concentration (2,1 µg/L) est observé 54 heures après l'injection, soit une vitesse moyenne (modale) de 120 m/h (6500 m/54 h). Ces vitesses sont typiques des écoulements karstiques (en conduits) dans le val d'Orléans (Lepiller 2006).

La restitution est très similaire à la source limnimètre et aval, le petit écart résiduel pouvant être causé par de légères différences de calibration. Les concentrations mesurées quotidiennement à l'aval de l'Archer (au niveau de la passerelle) sont identiques à celles mesurées aux sources. Les différentes sources de l'Archer semblent donc être alimentées par un même drain karstique. La source Archer amont montre cependant une concentration moindre en traceur, ce qui pourrait être expliqué par la contribution additionnelle d'eau souterraine non tracée (par exemple issue d'un aquifère local au niveau du coteau). Cette différence est aussi observée sur les conductivités électriques et les températures, la source Archer amont étant plus minéralisée et montrant des amplitudes de température moindres.

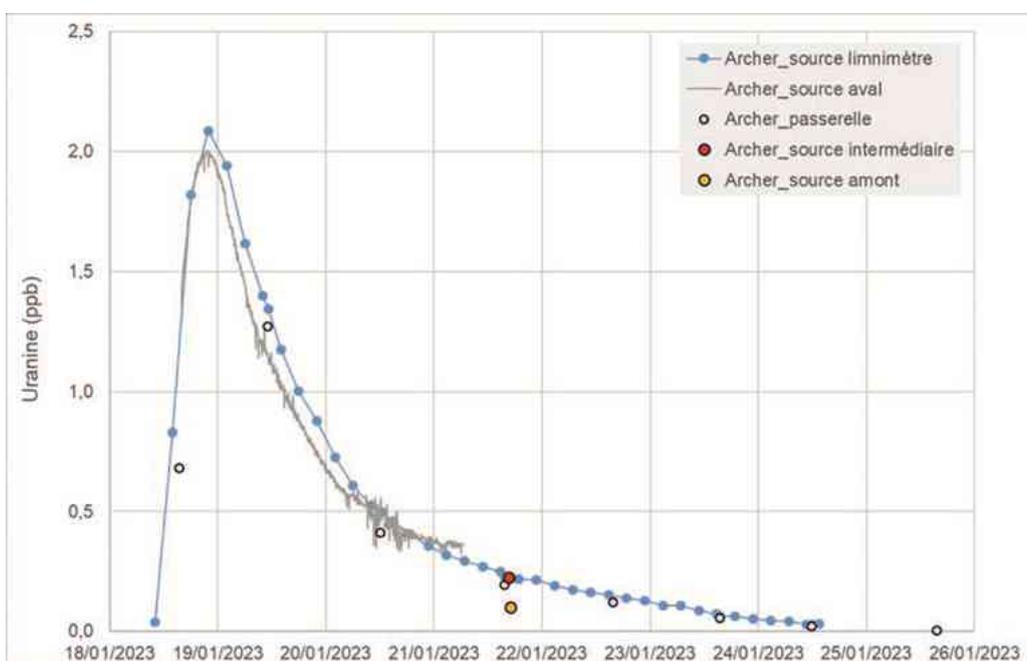


Figure 7 : Restitution du traceur aux sources de l'Archer

Le débit de l'Archer a été estimé à 600 L/s le 21 janvier au niveau de la passerelle aval (mesures de vitesse avec un flotteur et mesure de la section avec un décimètre). En faisant l'hypothèse que ce débit est représentatif de la période de passage du traceur (18 au 25 Janvier), la masse de traceur restituée par les sources de l'Archer correspond à 170 grammes, soit 1,9 % de la masse injectée (170 gr/9000 gr).

### b) Les autres sources

Le traceur est repéré dans la rivière Loiret dès le 18 janvier au niveau du Pont St Nicolas (1er échantillon récolté), et, vu l'allure de la courbe, il n'est pas exclu que le traceur soit même arrivé la veille (Figure 8). Le traceur dans le Loiret est issu des différentes sources qui l'alimentent, telles que les sources des Béchets et du Pont St Nicolas. Les sources plus en amont (Bouillon et Abîme dans le Parc floral) n'ont montré aucune présence de traceur. Il est donc vraisemblable que le conduit karstique issu des pertes de Limère n'alimente que les sources du secteur aval de la rivière Loiret.

L'échantillonnage des points d'eau sur le Loiret n'a pas été assez fréquent et a démarré après la première arrivée du traceur, il n'est donc pas possible d'estimer les temps de transit et les vitesses de transit. À l'allure de la courbe obtenue au Pont St Nicolas (rivière Loiret), il est vraisemblable que le traceur soit arrivé d'abord dans les sources du Loiret (Béchets et autres sources dans le même secteur) et ce avant d'atteindre les sources de l'Archer. Cette hypothèse semble corroborée par la présence de traceur à la source des Béchets le 21/01 puis son absence dans les échantillons prélevés ultérieurement (23/01 et 25/01) alors que les sources aval montrent toujours du traceur.

La source des Béchets, source du Loiret la plus proche du point d'injection du traceur, est située à 5000 m en ligne droite des pertes de Limère (Figure 9).

Le traceur est également observé dans des concentrations plus faibles aux sources de la Chapelle St Mesmin, en rive droite de la Loire (source de Bellevue et source Lepiller). La distance à vol d'oiseau entre ces sources et les pertes de Limère est de 7500 m.

Le suivi sur le cours d'eau l'Ardoux (amont et aval) ne montre pas trace d'uranine que ce soit dans les échantillons ou sur les fluocapteurs à l'exception du dernier fluocapteur Ardoux aval (période du 25 au 31/01). En complément, un seul échantillon a été prélevé le 21 janvier à la source Bleue de Cléry qui sourd en rive droite de l'Ardoux aval (~50 m en amont du positionnement du fluocapteur) ; cette source a un débit modeste qui n'a pas été mesuré mais qui semble de l'ordre de 10 à 100 L/min. L'analyse de l'échantillon prélevé a montré la présence d'uranine en faibles concentrations (0,08 ppb). On peut formuler l'hypothèse d'une arrivée plus tardive de traceur à cette source qui aurait été essentiellement fixé sur le dernier fluocapteur positionné sur l'Ardoux aval. Cette hypothèse nécessite d'être confirmée par un suivi plus détaillé de la source Bleue dans le cadre d'une nouvelle opération de traçage.

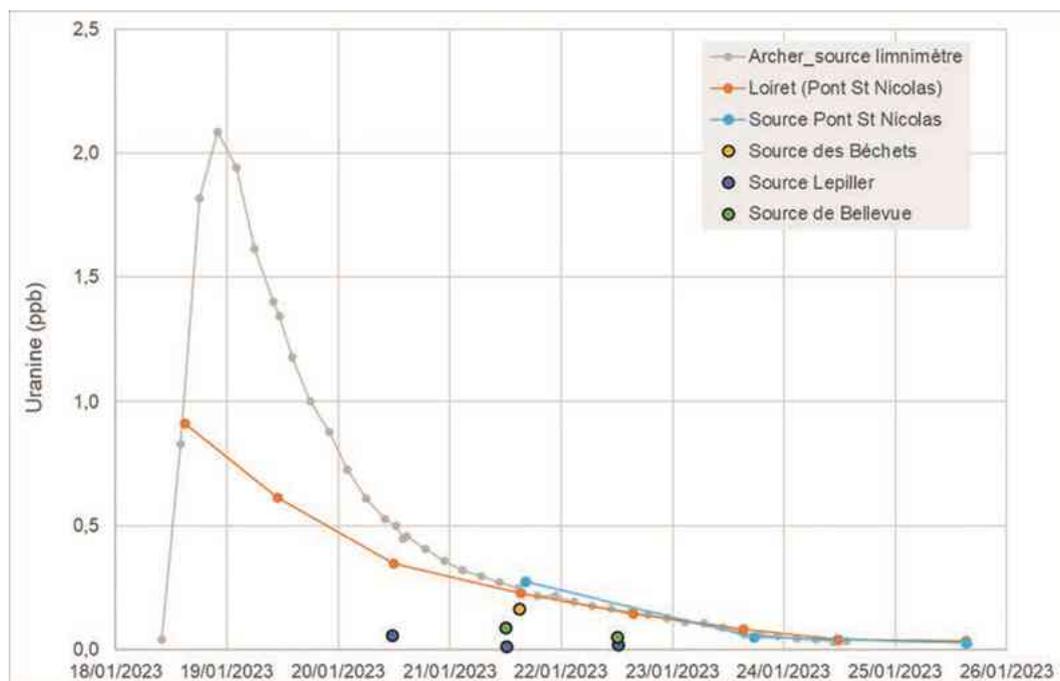
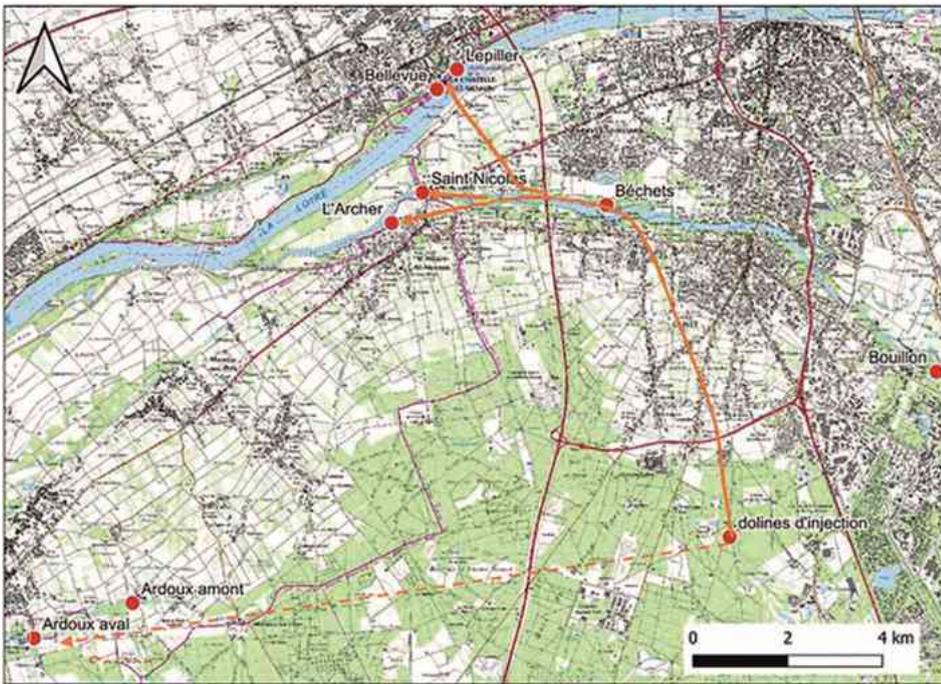


Figure 8 : Restitution du traceur aux autres sources (rivière Loiret et rive droite de Loire)



*Figure 9 : Parcours hypothétique du traceur sur la base des temps d'arrivée aux différentes sources et de la connaissance préalable du système de drains karstiques (Jozja et al. 2011)*

## 6) Conclusion et remerciements

Cette expérience de traçage est un succès et permet de répondre à la question du drainage des pertes de Limère. Les vitesses de transit du traceur dans les drains karstiques, plus élevées qu'anticipé, n'ont pas permis de documenter le début de la restitution sur les sources amont, le long du Loiret. L'hypothèse proposée pour le cheminement du traceur est un drain karstique orienté vers le nord au droit des pertes et rejoignant le Loiret à proximité de la source des Béchets qui pourrait constituer le point de restitution le plus en amont ; ensuite le traceur aurait parcouru les drains karstiques déjà identifiés par des traçages antérieurs (Jozja et al. 2011) suivant l'orientation de la rivière Loiret pour alimenter sources du Clouseau (non surveillée), du Pont St Nicolas et de l'Archer auquel se rajoute un drain diffluant vers le nord-ouest pour alimenter les sources de la Chapelle-St-Mesmin, en rive droite de Loire (Figure 9).

La restitution du traceur est faible aux sources de l'Archer, de l'ordre de 2 % de la masse injectée ; elle est vraisemblablement plus importante dans la rivière Loiret car les débits sont largement plus élevés. Aucune estimation n'est proposée au vu du manque d'information sur les débits.

Sur la base de ces nouvelles connaissances, une nouvelle expérience de traçage pourrait être réalisée avec un suivi plus fin (du traceur et des débits) des sources le long du Loiret et de la Chapelle pour confirmer les hypothèses et préciser les masses restituées.

Nos remerciements aux mairies de St-Hilaire-St-Mesmin et Olivet pour l'intérêt porté au projet et le soutien financier. Un remerciement tout particulier à Monsieur Pascal Delaugère pour sa grande disponibilité lors de la préparation puis pour le suivi quotidien de la restitution du traceur. L'opération a été reconnue éligible en tant que Projet Sportif Fédéral par la Fédération Française de Spéléologie (FFS) (axe : partage de connaissances sur le karst et une sensibilisation à sa fragilité écologique) et a bénéficié d'une subvention de l'Agence Nationale du Sport (ANS).

Les élèves-ingénieurs de Polytech'Orléans Alexandre Ferreira-Torcato et Kevin Perrette sont remerciés pour leur contribution à l'obtention des résultats présentés, ainsi qu'Audrey Dufour, ingénieure d'études à CETRAHE, pour leur encadrement au laboratoire ainsi que pour avoir réalisé certaines des analyses.

Nous remercions également la société TRAQUA pour la mise à disposition d'un fluorimètre STREAM et le BRGM pour la mise à disposition d'un fluorimètre FL24.

## Références

- Gutierrez A, Binet S, 2010** : La Loire souterraine : circulations karstiques dans le val d'Orléans. BRGM – La Loire, agent géologique. Géosciences Magazine, n° 12, décembre 2010.
- Jozja N. et al. 2011** : Apport des traçages à la connaissance du système karstique du Val d'Orléans. Historique et nouvelles avancées. Revue Géologues n°167, p. 70-74 : [https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/558114/filename/O\\_Val\\_d\\_Orla\\_ans\\_extrait\\_du\\_167.pdf](https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/558114/filename/O_Val_d_Orla_ans_extrait_du_167.pdf)
- Lelong F., Jozja N., 2008** : Fonctionnement du système karstique du Val d'Orléans : les acquis, les interrogations. Journées techniques de CFH-AIH, Orléans « Hydrogéologie et Karst au travers des travaux de Michel Lepiller », p 107-116, 17 mai 2008 : [http://www.polytech.free.fr/colloque\\_MichelLepiller/Actes/actes/pdf/Fonctionnement du système karstique du Val d'Orléans\\_les acquis, les interrogations.pdf](http://www.polytech.free.fr/colloque_MichelLepiller/Actes/actes/pdf/Fonctionnement%20du%20système%20karstique%20du%20Val%20d'Orléans_les%20acquis,%20les%20interrogations.pdf)
- Lepiller M., 2006** : Val d'Orléans. In: Aquifères et eaux souterraines en France, J.-C. Roux éditeur, BRGM I, pp. 200-214.