



Date : 04/05/2023

Traçage des pertes de Limère

- Rapport Final -

1. Préambule

L'association SSL (Spéléologie Subaquatique Loiret), association loi 1901, 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. L'association collabore régulièrement avec le laboratoire de traçage hydrogéologique de l'Université d'Orléans, le CETRAHE (Cellule R&D d'Expertise et de Transfert en Traçages Appliqués à l'Hydrogéologie et à l'Environnement). Le SSL a réalisé des travaux d'élargissement de la source de l'Archer (commune de St-Hilaire-St-Mesmin) en 2020, permettant son exploration sur une dizaine de mètres. Suite à ces travaux, en mars 2021, le SSL avec l'appui du CETRAHE 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 (auquel CETRAHE a en quelque sorte succédé) 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 à chaque fois négatif ou douteux (voir BD traçage sur le SIGES Centre Val de Loire : <https://sigescen.brgm.fr/?page=carto>).

2. Préparation de l'opération de traçage

Il s'est agi d'injecter le traceur (uranine, fluorescéine sodique) dans les pertes du ruisseau de Limère (Fig. 1) en période de crue pour avoir un débit naturel et de surveiller les sources de l'Archer (également décrites sous l'appellation « sources de la Pie ») et quelques sources supplémentaires du système karstique du val d'Orléans (cf. Tableau 1). 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), 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.

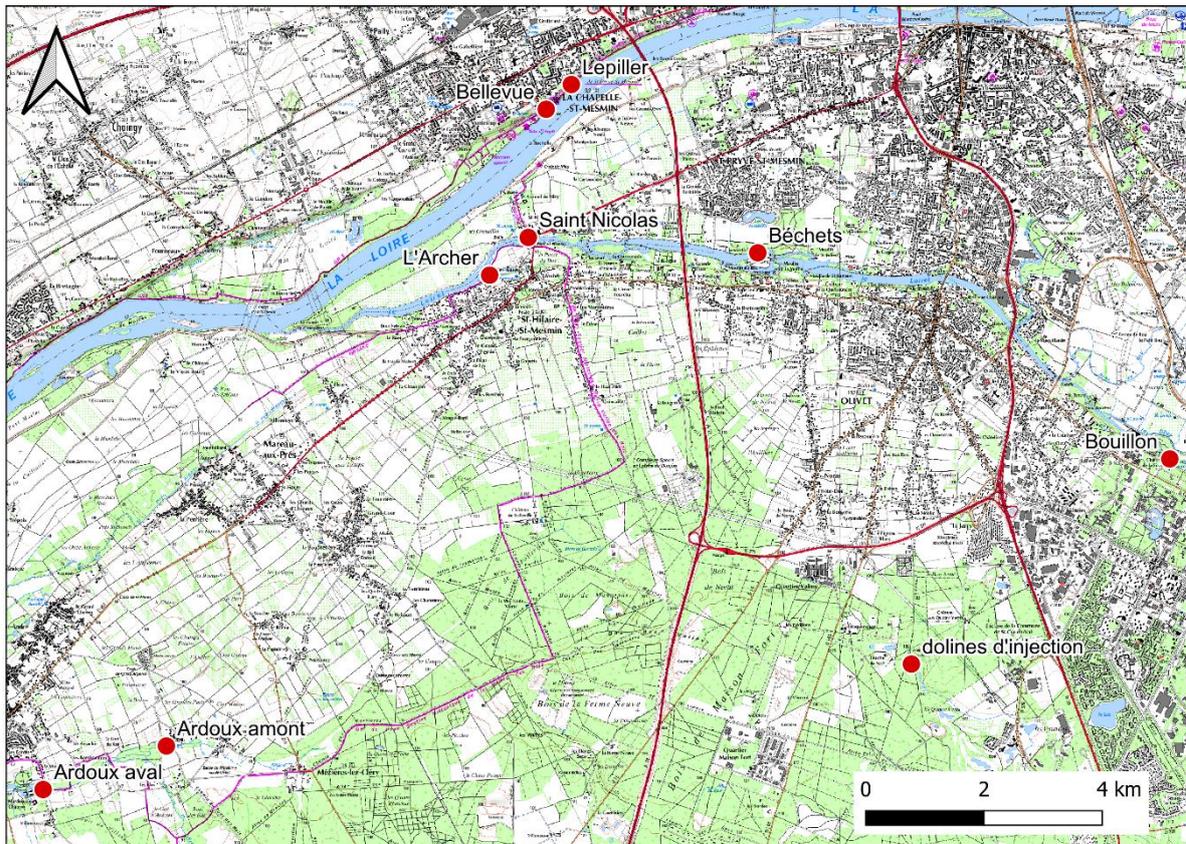


Figure 1 : localisation du point d'injection et des points de suivi

Tableau 1 : 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'Abime (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)

Point d'injection : 3 dolines de Limère situées dans un périmètre de moins de 10 m – latitude : 47,82923° / longitude : 1,8981° (Figure 2).

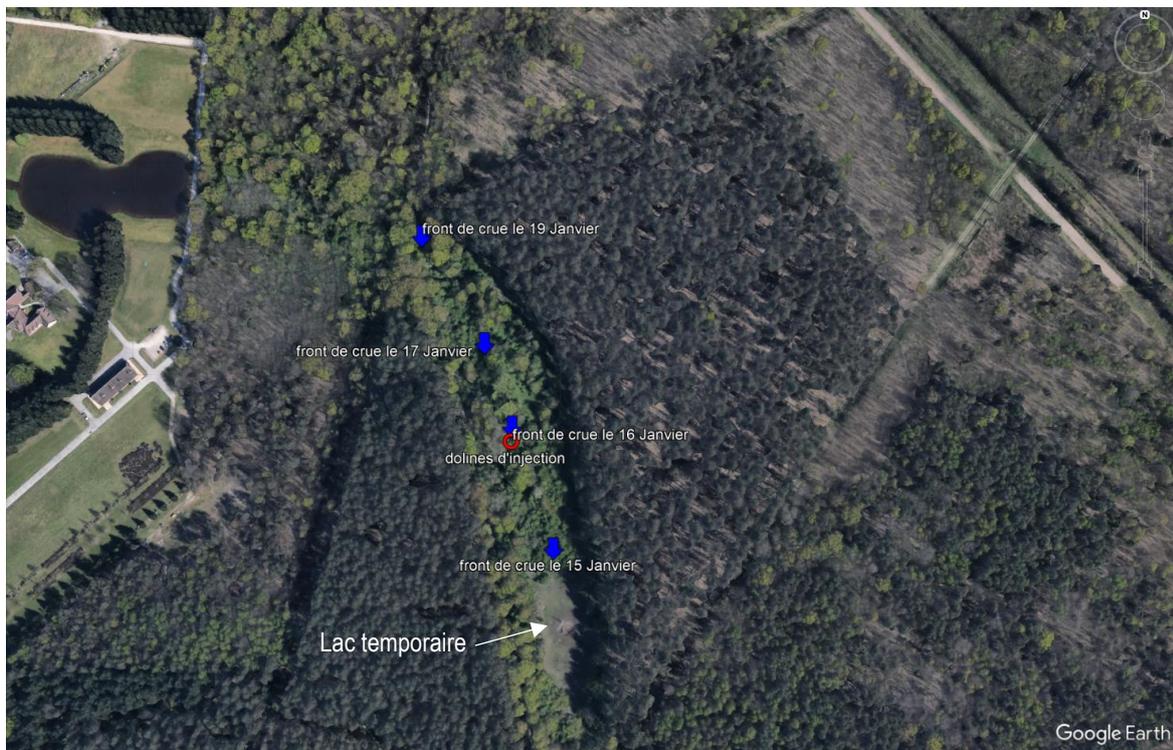


Figure 2 : vue satellitaire du secteur d'injection : le ruisseau de Limère arrive du sud et se propage progressivement vers le nord pendant les crues jusqu'à être complètement absorbé par les dolines. Le point d'injection est indiqué par le cercle rouge

Conditions hydrologiques (Figure 2) :

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. Décruée 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).

L'injection du traceur et les conditions hydrologiques autour du point d'injection sont illustrées ci-dessous (Figures 3, 4, 5).



Figure 3 : 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 4 : A gauche : Localisation des dolines d'injection (ellipse bleue) le 17 Janvier à 8h, recouvertes d'environ 30 cm d'eau de crue. A droite : Retour à la normale après la crue (dolines d'injection de nouveau à sec le 22 Janvier)



Figure 5 : Situation le 19 Janvier à 13h30. Dolines sous l'eau à gauche (point repère entouré en rouge) ; cours d'eau en amont du lac temporaire (200-300 L/s estimé)

4. Suivi de la restitution

Le suivi des sources a été réalisé par les étudiants de l'Université d'Orléans, (Kevin Perrette, Alexandre Ferreira-Torcato, élèves en 5^{ème} année, de la spécialité Génie Civil et Environnement, Polytech Orléans, dans le cadre de leur projet de fin d'études encadré par Christian Défarge, Polytech'Orléans/CETRAHE et Nevila Jozja, CETRAHE), Pascal Delaugère de la mairie de St-Hilaire-St-Mesmin et le SSL (Jacques Munerot & Jérôme Perrin).

Monsieur Delaugère a prélevé quotidiennement la source amont de l'Archer (source du limnimètre), l'Archer aval au niveau de la passerelle et le Loiret au niveau du Pont St-Nicolas.

Les étudiants de l'Université ont relevé le préleveur automatique installé à la source amont de l'Archer (source du limnimètre) tous les quatre jours (4 heures d'intervalle entre chaque échantillon).



Figure 6 : Préleveur automatique sur la source de l'Archer amont (limnimètre)

Le SSL a installé un fluorimètre FL24 du 16 janvier à 14h30 au 28 janvier à 11h (pas de temps 15 min) à la source du Bouillon et un fluorimètre Stream à la source de l'Archer aval du 18 Janvier à 16h au 31 Janvier à 17h30 (pas de temps 5 min) (Figure 7). Il s'est aussi occupé de l'installation et la relève des fluocapteurs sur l'Ardoux (amont et aval) et le Loiret au niveau du pont St-Nicolas. En outre le SSL a prélevé régulièrement des 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.

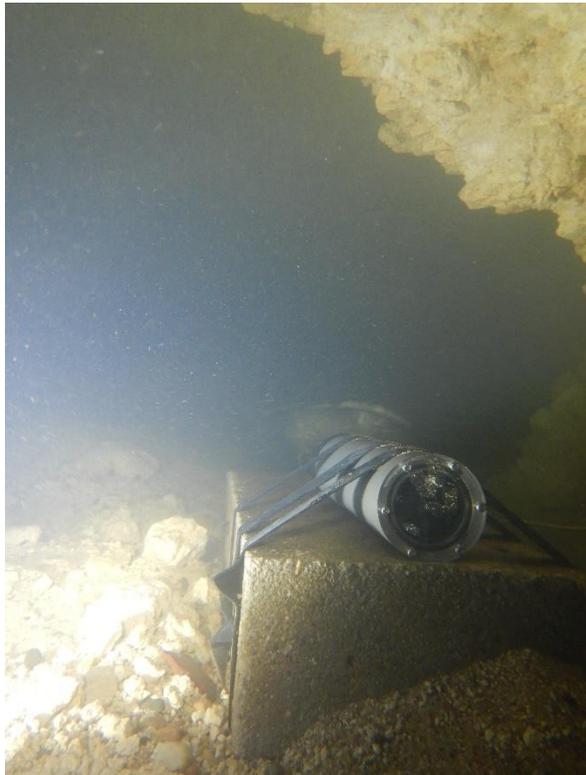


Figure 7 : Mise en place du fluorimètre STREAM à la source de l'Archer aval le 18 Janvier après-midi

Les fluocapteurs ont été installés (Figure 8) 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

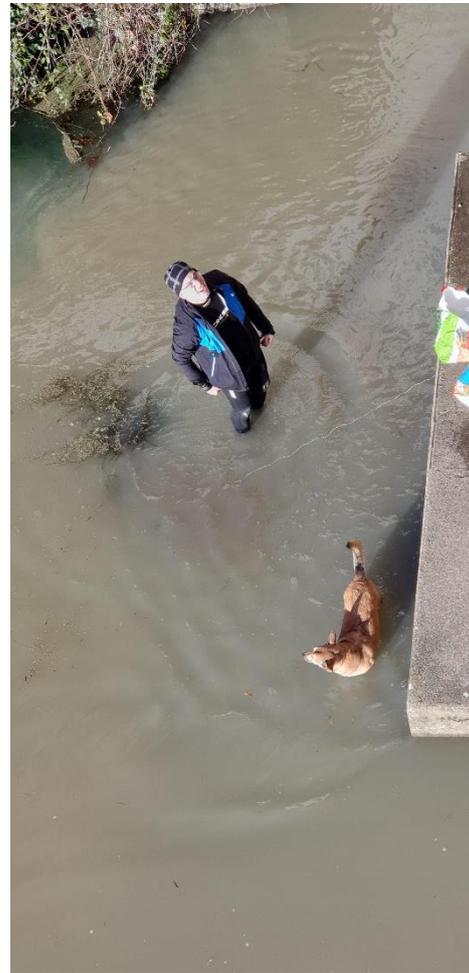


Figure 8 : Installation d'un fluocapteur dans le Loiret au Pont St Nicolas (le 18 Janvier 2023, pendant la crue et un Loiret turbide)

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 2, Figure 9).

Tableau 2 : 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	

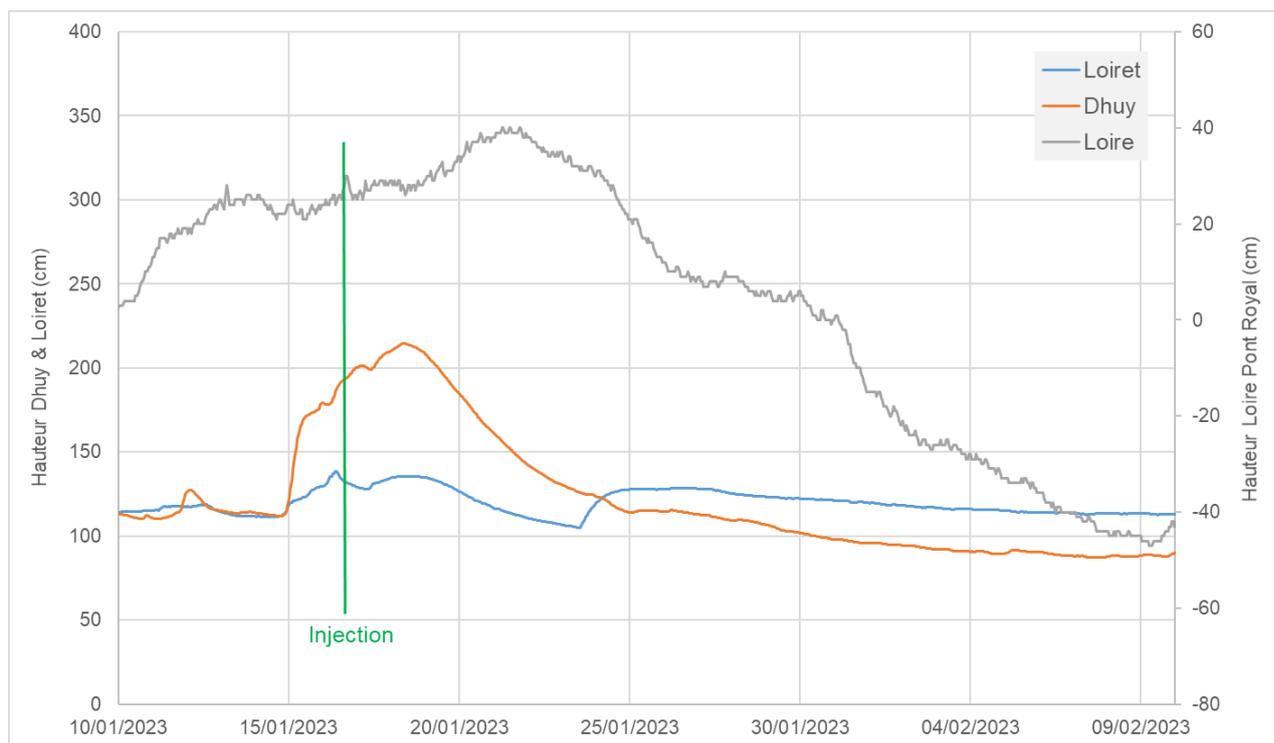


Figure 9 : conditions hydrologiques lors de l'essai de traçage (source HydroPortail). Loire station du Pont Royal, Dhuy station de Sandillon, Loiret station du Pont Général Leclerc

5. Résultats de l'opération de traçage

5.1. Sources de l'Archer

Le traceur est observé dès le 18 Janvier aux sources de l'Archer (limnimètre et aval) (Figure 10). 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 (6500m/41h). Le pic de concentration (2,1 µg/L) est observé 54 heures après l'injection, soit une vitesse moyenne (modale) de 120 m/h (6500m/54h). 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.

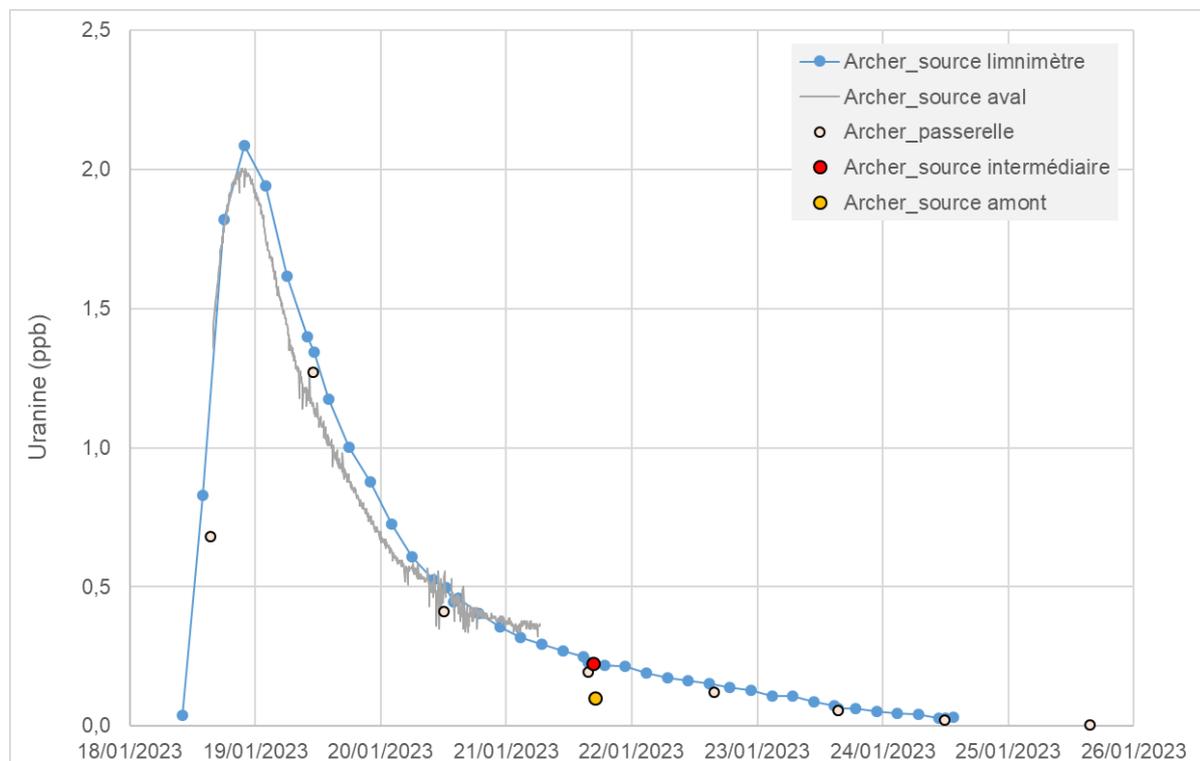


Figure 10 : Restitution du traceur aux sources de l'Archer

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 (170gr/9000gr).

5.2. Les autres sources

Le traceur est repéré dans la rivière Loiret dès le 18 Janvier au niveau du Pont St Nicolas (1^{er} échantillon récolté), et, vu l'allure de la courbe, il n'est pas exclu que le traceur soit même arrivé la veille (Figure 11). 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. A 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 12).

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.

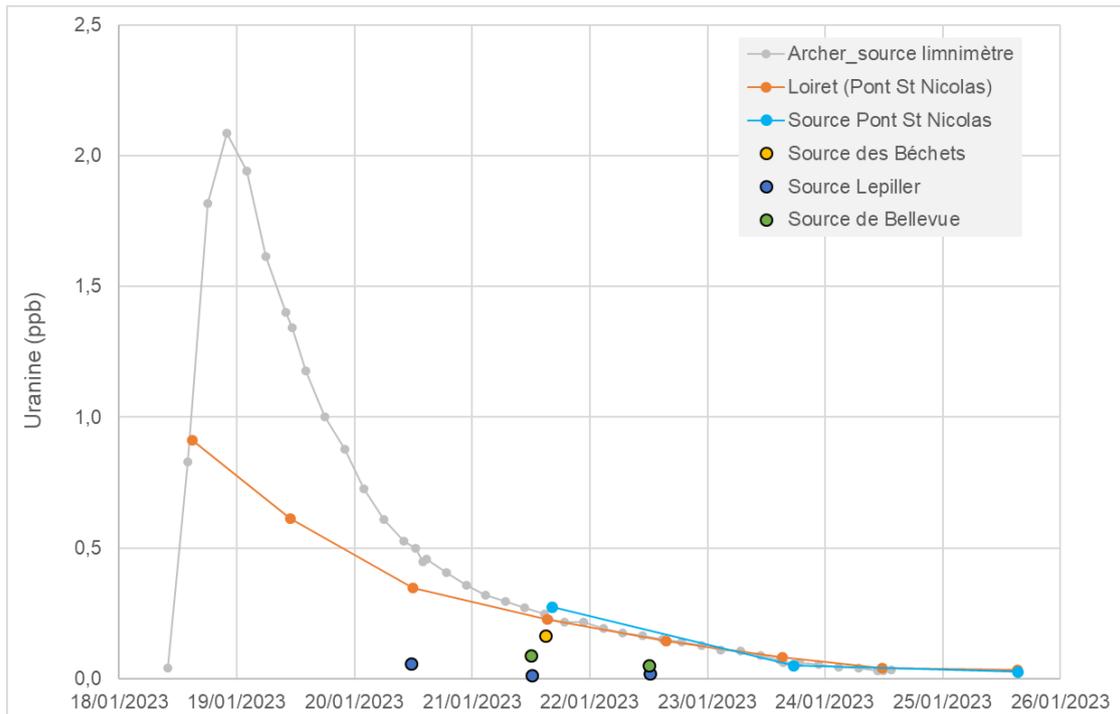


Figure 11 : Restitution du traceur aux autres sources (rivière Loiret et rive droite de Loire)

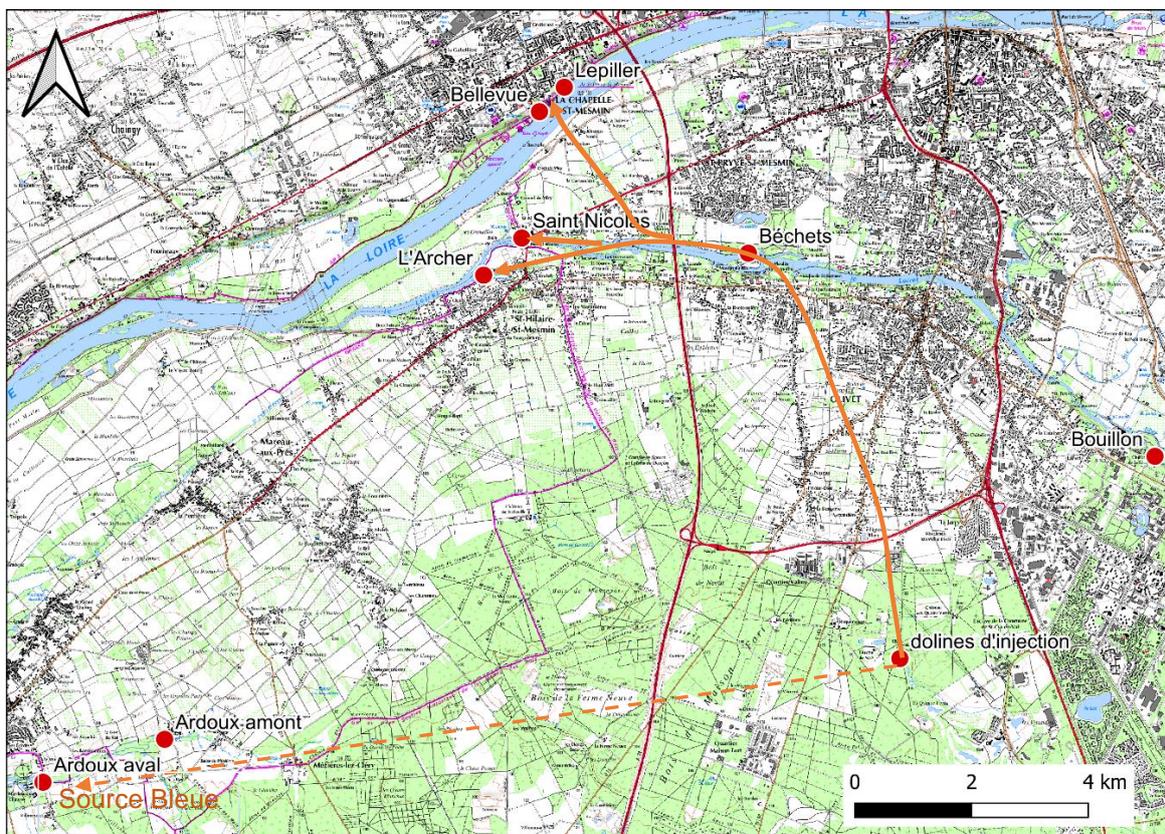


Figure 12 : Parcours hypothétique du traceur sur la base des temps d'arrivée aux différentes sources et de la connaissance préalable du système de drains karstiques (Jozja et al. 2011)



Date : 04/05/2023

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 xx).

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.



Date : 04/05/2023

7. 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/0_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 aux travers des travaux de Michel Lepiller », p 107-116, 17 mai 2008 : http://www.polytech.free.fr/colloque_MichelLepiller/Actes/actes_pdf/Fonctionnement_du_systeme_karstique_du_Val_d_Orléans_les_acquis_les_interrogations.pdf

Lepiller M., 2006 – Val d'Orléans. In: Aquifères et eaux souterraines en France, J.-C. Roux éditeur, BRGM I, pp. 200-214.

ANNEXES

Mesures et observations in situ

date	site	CE (uS/cm)	T (°C)	remarques
15/01/2023 15:30	Ardoux amont			eau claire, débit environ 10 L/s
15/01/2023 16:00	Ardoux aval			eau un peu turbide, Hlimni: 60cm
15/01/2023 16:45	Loiret Pont St Nicolas			eau claire
16/01/2023 14:30	Bouillon			Hlimni: 37 cm
18/01/2023 15h30	Source Archer aval (grotte)			Hlimni: 32 cm
18/01/2023 17h30	Ardoux aval (passerelle)	202	5,1	Hlimni: 81 cm
18/01/2023 17h15	Ardoux amont	692	8,3	débit: 10-20 l/s
20/01/2023 11h	Source du Bouillon	297	11,9	Hlimni: 23 cm
21/01/2023 15h00	Source des Béchets	316	12,6	
21/01/2023	Source Pont St Nicolas	313	12,1	
21/01/2023	Archer (ruisseau amont)	561	5,7	
21/01/2023	Source Archer amont	358	13,2	
21/01/2023	Source Archer amont limnimètre 1	330	12,5	
21/01/2023	Source Archer amont limnimètre 2	327	12,7	
21/01/2023	Source Archer amont limnimètre 3	322	12,3	
21/01/2023	Source Archer limnimètre	318	12,5	Hlimni: 32,5 cm
21/01/2023	Source Archer intermédiaire	321	12,5	
21/01/2023	Source Archer aval (grotte)	317	12,4	Archer passerelle, débit estimé à 600 L/s (20% d'erreur possible)
21/01/2023	Ardoux amont	786	7,3	
21/01/2023	Ardoux aval	293	4,5	Hlimni: 60 cm
21/01/2023	Source Bleue (rive droite Ardoux)	384	8,0	
25/01/2023	Archer limni			Hlimni: 30,5 cm
25/01/2023 16:30	Ardoux aval			Hlimni: 47 cm

Analyses de l'uranine au laboratoire du CETRAHE (Spectrofluorimétrie)

Archer		Loiret et ses sources		Autres points de suivi	
toutes les valeurs sont des concentrations d'uranine en microgrammes par Litres					
Source Archer aval (grotte)		Source des Béchets		Source Lepiller	
18/01/2023 15:30	1,381	21/01/2023 15:00	0,164	20/01/2023 11:30	0,057
21/01/2023 16:45	0,295	23/01/2023 17:50	0,000	21/01/2023 12:15	0,012
23/01/2023 17:00	0,049	25/01/2023 17:05	0,000	22/01/2023 12:15	0,021
25/01/2023 15:25	0,059				
Source Archer Limni		Source du Pont St Nicolas		Source Bellevue	
18/1/23 14:00	1,64	21/01/2023 16:15	0,276	21/01/2023 12:00	0,088
19/1/23 11:20	1,343	23/01/2023 17:25	0,052	22/01/2023 12:00	0,051
20/1/23 12:25	0,499	25/01/2023 15:10	0,027		
21/1/23 15:40	0,228			Ardoux amont	
22/1/23 15:50	0,153	Rivière Loiret Pont St Nicolas		18/01/2023 17:15	0
23/1/23 15:30	0,062	18/1/23 14:55	0,913	21/01/2023 17:45	0
24/1/23 11:55	0,03	19/1/23 10:50	0,613	23/01/2023 16:40	0
25/1/23 15:45	0,015	20/1/23 11:50	0,348	25/01/2023 16:15	0
		21/1/23 15:20	0,225		
		22/1/23 15:30	0,145	Ardoux aval	
Source Archer intermédiaire (entre limni et grotte)		23/1/23 15:15	0,081	18/01/2023 17:30	0,000
21/01/2023 16:35	0,227	24/1/23 11:40	0,042	21/01/2023 17:30	0,000
		25/1/23 15:10	0,035	23/01/2023 16:30	0,000
Source Archer amont				25/01/2023 15:50	0,000
21/01/2023 17:00	0,101				
Rivière l'Archer passerelle aval				Source Bleue	
18/1/23 15:30	0,682			21/01/2023 17:30	0,080
19/1/23 11:00	1,271				
20/1/23 12:00	0,413				
21/1/23 15:35	0,194				
22/1/23 15:40	0,123				
23/1/23 15:25	0,055				
24/1/23 11:50	0,022				
25/1/23 15:35	0,005				

Analyse des Fluocapteurs

