



**BUREAU D'ETUDES HYDROGEOLOGIQUES
SPECIALISE EN MESURES SUR LES FORAGES**

IDEES EAUX

Quartier des Drets
26300BOURG-DE-PEAGE (France)
Tél : +33(0) 4.75.47.17.17 | Fax : +33(0) 4.75.47.07.07
Mail : contact@ideeseaux.com
Site internet : www.ideeseaux.com



**OPERATION DE TRACAGE HYDROGEOLOGIQUE EN VUE D'ETUDIER LE
LIEN HYDRAULIQUE ENTRE LE VERDUS ET LE FORAGE F2**

COMMUNE : SAINT-GUILHEM-LE-DESERT (34)



*IDEES-EAUX – D2122119
Janvier 2023*

DESTINATAIRE

MAÎTRE D'OUVRAGE :

Communauté de Communes Vallée de l'Hérault
Service Eau Assainissement
Direction de l'Eau
2, parc d'activités de Calmacé
BP 15
34 150 GIGNAC
Tél : 04 67 57 04 50

Monsieur Samy SOYAH
Samy.soyah@cc-vallee-herault.fr



Conditions d'utilisation du rapport

Le présent document est produit à l'usage exclusif du maître d'ouvrage et de façon à répondre aux objectifs contractuels. Il est la propriété exclusive du maître d'ouvrage, les conséquences des décisions prises suite aux recommandations émises ne pourront en aucun cas être imputées à IDEES-EAUX.

Le présent document est basé sur les connaissances techniques, réglementaires et scientifiques disponibles à la date d'émission du rapport et se limite à la zone étudiée.

Indissociable, une utilisation partielle ou toute interprétation dépassant les recommandations émises ne saurait engager la responsabilité d'IDEES-EAUX sauf en cas d'accord préalable établi.

Rédaction et relecture

N° de version	Date	Rédigé par	Relecture	Visa	Date	Objet de la révision
1	08/03/2023	Y. CONROUX	J. GAUTIER		28/03/2023	Première diffusion
2	03/05/2023	Y. CONROUX	J. GAUTIER		03/05/2023	Apport commentaires sur résultats

Sommaire

1. PREAMBULE	5
1.1. CONTEXTE DE L’OPERATION ET HISTORIQUE DES ETUDES MENEES	5
1.2. LOCALISATION GEOGRAPHIQUE	6
1.3. PHASAGE DES TRAVAUX	9
2. L’ESSAI PAR POMPAGE DE LONGUE DUREE	10
2.1. LE DISPOSITIF DE POMPAGE	10
2.2. LE SYSTEME DE MESURE	10
2.3. RESULTATS DE L’ESSAI DE TRES LONGUE DUREE	12
3. LE JAUGEAGE DU VERDUS	15
4. L’ESSAI PAR MULTI-TRAÇAGE	18
4.1. OBJECTIFS	18
4.2. METHODOLOGIE	18
4.2.1. <i>Les points d’injection</i>	18
4.2.2. <i>Les traceurs utilisés</i>	20
4.2.3. <i>Points de surveillance</i>	22
4.3. RESULTATS	25
4.3.1. <i>Résultats sur les fluocapteurs</i>	25
4.3.2. <i>Résultat du traçage en rivière (Fluorescéine)</i>	25
4.3.3. <i>Résultat du traçage en zone non saturée (Sulforhodamine B)</i>	27
4.3.4. <i>Résultat du traçage en nappe (sel)</i>	28
5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES D’EXPLOITATION	29
5.1. SYNTHESE DES DONNEES	29
5.2. CONCLUSIONS	30

Liste des figures

FIGURE 1 : LOCALISATION DE LA ZONE D’ETUDE	7
FIGURE 2 : LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DE LA ZONE D’ETUDE SUR PHOTO AERIENNE (SOURCE GEOPORTAIL)	7
FIGURE 3 : LOCALISATION DE LA COMMUNE DE SAINT-GUILHEM-LE-DESERT AU SEIN DU TERRITOIRE DE LA CCVH (SOURCE CCVH)	8
FIGURE 4 : LOCALISATION DES OUVRAGES SUIVIS.....	10
FIGURE 5 : MISE EN PLACE DE LA POMPE IMMERGEE / COLONNE D’EXHAURE	11
FIGURE 6 : REJET DES EAUX	11
FIGURE 7 : EVOLUTION DES RABATTEMENTS DANS LES OUVRAGES SUIVIS	13
FIGURE 8 : EVOLUTION DES NIVEAUX D’EAU DANS LES OUVRAGES SUIVIS AVANT L’APPARITION DES PLUIES	13
FIGURE 9 : RAYON D’ACTION DU FORAGE F2 AU DEBIT DE 33-34 M ³ /H APRES 16 JOURS DE POMPAGE CONTINU	14
FIGURE 10 : LOCALISATION DES SECTIONS DE Jaugeage.....	15
FIGURE 11 : COURANTOMETRE HYDREKA.....	16
FIGURE 12 : FLUCTUATION DU NIVEAU D’EAU DU VERDUS EN S4 EN LIEN AVEC LE PRELEVEMENT A LA SOURCE.....	16
FIGURE 13 : PROFIL DE DEBIT NATUREL DU VERDUS DU 12 AU 14/09/2022	17
FIGURE 14 : LOCALISATION DES POINTS D’INJECTION	19
FIGURE 14 : INJECTION DE LA FLUORESCINE	20
FIGURE 15 : INJECTION DE LA SULFORHODAMINE B.....	21
FIGURE 17 : INJECTION DU SEL	21
FIGURE 18 : FLUORIMETRE GGUN FL24 / PRELEVEUR.....	23
FIGURE 19 : FLUOCAPTEUR	24
FIGURE 20 : LOCALISATION DES FLUORIMETRES / FLUOCAPTEURS.....	24
FIGURE 21 : RESTITUTION DE LA FLUORESCINE.....	26
FIGURE 22 : RESTITUTION DE LA SULFORHODAMINE B	27
FIGURE 23 : RESTITUTION DU SEL AU FORAGE	28

Liste des tableaux

TABLEAU 1 : COORDONNEES GEOGRAPHIQUES ET REFERENCES CADASTRALES	6
TABLEAU 2 : DEBIT DES PERTES DU VERDUS ENTRE S1 ET S9	17
TABLEAU 3 : DISTANCE ENTRE LES POINTS D’INJECTION ET LES POINTS DE SURVEILLANCE	22
TABLEAU 4 : RESULTATS D’ANALYSE DES SPECTRES FLUORESCENTS SUR LES FLUOCAPTEURS (FLUORESCINE).....	25
TABLEAU 5 : RESULTATS DU TRAÇAGE N°1 - FLUORESCINE	25
TABLEAU 6 : RESULTATS DU TRAÇAGE N°2 – SULFORHODAMINE B	27
TABLEAU 7 : RESULTATS DU TRAÇAGE N°3 - SEL.....	28

Liste des annexes

ANNEXE 1 : RESULTATS DES ANALYSES D’EAU	32
ANNEXE 2 : RESULTATS DES SPECTRES SUR FLUOCAPTEURS	35

1. Préambule

1.1. Contexte de l'opération et historique des études menées

La **COMMUNAUTE DE COMMUNES VALLEE DE L'HERAULT (CCVH)**, basée à Gignac (34) est maître d'Ouvrage (MOA) dans le cadre de cette étude hydrogéologique, représentée par Samy SOYAH. La CCVH gère la compétence eau et assainissement sur son territoire depuis janvier 2018.

La commune de Saint-Guilhem-le-Désert (34) est alimentée en eau potable par le captage de "la source du bout du monde" (source du Verdus) situé à 1.5 km en amont du village. Bien qu'il ait fait l'objet d'un avis d'hydrogéologue agréé en 1987 (C. SAUVEL), les périmètres de protections sanitaires proposés n'ont pour autant jamais été entérinés.

Le caractère karstique de la source lui confère :

- Une vulnérabilité importante en termes qualitatifs ;
- Une forte variabilité en termes quantitatifs en lien direct avec les conditions hydrologiques.

De ce fait, le Département de l'Hérault a mené depuis 2000 un programme de recherche en eau par forage sur le territoire communal dans l'optique d'une substitution au captage de cette source fortement vulnérable. En 2003, deux forages de reconnaissance ont été réalisés par l'entreprise **SUD FORAGES** dans le secteur du stade, suite aux conclusions d'une étude hydrogéologique menée par **BERGA SUD** en 2002 (rapport n°34/261 A 02 065 du 19 juin 2002) :

- Un forage profond F1 a été réalisé pour reconnaître les formations dolomitiques aquifères de l'Hettangien sous couverture. Malheureusement elles n'ont pas été atteintes. L'ouvrage s'est arrêté à 290 m dans les marnes du Toarcien. L'ouvrage a été abandonné et rebouché.
- Un forage F2 de 10 m de profondeur a été implanté dans les alluvions du Verdus à 10 m de F1.

L'ouvrage F2 a alors fait l'objet d'essais par pompage et été testé jusqu'à 70 m³/h (rapport BERGA SUD n°34/261 B 04 085 du 03/09/2004). A ce débit, l'essai a montré que les limites de production de l'aquifère étaient atteintes. Néanmoins ce débit est bien supérieur aux besoins de la commune initialement évalués à 350 m³/jour. Les conclusions avaient été les suivantes : *"l'essai par pompage a montré que l'aquifère capté par le forage (...) est susceptible de couvrir les besoins en eau. L'ouvrage réalisé permet un captage dans de bonnes conditions de protection immédiate mais une relation directe existe entre les eaux du Verdus et l'aquifère par une zone de pertes franches"*.

Suite à cette étude, le forage F2 a fait l'objet d'un avis sanitaire par un hydrogéologue agréé en septembre 2006 (A. PAPPALARDO) statuant sur une autorisation d'exploitation de 350 m³/jour et définissant des périmètres de protection. A ce jour, la DUP n'a toujours pas été entérinée.

En 2018, une étude hydrogéologique a été réalisée par **IDEES EAUX** (essais par pompage sur le forage F2 à hauteur de 35 m³/h et jaugeages du débit du Verdus) dans l'optique (1) de comprendre le fonctionnement global de l'hydrosystème et (2) de définir l'impact d'un prélèvement sur la

nappe et sur le débit de la rivière. Les résultats avaient permis de conclure sur le fait que "le Verdus est perché par rapport à la nappe alluviale (...) et que l'absence d'horizon imperméable en surface permettait l'infiltration partielle de la rivière : les pertes sont estimées entre 8.4 et 9.9 L/s dans les conditions d'étiage (octobre 2018). La nappe alluviale est en majorité alimentée par ces pertes. Le prélèvement continu en nappe pendant 72h n'a pas eu d'impact sur le débit du Verdus du fait de sa position perchée. L'aquifère alluvial est capable de fournir les volumes journaliers escomptés par la collectivité". En parallèle, une étude de faisabilité technique a été réalisée par le bureau d'études **GAXIEU** pour évaluer les coûts de mis en œuvre pour chacun des scénarii envisagés (alimentation unique par la source, alimentation unique par forage, alimentation mixte source/forage).

En 2019, suite à cette étude, un nouvel avis sanitaire a été émis par un hydrogéologue agréé (M. PERRISSOL) qui s'est prononcé défavorablement pour le captage de "la source du bout du monde" et favorablement pour l'exploitation d'un futur doublet de forages implantés dans les alluvions du Verdus dans le secteur du stade.

Aujourd'hui, la CCVH a mandaté de nouveau IDEES EAUX pour réalisation d'un essai multi-traçages depuis le Verdus, en période d'étiage (septembre 2022) dans l'optique :

- D'étudier les vitesses de circulation en nappe et le taux de restitution des traceurs, éléments fondamentaux pour définir la vulnérabilité d'un futur forage d'exploitation et les périmètres de protection sanitaires ;
- D'étudier la relation entre la rivière et le canal des moines ouvrage souterrain millénaire alimentant le monastère et les fontaines publiques du village, dont le point de captage et le tracé sont aujourd'hui inconnus.

1.2. Localisation géographique

La zone d'étude correspond au village de Saint-Guilhem-le-Désert et au cirque de l'Infernet situé en amont du village, creusé par le ruisseau du Verdus (affluent de l'Hérault en rive droite) prenant naissance au niveau de la "source du bout du monde".

Administrativement, les coordonnées géographiques et références cadastrales de la source et du forage sont les suivantes :

	X (L93 - m)	Y (L93 - m)	Z (m NGF)	Parcelle
Source du Bout du Monde (captage)	742 940	6 293 466	143	97 section C
Forage F2	743 914	6 293 305	110	246 section C

Tableau 1 : Coordonnées géographiques et références cadastrales

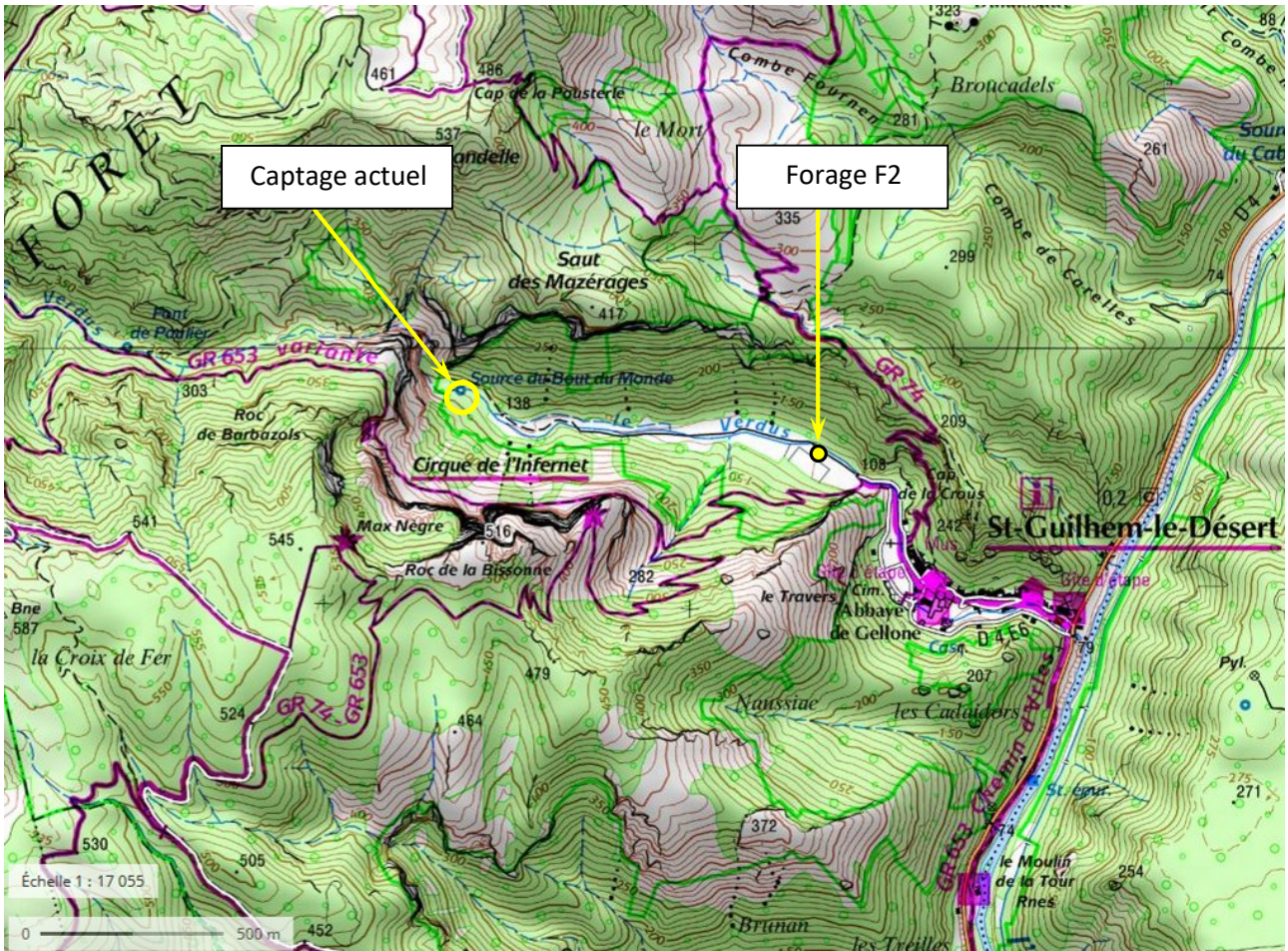


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

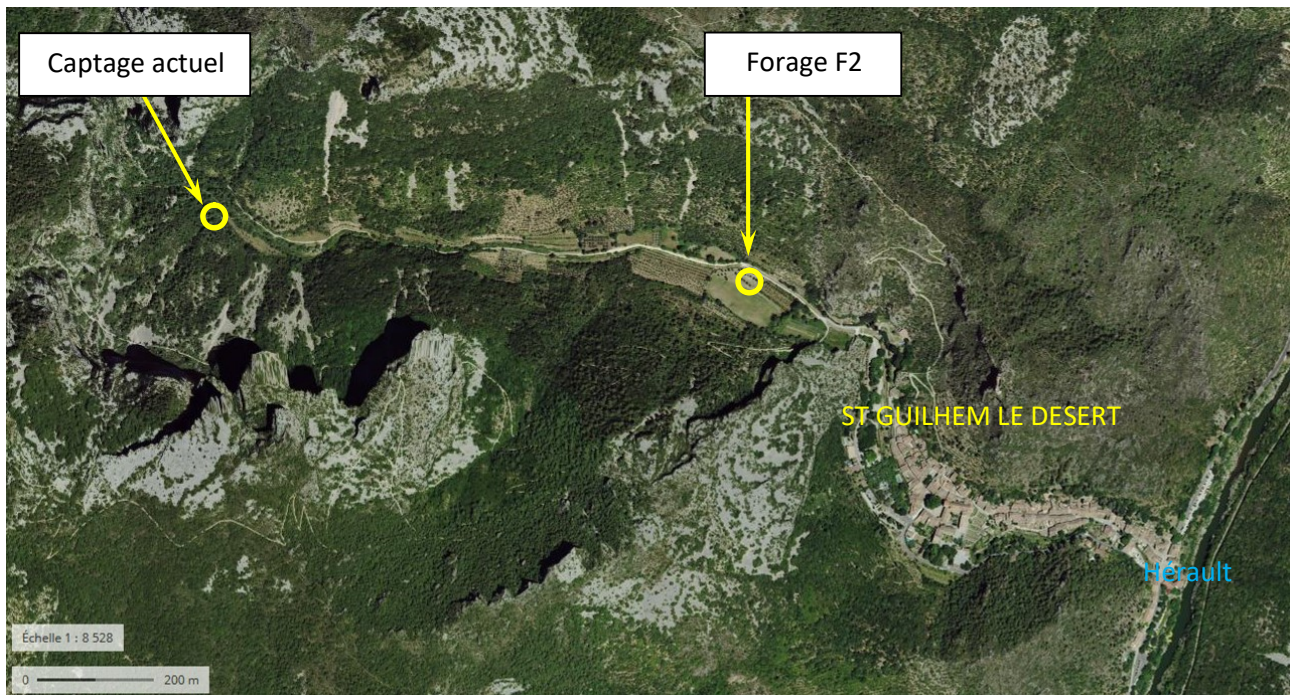


Figure 2 : Localisation géographique de la zone d'étude sur photo aérienne (source Géoportail)

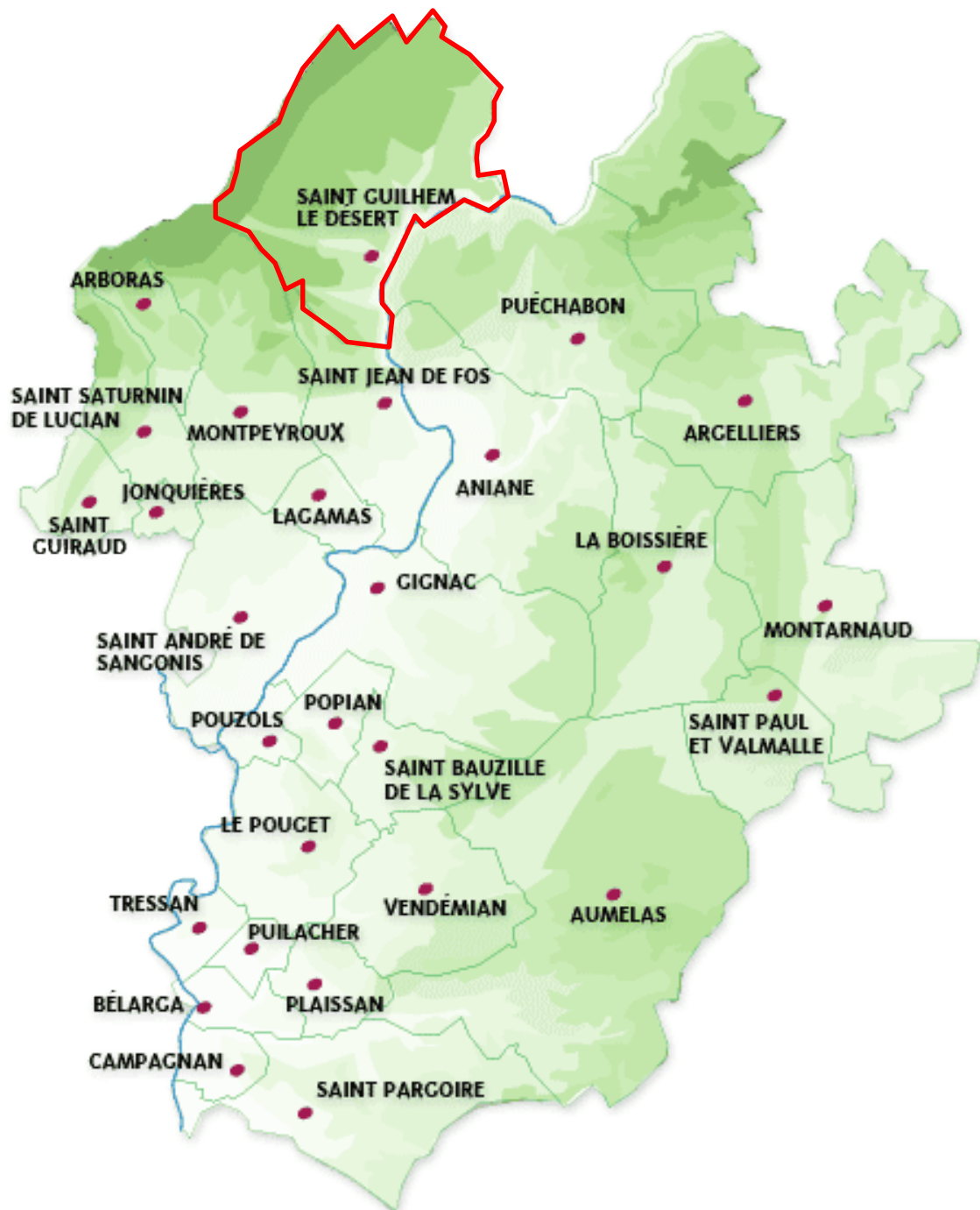


Figure 3 : Localisation de la commune de Saint-Guilhem-le-Désert au sein du territoire de la CCVH (source CCVH)

1.3. Phasage des travaux

L'opération s'est déroulée du 12 au 14 septembre 2022 selon le phasage suivant :

- 12/09/2022 :
 - Prise en charge du chantier ;
 - Installation et mise en place de la pompe d'essai ;
 - Mise en place des capteurs de pression ;
 - Mise en place des fluocapteurs, des fluorimètres, des préleveurs ;
 - Jaugeages du Verdus ;
- 13/09/2022 :
 - Démarrage du pompage (35 m³/h) à 9h50 ;
 - Injection du traceur 1 (fluorescéine) à 11h20 ;
 - Injection du traceur 2 (sulforhodamine) à 11h40 ;
 - Injection du traceur 3 (sel) à 14h40 ;
- Du 13 au 29/09/2022 :
 - Essai de longue durée à 35 m³/h ;
 - Suivi des niveaux : décharge des données régulières ;
 - Suivi du Verdus : jaugeages réguliers ;
 - Suivi des traceurs : prélèvements d'eau réguliers, déchargement des fluorimètres, renouvellement des fluocapteurs, envoi des fluocapteurs et prélèvements d'eau en laboratoire (Sciences Environnement) ;
- 29/09/2022 :
 - Arrêt du pompage ;
 - Dépose des installations de pompage ;
 - Dépose des capteurs, préleveurs et fluorimètres ;
 - Récupération des fluocapteurs – envoi en laboratoire ;
 - Envoi des prélèvements d'eau en laboratoire ;
 - Jaugeage du Verdus.
- Du 29/09 au 14/10/2022 :
 - Echantillonnage journalier au bassin collecteur du canal des Moines au monastère ;
- 14/10/2022 :
 - Envoi des prélèvements d'eau en laboratoire ;
 - Fin du chantier.

2. L'essai par pompage de longue durée

2.1. Le dispositif de pompage

Les pompes d'essai ont été réalisés avec le dispositif de pompage suivant :

- Une pompe 6" KSB UPA150S-65-5 (10 kW) immergée dans le forage F2, permettant l'obtention d'un débit de 65 m³/h sous 20 m de HMT. La base a été positionnée vers 8 m. Elle était alimentée par un groupe électrogène 25 KVA et une cuve additionnelle de 2000 L.
- Une colonne d'exhaure de 8 m de long en PVC 80/90 mm + 15 m en tuyau semi-rigide DN80 ;
- Un débitmètre électromagnétique DN50 mm KROHNE ;
- Une vanne acier DN50 mm montée sur le débitmètre et permettant le réglage du débit ;
- Une conduite en tuyaux souples DN100 (long. 230 m) pour le rejet des eaux en aval dans le puits de la source de l'Amour se rejetant ensuite dans le lit du Verdus 35 m plus en aval.

La zone a ensuite été balisée.

2.2. Le système de mesure

Le dispositif de mesure et d'acquisition du débit et du niveau d'eau intègre :

- 1 capteur autonome de pression 0-3 b de marque STS et de type DL/N70 a été immergé dans le forage et les 2 piézomètres ; ils ont été programmés au pas de temps de 1' ;
- 1 capteur autonome de pression 0-1 bars de marque STS et de type DL/N70 a été immergé dans le Verdus ; il a été programmé au pas de temps de 1' ;
- 1 sonde piézométrique lumineuse pour un contrôle manuel et ponctuel.

Les capteurs ont été synchronisés.

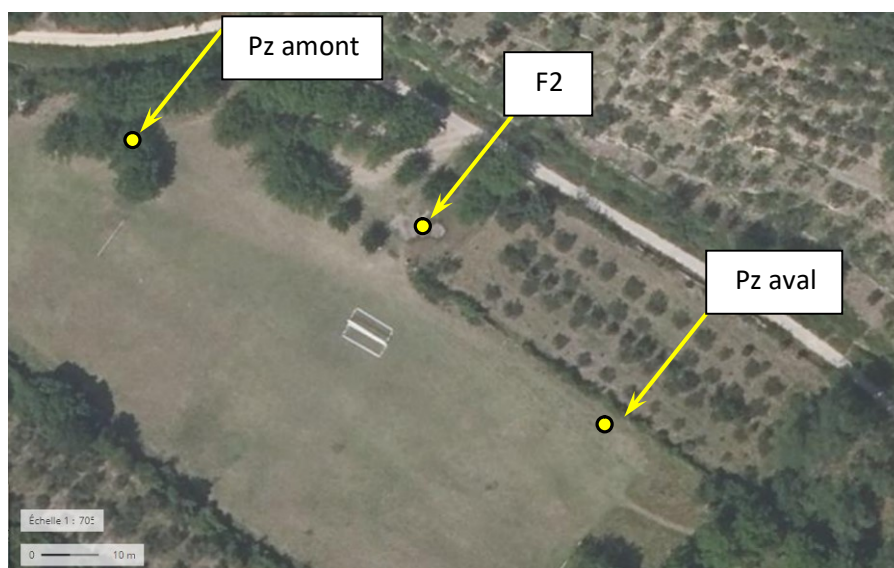


Figure 4 : Localisation des ouvrages suivis



Figure 5 : Mise en place de la pompe immergée / Colonne d'exhaure



Figure 6 : Rejet des eaux

2.3. Résultats de l'essai de très longue durée

L'essai de longue durée a été réalisé au débit continu et constant de 33 m³/h pendant 16 jours. Le niveau statique de départ dans le forage F2 était de 5.34 m/sol soit 0.72 m plus bas qu'en octobre 2018 lors des essais par pompage.

La Figure 7 présente l'évolution des niveaux piézométriques dans le forage F2 et les deux piézomètres de suivi (Pz amont et pz aval). Les commentaires sont les suivants :

- Entre le 13/09 et 24/09, on observe une baisse constante des niveaux piézométriques sur les trois ouvrages suivis.
- On note un arrêt volontaire et malveillant du groupe électrogène le soir du 15/09. Le pompage a été relancé le 16/09 au matin.
- On observe une remontée nette des niveaux d'eau dans l'aquifère de l'ordre de 0.4 à 0.6 m consécutivement à l'épisode pluvieux qui a eu lieu entre 23:00 le 23/09 et 01:00 le 24/09. Cette remontée démarre vers 00:35 le 24/09 sur les trois ouvrages soit environ 1h après le début de l'épisode, témoignant de la rapide infiltration des pluies à travers la zone non saturée et donc l'absence d'horizon peu perméable de surface.
- Suite à quoi, le niveau piézométrique de l'aquifère en pompage semble globalement se stabiliser jusqu'au 27/09 avant de nouveau d'entamer une baisse progressive et continue nettement visible sur F2 et Pz amont.

La Figure 8 permet de mettre en évidence le caractère transitoire du régime de pompage (= non stabilisation du niveau d'eau) en lien avec la baisse progressive de la hauteur saturée. Dans les conditions hydrologiques d'étiage critique, l'aquifère semble donc localement se vider progressivement au débit de 33 m³/h mais cette vidange est extrêmement lente (2 à 3 mm/h) laissant de fait une marge de manœuvre amplement confortable en mode d'exploitation.

Avant la remontée brutale du niveau piézométrique le 23/09 à 23:00, les rabattements enregistrés dans les ouvrages après 241 heures de pompage continu à 33 m³/h étaient les suivants :

- F2 : 1.44 m (soit une hauteur d'eau restante de 3.22 m dans le forage) ;
- Pz amont : 1.07 m (distance 52.3 m) ;
- Pz aval : 1.09 m (distance 55 m).

Le rayon d'action du pompage en F2 (au débit de 33 m³/h) après 10 jours de pompage en continu est de l'ordre de 205 m (Figure 9).

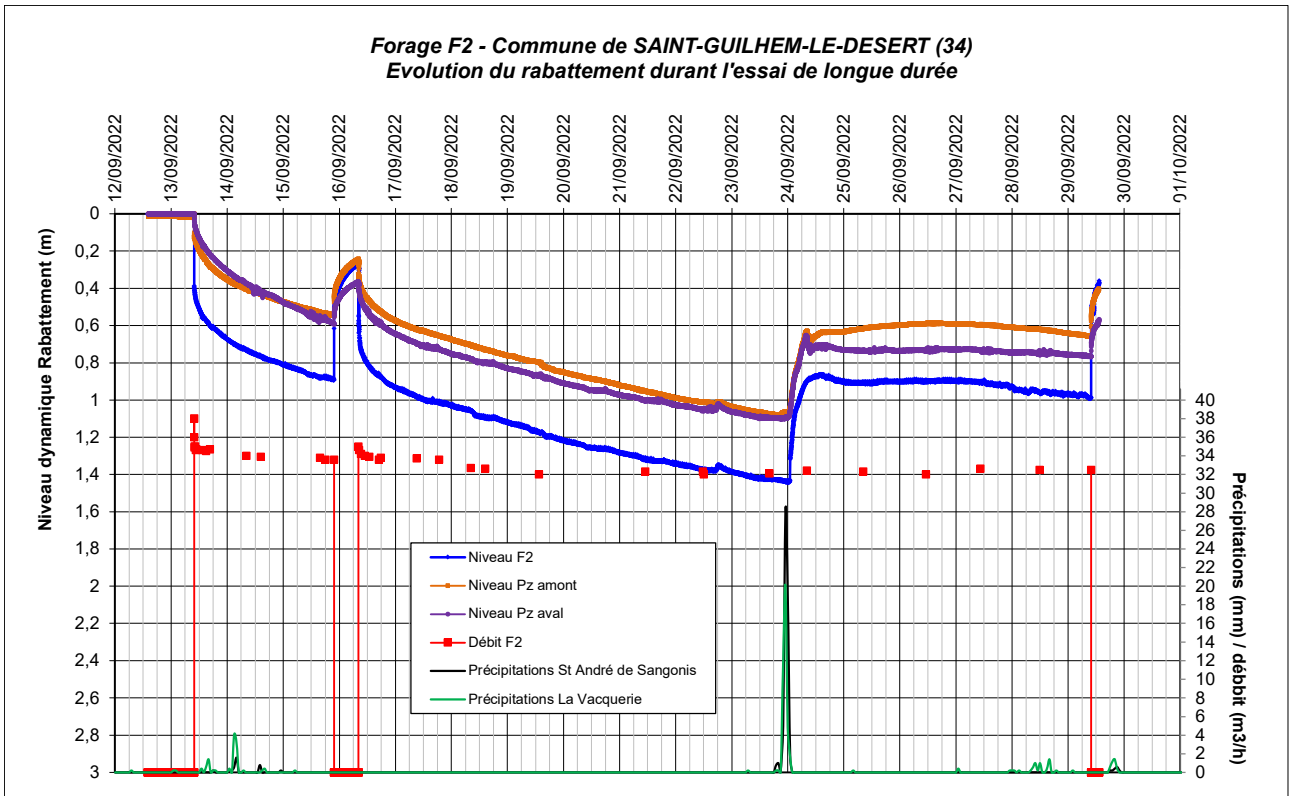


Figure 7 : Evolution des rabattements dans les ouvrages suivis

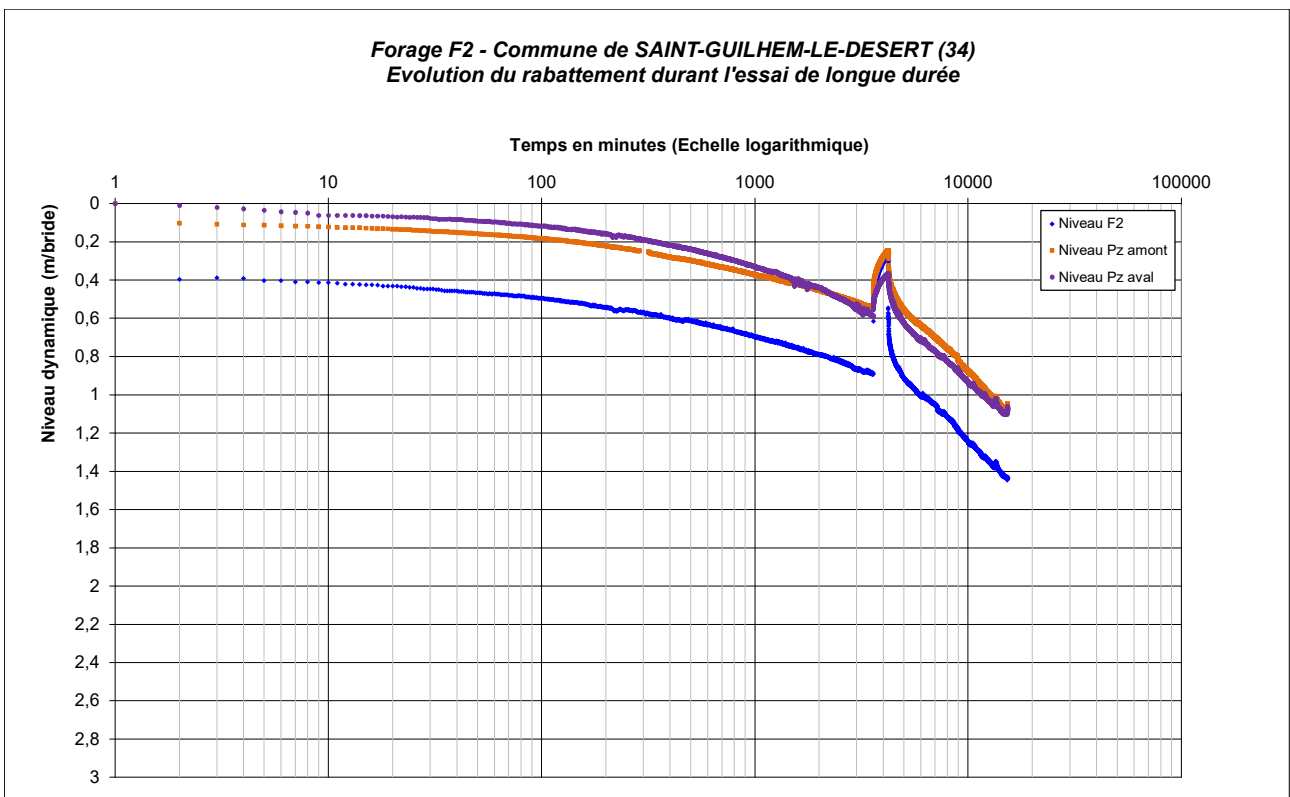


Figure 8 : Evolution des niveaux d'eau dans les ouvrages suivis avant l'apparition des pluies

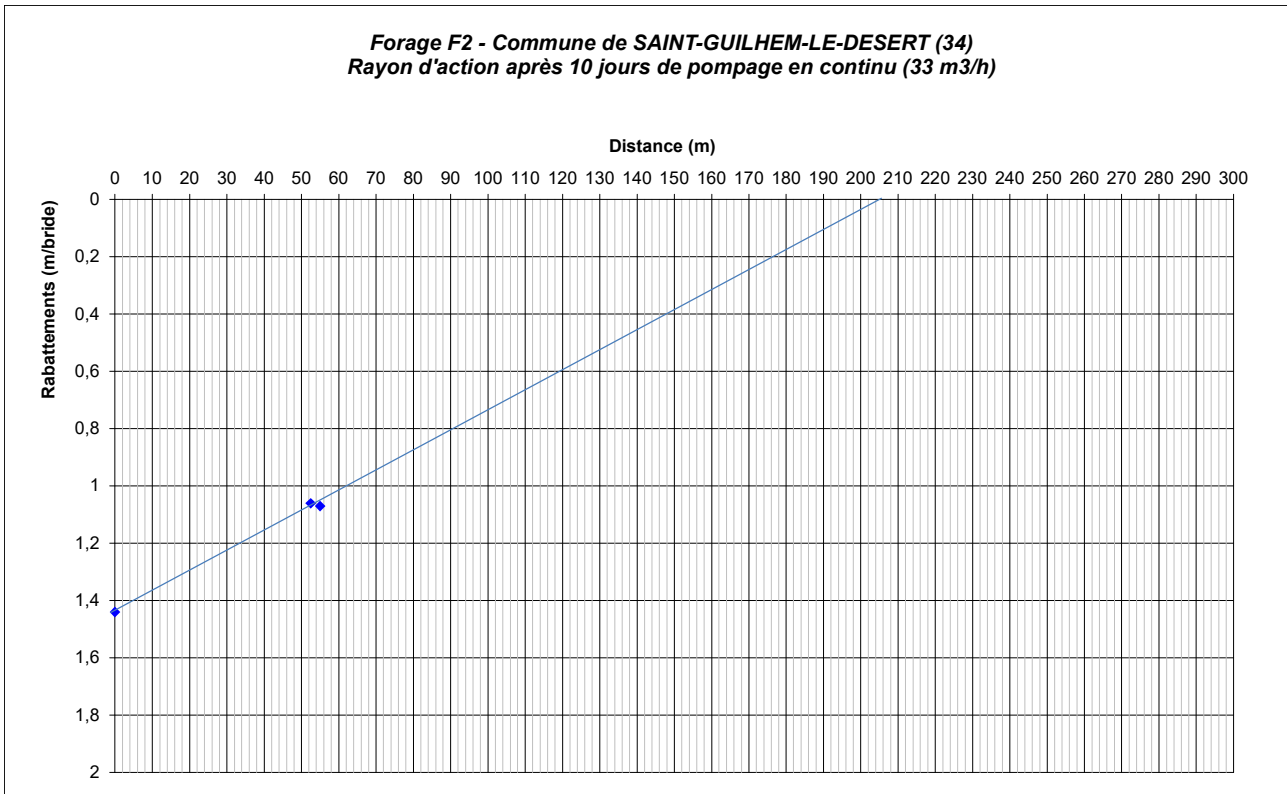


Figure 9 : Rayon d'action du forage F2 au débit de 33-34 m³/h après 16 jours de pompage continu

3. Le jaugeage du Verdus

Les jaugeages du débit du Verdus, ont permis d'évaluer le débit des pertes de la rivière vers la nappe alluviale, entre la source et le stade. Pour ce faire nous avons réalisé 9 sections de jaugeage : S1 à S9 (Figure 10) à l'aide d'un courantomètre HYDREKA (Figure 11).

En complément, nous avons mis un capteur de pression dans la rivière (section S4) pour mettre en évidence les phases de prélèvement d'eau à la source pour l'alimentation en eau potable : à chaque phase de prélèvement au captage (18 m³/h), le niveau dans la rivière baisse de 1 à 2 cm (Figure 12).

Compte tenu du prélèvement intermittent de 18 m³/h à la source, nous avons été obligés de vérifier pour chaque point de jaugeage (connaissant l'heure de la mesure) si le débit mesuré du Verdus était "avec prélèvement" ou "sans prélèvement". En cas de mesure pendant une phase de prélèvement, nous avons alors rajouté 5 L/s (= 18 m³/h) pour avoir une valeur "reconstituée" du débit de la rivière (Figure 13).



Figure 10 : Localisation des sections de jaugeage

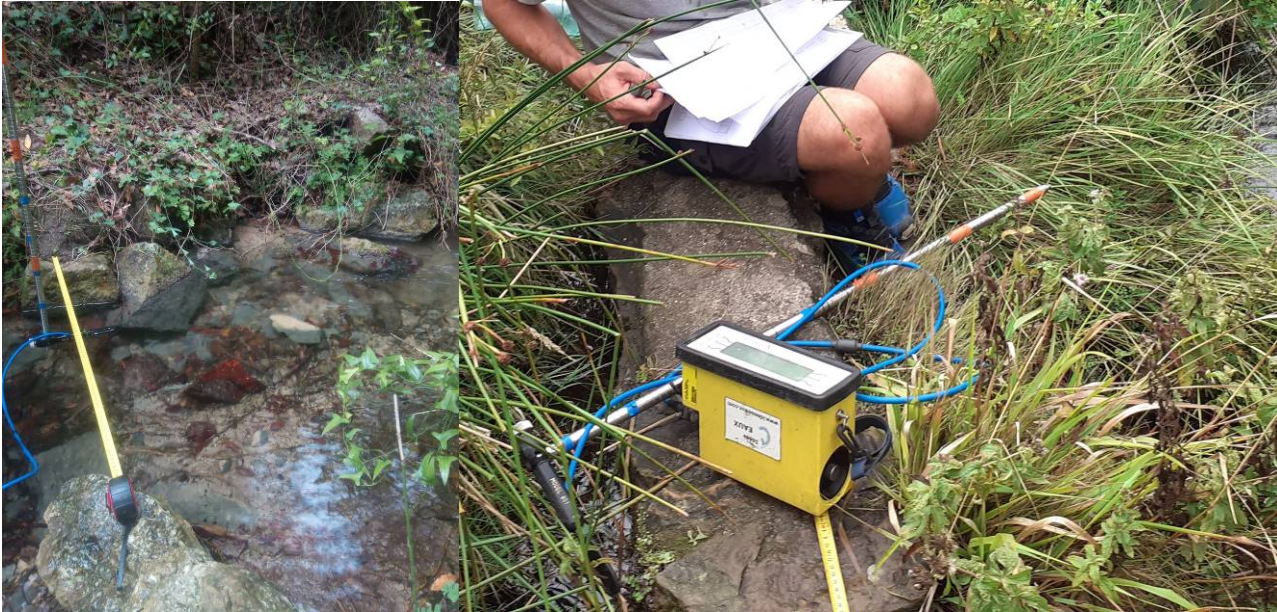


Figure 11 : Courantomètre Hydreka

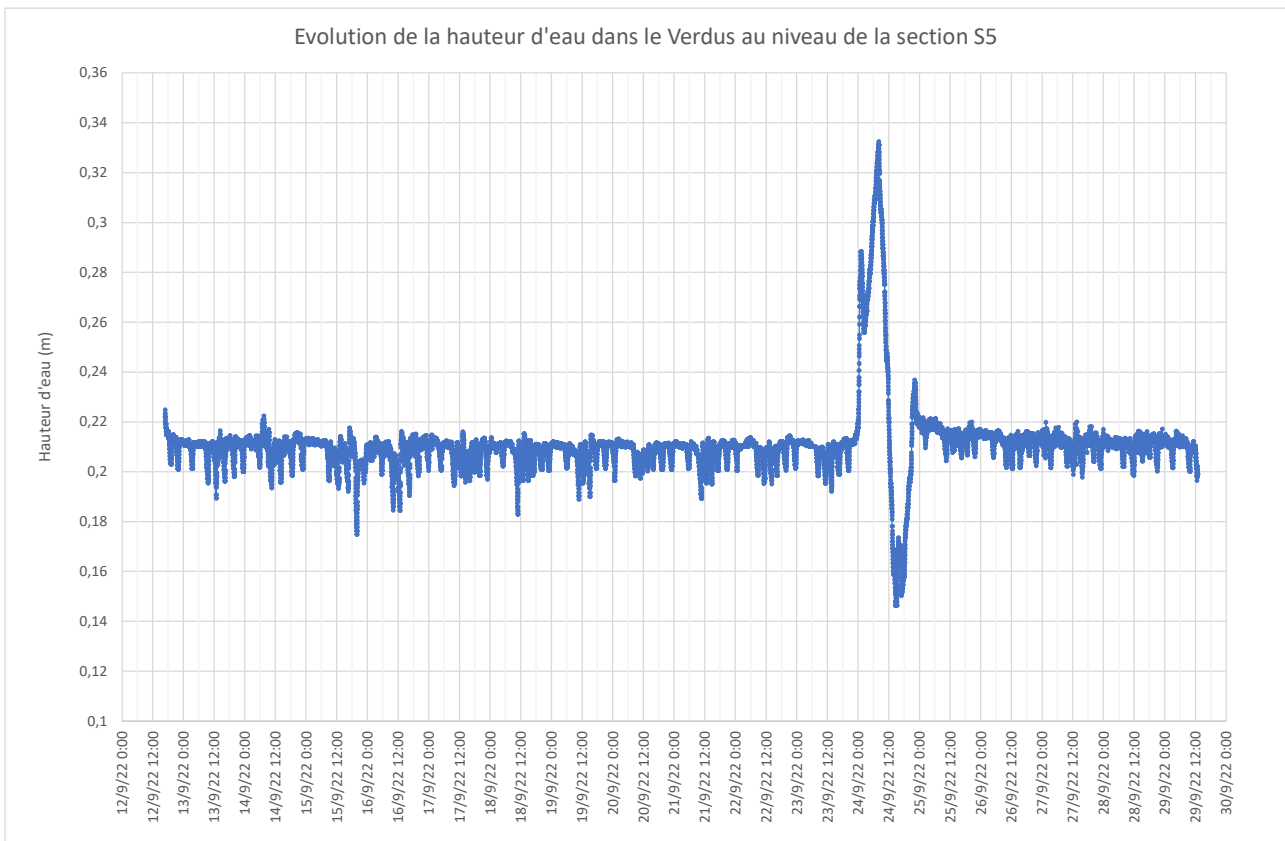


Figure 12 : Fluctuation du niveau d'eau du Verdus en S4 en lien avec le prélèvement à la source

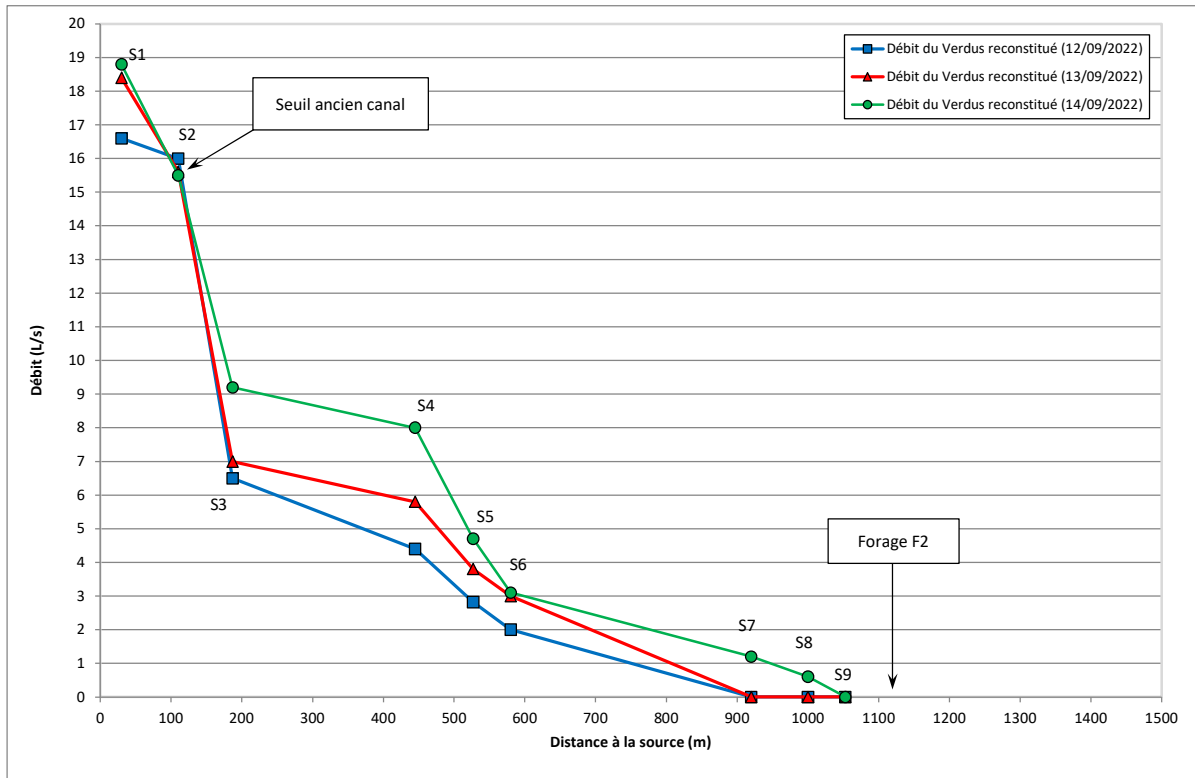


Figure 13 : Profil de débit naturel du Verdus du 12 au 14/09/2022

Les 3 profils de débit ont été établis comme suit :

- Le profil du 12/09/2022 a été établi avant le démarrage du pompage (33 m³/h) ;
- Le profil du 13/09/2022 a été établi après 7h de pompage en continu (33 m³/h) ;
- Le profil du 14/09/2022 a été établi après 24h de pompage en continu (33 m³/h).

Sur les 3 profils de débit "reconstitué" du Verdus on constate les éléments suivants :

- Le débit du Verdus a naturellement augmenté entre le 12 et le 14/09/2022 lié aux variations naturelles à la source ;
- Les pertes du Verdus sont importantes entre S2 et S3 (33 à 57% de perte de débit).
- Le Verdus est sec avant son arrivée dans la zone du stade ;

Comme déjà évalué lors de l'étude hydrogéologique de 2018, le prélèvement sur F2 (au débit de 33 m³/h) n'a aucun impact sur le débit du Verdus (celui-ci étant en position perchée par rapport à sa nappe).

Le Verdus s'infiltrant totalement dans les formations colluviales et alluviales, on peut donc évaluer le débit des pertes alimentant la nappe alluviale à :

	12/09/2022	13/09/2022	14/09/2022
Débit des pertes entre S1 et S9 (L/s)	16.6	18.4	18.8

Tableau 2 : Débit des pertes du Verdus entre S1 et S9

Les pertes du Verdus à l'étiage sévère (dans les conditions de septembre 2022) entre la source du Bout du Monde et la zone de forage sont de l'ordre de 16.6 à 18.8 L/s soit environ 59 à 68 m³/h.

4. L'essai par multi-traçage

4.1. Objectifs

L'objectif de cet essai est triple :

- Objectif n°1 : Vérifier l'existence d'une liaison hydraulique entre le Verdus et la nappe alluviale au droit du forage F2 ;
- Objectif n°2 : Vérifier l'existence d'une liaison hydraulique entre le Verdus et le canal des moines ;
- Objectif n°3 : Evaluer le temps de circulation des eaux du Verdus depuis la source du Bout du Monde jusqu'au forage F2 en pompage et évaluer le taux de restitution.

Ces données sont essentielles pour caractériser la vulnérabilité de l'aquifère.

4.2. Méthodologie

4.2.1. Les points d'injection

L'étude hydrogéologique d'octobre 2018 avait montré que le Verdus se perdait tout au long de son cours entre sa source et le village. Nous avons donc choisi d'injecter un premier colorant (Fluorescéine) directement dans la rivière, juste en aval de la source, au droit d'une zone facilement accessible et permettant un bon brassage du colorant : le seuil au niveau de l'ancienne prise du canal. Les coordonnées (L93) de la zone d'injection en karst sont les suivantes :

X : 743 084 m ;
Y : 6 293 373 m ;
Z : 131 m.

En parallèle, un second traceur (Sulforhodamine B) a été injecté en zone non saturée (dans une fouille en bordure de piste), juste en amont du stade. Les coordonnées (L93) sont les suivantes :

X : 743 734 m ;
Y : 6 293 365 m ;
Z : 114.7 m.

Enfin, un troisième traceur (sel) a été injecté dans le piézomètre Pz Amont pour contrôler la vitesse d'écoulement radiale, dans l'environnement du pompage. Les coordonnées (L93) sont les suivantes :

X : 743 862 m ;
Y : 6 293 318 m ;
Z : 112.4 m.



Figure 14 : Localisation des points d'injection

4.2.2. Les traceurs utilisés

Tracage n°1 (en rivière) : nous avons proposé d'utiliser la Fluorescéine, traceur fluorescent conservatif et compatible avec la consommation humaine. Il colore l'eau en jaune/vert et il est très facilement détectables et à des seuils infiniment faibles (ppb). Un des avantages de la fluorescéine réside dans le fait qu'elle est dégradée en présence d'agents oxydants tels que le chlore, le dioxyde de chlore et l'ozone, substances fréquemment utilisées dans le traitement de l'eau potable dans les réservoirs.

Nous avons injecté le 13/09/22 de 11h10 à 11h18 : 1,61 kg de Fluorescéine dans le Verdus au niveau du barrage (section 2 - débit : 16.2 L/s). La concentration du traceur était donc de 0.21 g/L. la distance entre le point d'injection et le forage est de 830 m à vol d'oiseau et 950 m en suivant le linéaire du Verdus.



Figure 15 : Injection de la Fluorescéine

Traçage n°2 (dans une fouille à proximité du Verdus) : nous avons utilisé la Sulforhodamine B (=Aminorhodamine B). Elle colore l'eau en rouge.

Nous avons injecté le traceur le 13/09/22 pendant 30' (entre 11h40 et 12h10), 1.01 kg de Sulforhodamine B avec un débit d'injection de 3 m³/h dans une fouille creusée à proximité du Verdus (donc en zone non saturée) et en amont du forage F2 (distance : 195 m). La concentration du traceur était donc de l'ordre de 0.67 g/L.



Figure 16 : Injection de la Sulforhodamine B

Traçage n°3 (dans le piézomètre amont situé à 52.3 m du forage F2) : nous avons utilisé du sel alimentaire (NaCl). Nous avons injecté le 13/09/22 pendant 10' (entre 14h40 et 14h50), 20 kg de sel dilué dans 160 L. La concentration du traceur était donc de l'ordre de 125 g/L.



Figure 17 : Injection du sel

4.2.3. Points de surveillance

Pour le suivi de ces traçages, nous avons mis en place 2 fluorimètres (Figure 18 et Figure 20 : l’un au forage, au niveau du robinet de prélèvement sur la conduite de refoulement, et l’autre dans le bassin d’arrivée du canal des Moines au monastère) pour un enregistrement en continu (pas de temps 5 mn) sur une durée de suivi de 16 jours. Ils ont permis d’obtenir un enregistrement très précis des courbes de restitution des colorants injectés et de calculer les taux de restitution de chaque colorant. Les fluorimètres ont été relevés 3 fois pendant la durée du suivi. La distance entre les points d’injection et les points de surveillance est la suivante :

	Forage	Monastère
Fluorescéine	950 m (sur la base du linéaire du Verdus)	1522 m (sur la base du linéaire du Verdus)
Sulforhodamine B	195 m	767 m

Tableau 3 : Distance entre les points d’injection et les points de surveillance

Chaque fluorimètre a été doublé d’un préleveur automatique pour contrôler les données enregistrées (Figure 18 et Figure 20) (1 échantillon prélevé par heure pendant les 24 premières heures puis toutes les 6 heures ensuite jusqu’à la fin du suivi). Les préleveurs ont été vidangés 4 fois pendant la durée du suivi.

En complément nous avons installé des fluocapteurs (=sachet de charbon actif - Figure 19) mis en place le 12/09/22. Nous avons équipé (Figure 20) :

- La source d’eau brute (mairie) ;
- La source d’eau brute (au niveau de l’Hérault en bas du village) ;
- Les sources de la Gloriette.

Les fluocapteurs ont été relevés et changés 2 fois pendant la durée du suivi :

- Relève n°1 : 19/09/2022 ;
- Relève n°2 : 29/09/2022.



Figure 18 : Fluorimètre GGUN FL24 / préleveur



Figure 19 : Fluocapteur

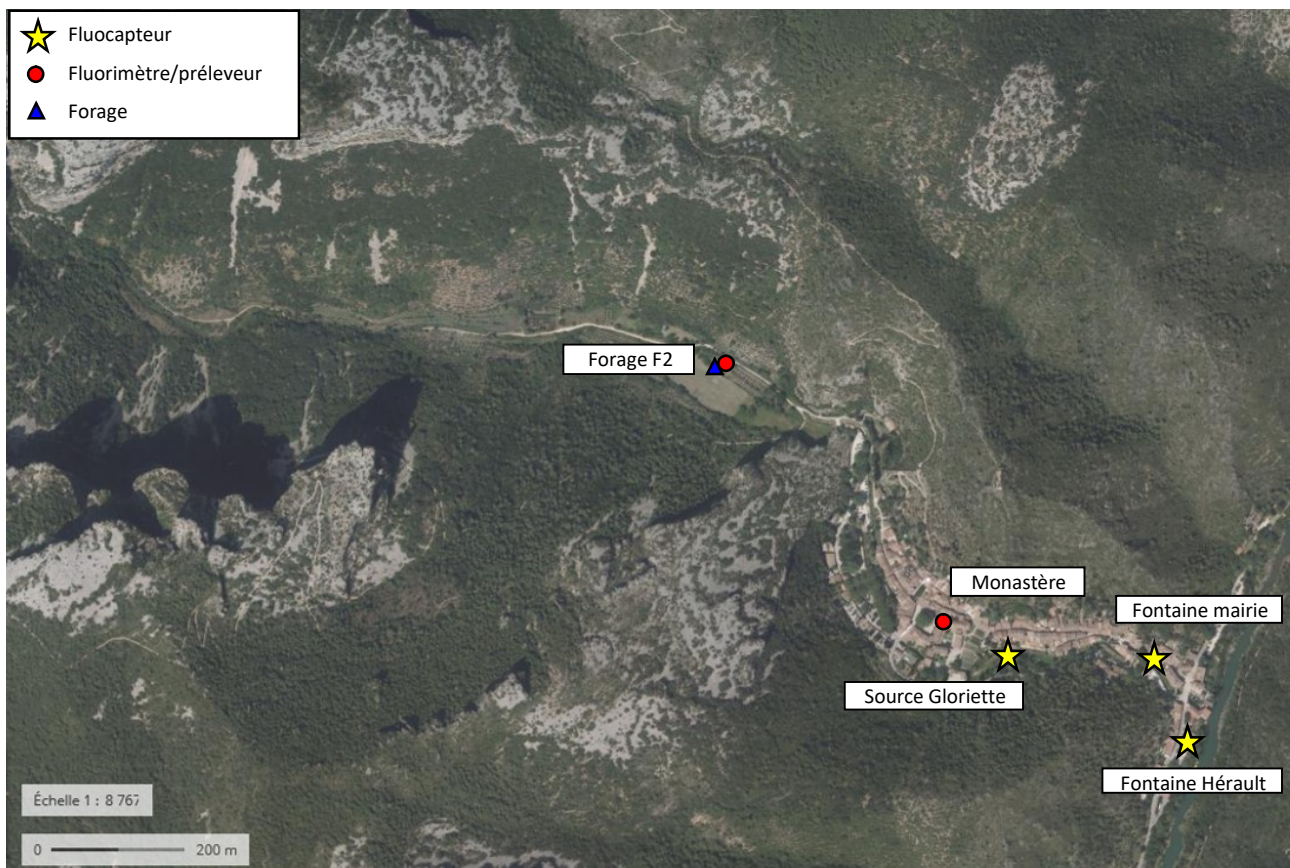


Figure 20 : Localisation des fluorimètres / fluocapteurs

4.3. Résultats

Pour rappel, il y a eu un épisode pluvieux s'est produit la nuit du 23 au 24/09, entre 23:00 et 01:00. Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants et en annexes.

4.3.1. Résultats sur les fluocapteurs

La Fluorescéine, injectée le 13/09/22, a été détectée dans les fluocapteurs (sources de la Gloriette, fontaine mairie et fontaine Hérault). Les spectres des fluocapteurs sont joints en annexe. Les sources de la Gloriette sont donc alimentées (tout ou pour partie) par les pertes du Verdus.

FLUORESCINE	19/09/2022	29/09/2022
Gloriette	Non relevé	Positif
Fontaine Mairie	Traces	Positif
Fontaine Hérault	Négatif	Fluocapteur retiré par inadvertance par les services techniques

Tableau 4 : Résultats d'analyse des spectres fluorescents sur les fluocapteurs (Fluorescéine)

Le résultat « négatif » sur le fluocapteur de la fontaine de l'Hérault et à mettre en lien avec le résultat « traces » identifié sur le fluocapteur de la fontaine de la Mairie. Selon nous, au moment de la 1^{ère} relève, le traceur était en cours de circulation dans les conduites d'eau brutes alimentant les fontaines et n'était pas encore arrivé à la fontaine de l'Hérault.

La Sulforhodamine injectée en zone non saturée à proximité du Verdus et en amont du forage F2 (distance 195 m) n'a jamais été détectée.

4.3.2. Résultat du traçage en rivière (Fluorescéine)

Elle a été injectée en rivière le 13/09/22 (distance 950 m du forage F2) avec une concentration de 0.21 g/L. Les fluorimètres au forage et au monastère ainsi que les échantillons d'eau analysés (voir résultat en annexes) ont révélé sa présence. **La nappe alluviale et le canal des Moines sont donc bien alimentés tout ou partie par le Verdus.** Le résultat de la restitution au forage et au monastère est présenté sur la Figure 21. Les résultats quantitatifs sont les suivants :

Fluorescéine (Traçage n°1)				
		A l'injection	Au forage	Au monastère
Point d'injection	Heure d'injection	11h10 à 11h18 – le 13/09/22		
	Débit du Verdus	16.2 L/s		
	Concentration à l'injection (masse/débit Verdus)	0.21 g/L		
Point de surveillance	Distance injection/surveillance		950 m	1522 m
	Heure de 1 ^{ère} arrivée		21h35 – le 15/09/22	09h00 – le 18/09/22
	Heure d'arrivée du pic		19h26 – le 22/09/22	15h42 – le 29/09/22
	Concentration au pic		9.85 µg/L	4.87 µg/L
	Vitesse de 1 ^{ère} arrivée (temps apparition/distance par rapport au point d'injection)		16.3 m/h	12.9 m/h
	Vitesse au pic (temps au pic/distance par rapport au point d'injection)		4.2 m/h	3.91 m/h
	Fin de passage du traceur		>29/09/22 – 12h00	>14/10/22
	Débit		33 m ³ /h	10-15 m ³ /h
	Taux de restitution du traceur		>4.87%	>1.39-2.08%

Tableau 5 : Résultats du traçage n°1 - Fluorescéine

Comme l'infiltration du Verdus s'opère tout au long de son cours, les vitesses de circulation en milieu souterrain sont donc majorées car une partie du transit s'effectue en milieu aérien.

Au forage, de nombreux résultats suggèrent une forte dilution du traceur dans le milieu souterrain et donc un volume d'eau important dans l'aquifère :

- La concentration au pic est très faible : 9.85 µg/L, soit une dilution de près de 21 000 fois ;
- L'aspect en dos de baleine de la courbe de restitution (absence de pic net) ;
- Le taux de restitution très faible de seulement 4.87% après 16 jours de suivi.

Au monastère également, de nombreux résultats suggèrent une très forte dilution du traceur dans le milieu souterrain jusqu'à son arrivée :

- La concentration au pic est très faible : 4.87 µg/L, soit une dilution de près de 43 000 fois ;
- L'aspect en dos de baleine de la courbe de restitution (absence de pic net) ;
- Le taux de restitution très faible : environ 1.39 à 2.08% après 31 jours de suivi.

Remarquons qu'au monastère, la concentration au pic est deux fois plus faible qu'au forage. Cela sous-entendrait que :

- Soit le départ du canal des Moines est située bien plus en aval que le forage F2 permettant alors au traceur de se diluer encore dans la nappe avant d'atteindre le départ du canal ;
- Soit le canal des Moines collecte une/des arrivée(s) d'eau latérale(s) en provenance du versant en rive gauche du Verdus, permettant alors de diluer le traceur.

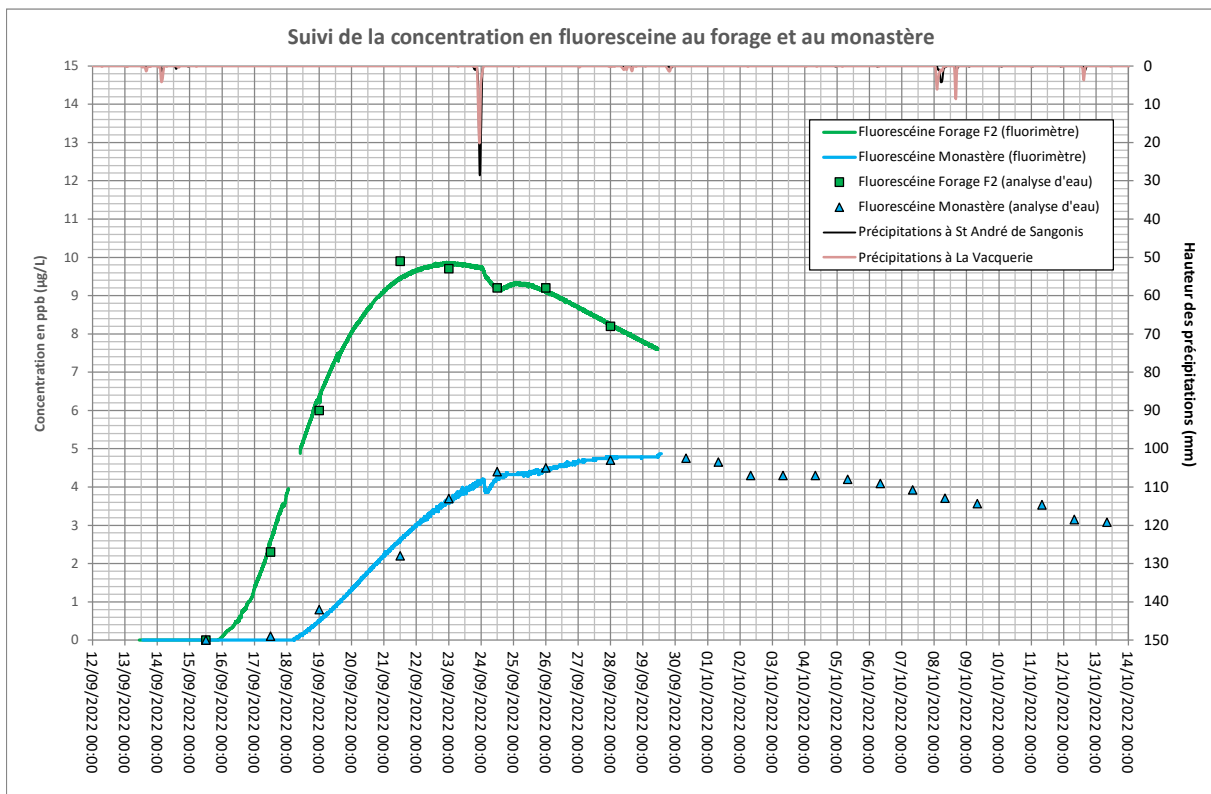


Figure 21 : Restitution de la Fluorescéine

4.3.3. Résultat du traçage en zone non saturée (Sulforhodamine B)

Elle a été injectée dans une fouille le 13/09/22 (distance 195 m du forage F2) avec une concentration de 0.67 g/L. Les fluorimètres au forage et au monastère ainsi que les échantillons d'eau analysés (voir résultat en annexes) n'ont pas révélé sa présence (Figure 22). Les résultats sont les suivants.

Sulforhodamine B (Traçage n°2)				
		A l'injection	Au forage	Au monastère
Point d'injection	Heure d'injection	11h40 à 12h10 – le 13/09/22		
	Débit d'injection	3 m ³ /h		
	Concentration à l'injection	0.67 g/L		
Point de surveillance	Distance injection/surveillance		195 m	767 m
	Heure de 1 ^{ère} arrivée		-	-
	Heure d'arrivée du pic		-	-
	Concentration au pic		-	-
	Vitesse de 1 ^{ère} arrivée		-	-
	Vitesse au pic		-	-
	Fin de passage du traceur		-	-
	Débit		33 m ³ /h	10-15 m ³ /h
	Taux de restitution du traceur		-	-

Tableau 6 : Résultats du traçage n°2 – Sulforhodamine B

Les fluorimètres enregistrent un signal « bruit de fond », confirmé par les résultats d'analyses d'eau qui ne détectent pas de Sulforhodamine B dans les échantillons, tout comme les fluocapteurs négatifs. Il est vraisemblable d'imaginer que le traceur est resté bloqué dans la zone non saturée et n'a jamais atteint la nappe malgré les 1 500 L injectés pour pousser le traceur qui s'est pourtant visuellement totalement infiltré dans le sol.

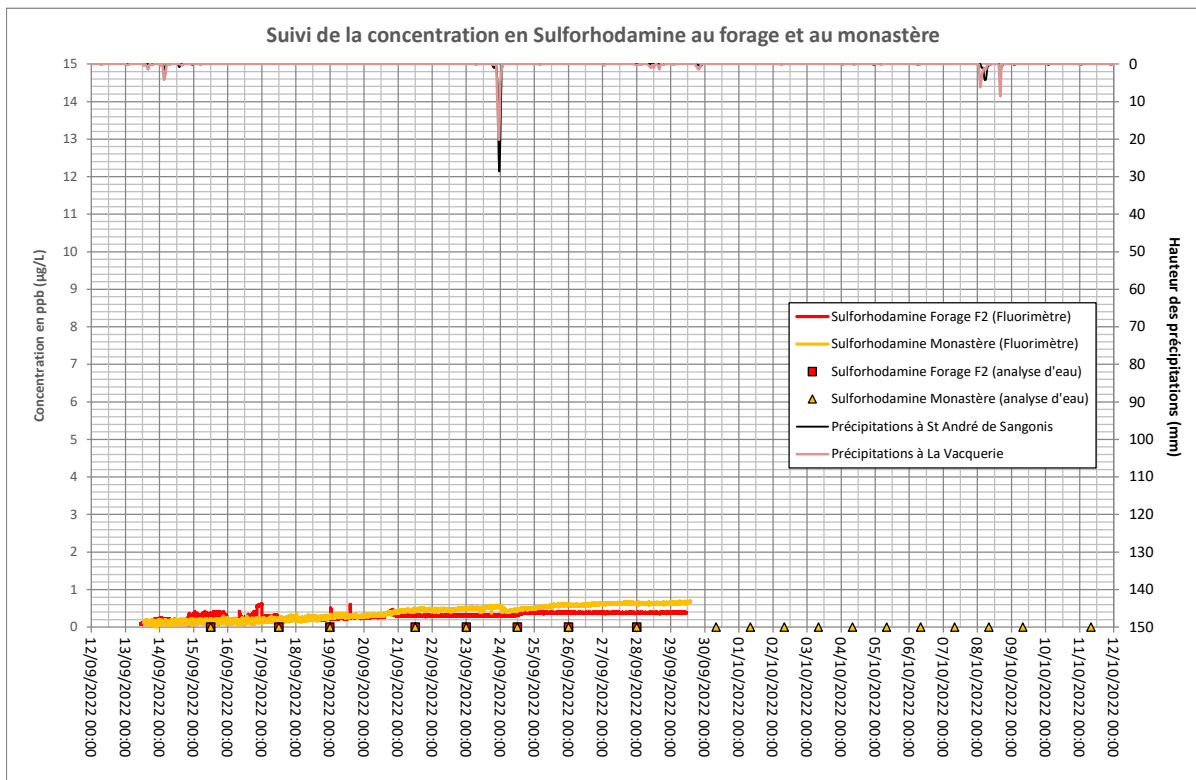


Figure 22 : Restitution de la Sulforhodamine B

4.3.4. Résultat du traçage en nappe (sel)

Le traceur a été injecté (20 kg) dans le piézomètre amont (distant de 52.3 m du forage F2) le 13/09/2022 entre 14h40 et 14h50. Le résultat de la restitution au forage est présenté sur la Figure 23. Les résultats quantitatifs sont les suivants.

	Pz amont	Forage F2
Point d'injection	Heure d'injection	14h40 à 14h50 – le 13/09/22
	Débit d'injection	3 m ³ /h
	Concentration à l'injection	125 g/L
Point de surveillance	Distance injection/surveillance	52.3 m
	Heure de 1 ^{ère} arrivée	16h48 – le 13/09/22
	Heure d'arrivée du pic	18h43 – le 13/09/22
	Conductivité au pic	510.5 µS/cm (0.247 g/L)
	Vitesse de 1 ^{ère} arrivée	26.1 m/h
	Vitesse au pic	13.1 m/h
	Fin de passage du traceur	06h34 – le 14/04/222
	Débit du pompage	33 m ³ /h
	Taux de restitution du traceur	6.45%

Tableau 7 : Résultats du traçage n°3 - sel

Au forage (en pompage à 33 m³/h), la conductivité de base de l'eau est de 486 µS/cm. Le traceur apparaît 2h après l'injection, avec un pic très peu concentré (dilution d'environ 500 fois) qui survient au bout de 4h (510.5 µS/cm). Les vitesses de circulation en nappe (radial convergent) sont cohérentes avec celles identifiées à l'aide du traçage en rivière (Fluorescéine). Le taux de restitution est faible (6.45%) suggérant un volume de nappe important permettant de fait une forte dilution.

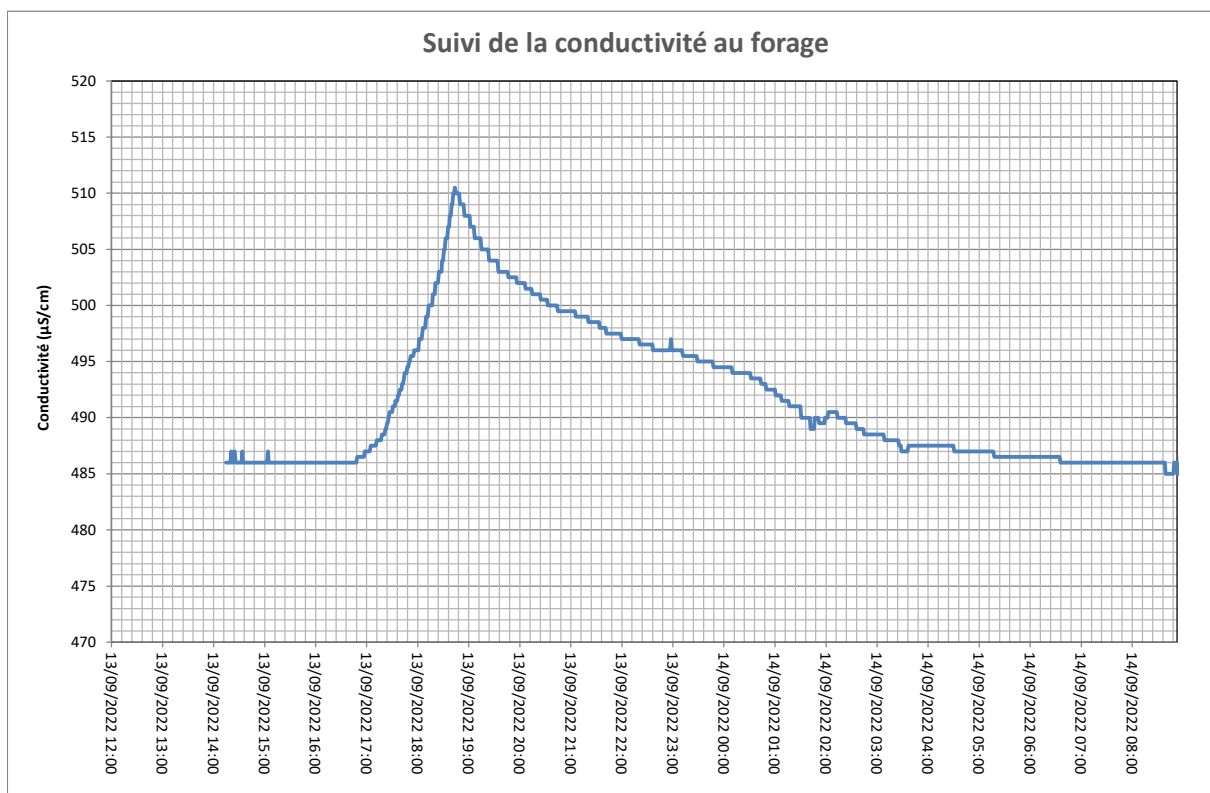


Figure 23 : Restitution du sel au forage

5. Conclusions et perspectives d'exploitation

5.1. Synthèse des données

Les opérations de pompage, jaugeage et de traçage ont été réalisées en septembre 2022 dans des conditions d'étiage très sévère.

L'essai par pompage au débit de 33 m³/h en continu pendant 16 jours a confirmé la productivité de l'ouvrage et le potentiel hydrogéologique de l'aquifère. Les résultats sont les suivants :

- Le niveau statique de départ était de 5.34 m/bride (le fond étant mesuré à 10 m/bride) ;
- La hauteur aquifère dans le forage avant pompage est de 4.66 m ;
- Le rabattement dans le forage est de 1.44 m (après 10 jours et avant les pluies du 23/09) ;
- La hauteur aquifère dans le forage en fin de pompage est de 3.22 m (après 10 jours) ;
- Le niveau d'eau de Pz Amont et Pz aval (distants de 52.3 et 55 m) sont influencés de 1 m ;
- Le rayon d'action (=cône d'influence) du pompage après 10 jours est d'environ 205 m.

Les jaugeages réalisés sur le Verdus, ont montré les résultats suivants :

- La rivière est totalement sèche en amont du stade (entre 50 et 200 m en amont) ;
- Les pertes majeures sont repérées entre S2 (seuil ancien canal) et S3 avec 33-57% du débit ;
- Le débit d'infiltration vers la nappe est de 59 à 68 m³/h (débit naturel du Verdus) ;

Le traçage en rivière (Fluorescéine), a montré les résultats suivants :

- Les pertes du Verdus alimentent la nappe alluviale et le canal des Moines ;
- La vitesse de 1^{ère} arrivée du traceur est de 16.2 m/h au forage et 12.9 m/h au monastère ;
- La vitesse d'arrivée au pic est de 4.2 m/h au forage et de 3.91 m/h au monastère ;
- Le traceur arrive fortement dilué suggérant un volume d'eau important dans l'aquifère ;
- Les taux de restitution sont très faibles (>4.87% au forage, >1.39-2.08% au monastère).

Le traçage en zone non saturée (Sulforhodamine B) n'a jamais été retrouvé (probablement bloqué dans un horizon peu perméable de surface). Dans le secteur d'injection du traceur, la vulnérabilité de l'aquifère semble donc réduite.

Le traçage en nappe (sel), a montré les résultats suivants :

- La vitesse de 1^{ère} arrivée du traceur est de 26.2 m/h au forage ;
- La vitesse d'arrivée au pic est de 13.1 m/h au forage ;
- Le traceur arrive fortement dilué suggérant un volume d'eau important dans l'aquifère ;
- Le taux de restitution est faible (6.45%) corroborant l'importance du volume aquifère.

5.2. Conclusions

Tous ces résultats hydrogéologiques convergent sur le fait que le potentiel aquifère de la nappe alluviale du Verdus est important. Cet aquifère est alimenté (tout ou partie ?) par les pertes du Verdus. Le Verdus est déconnecté (en position perchée) de sa nappe alluviale.

Le déplacement du prélèvement à la source en faveur d'un pompage en nappe permettra de rendre à la rivière un débit équivalent au prélèvement actuel (18 m³/h). Ce débit restitué s'infiltrera ensuite en partie et viendra alimenter la nappe.

Une connexion entre le canal des Moines et le Verdus a pu être établie. Le taux de restitution plus faible au monastère qu'au forage semble traduire que le départ du canal des Moines est situé bien en aval hydraulique du forage F2 et/ou qu'il soit alimenté latéralement par d'autres arrivées d'eau latérales en provenance du versant en rive gauche du Verdus.

Le prélèvement au forage (33 m³/h en continu pendant 16 jours, soit 16 672 m³) ne semble pas avoir eu d'impact sur le débit du canal des Moines :

- Le débit trop-plein du bassin collecteur au monastère n'a visuellement pas varié (mesure impossible) ;
- Le débit de la pompe alimentant la fontaine centrale n'a pas varié ;
- Le débit des fontaines des moines n'a pas varié.

ANNEXES

Annexe 1 : Résultats des analyses d'eau



IDENTIFICATION DE COLORANTS FLUORESCENTS
 PAR SPECTROMETRE DE LUMINESCENCE
 (PERKIN ELMER – LS 50 B)

DEMANDEUR : Yann CONROUX
 MAIL : y.conroux@ideeseaux.com
 Etude : STG

SOCIETE : Idées Eaux 26

Opérateur : Elise VIENOT
 Date d'analyse : 06/10/2022
 Colorant(s) recherché(s) : Fluorescéine – Sulfo-rhodamine B
 Gamme utilisée : 400-600NM

Analyses réalisées sur les échantillons « Forage – F2 »

A. CONCENTRATION EN COLORANT

Date	Heure	Analysé	Dilué	Concentration en Fluorescéine (µg/L)	Analysé	Dilué	Concentration en sulfo-rhodamine B (µg/L)
15/09/2022	12:00	OUI	NON	∅	OUI	NON	∅
17/09/2022	12:00	OUI	NON	2,3	OUI	NON	∅
19/09/2022	00:00	OUI	OUI	6,0	OUI	NON	∅
21/09/2022	12:00	OUI	OUI	9,9	OUI	NON	∅
23/09/2022	00:00	OUI	OUI	9,7	OUI	NON	∅
24/09/2022	12:00	OUI	OUI	9,2	OUI	NON	∅
26/09/2022	00:00	OUI	OUI	9,2	OUI	NON	∅
28/09/2022	00:00	OUI	OUI	8,2	OUI	NON	∅

∅ absence de colorant ou présence non significative



Sciences Environnement

IDENTIFICATION DE COLORANTS FLUORESCENTS
PAR SPECTROMETRE DE LUMINESCENCE
(PERKIN ELMER – LS 50 B)

DEMANDEUR : Yann CONROUX
MAIL : y.conroux@ideeseaux.com
Etude : STG

SOCIETE : Idées Eaux 26

Opérateur : Elise VIENOT
Date d'analyse : 06/10/2022
Colorant(s) recherché(s) : Fluorescéine – Sulfo-rhodamine B
Gamme utilisée : 400-600NM

Analyses réalisées sur les échantillons « Monastère - MONA »

A. CONCENTRATION EN COLORANT

Date	Heure	Analysé	Dilué	Concentration en Fluorescéine (µg/L)	Analysé	Dilué	Concentration en sulfo-rhodamine B (µg/L)
15/09/2022	12:00	OUI	NON	∅	OUI	NON	∅
17/09/2022	12:00	OUI	NON	0,1	OUI	NON	∅
19/09/2022	00:00	OUI	NON	0,8	OUI	NON	∅
21/09/2022	12:00	OUI	NON	2,2	OUI	NON	∅
23/09/2022	00:00	OUI	NON	3,7	OUI	NON	∅
24/09/2022	12:00	OUI	NON	4,4	OUI	NON	∅
26/09/2022	00:00	OUI	NON	4,5	OUI	NON	∅
28/09/2022	00:00	OUI	NON	4,7	OUI	NON	∅

∅ absence de colorant ou présence non significative



Sciences Environnement

IDENTIFICATION DE COLORANTS FLUORESCENTS
PAR SPECTROMETRE DE LUMINESCENCE
(PERKIN ELMER – LS 50 B)

DEMANDEUR : Yann CONROUX
MAIL : y.conroux@ideeseaux.com
Etude : STG

SOCIETE : Idées Eaux 26

Opérateur : Elise VIENOT
Date d'analyse : 06/10/2022
Colorant(s) recherché(s) : Fluorescéine – Sulfo-rhodamine B
Gamme utilisée : 400-600NM

Analyses réalisées sur l'échantillon « DRAC »

A. CONCENTRATION EN COLORANT

Date	Heure	Analysé	Dilué	Concentration en Fluorescéine (µg/L)	Analysé	Dilué	Concentration en sulfo-rhodamine B (µg/L)
28/09/2022	14 :45	OUI	NON	∅	OUI	NON	∅

∅ absence de colorant ou présence non significative

Annexe 2 : Résultats des spectres sur fluocapteurs



IDENTIFICATION DE COLORANTS FLUORESCENTS PAR SPECTROMETRE DE LUMINESCENCE (PERKIN ELMER – LS 50 B)

DEMANDEUR : Yann CONROUX
MAIL : y.conroux@ideeseaux.com
Etude : STG

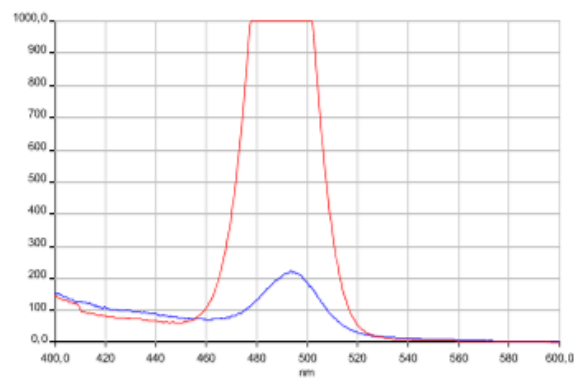
SOCIETE : Idées Eaux 26

Opérateur : Elise VIENOT
Date d'analyse : 06/10/2022
Colorant(s) recherché(s) : Fluorescéine – Sulfo-rhodamine B
Gamme utilisée : 400-600NM

Analyse réalisée sur le fluocapteur « Monastère » :

- 19/09/22 – 17h00 —
- 29/09/22 - 13h30 — (dilution : facteur 2)

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLOURESCENCE



B. OBSERVATION

Le fluocapteur de Monastère, relevé le 19/09/22 à 17h00, présente un pic de Fluorescéine.

Le fluocapteur de Monastère, relevé le 29/09/22 à 13h30, présente un pic saturé de Fluorescéine.





IDENTIFICATION DE COLORANTS FLUORESCENTS
PAR SPECTROMETRE DE LUMINESCENCE
(PERKIN ELMER – LS 50 B)

DEMANDEUR : Yann CONROUX
MAIL : y.conroux@ideeseaux.com
Etude : STG

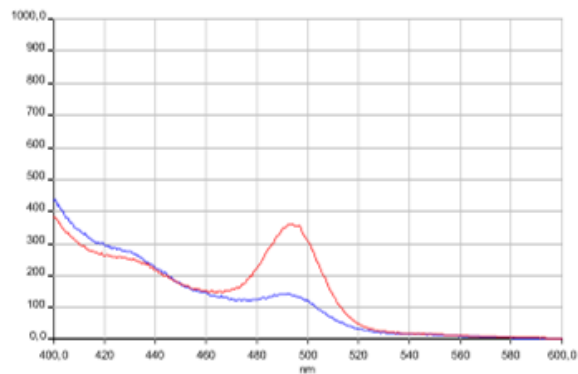
SOCIETE : Idées Eaux 26

Opérateur : Elise VIENOT
Date d'analyse : 06/10/2022
Colorant(s) recherché(s) : Fluorescéine – Sulfo-rhodamine B
Gamme utilisée : 400-600NM

Analyse réalisée sur le fluocapteur « **Fontaine Mairie** » :

- 19/09/22 – 18h30 
- 29/09/22 – 14h15 

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



B. OBSERVATION

Le fluocapteur de **Fontaine Mairie**, relevé le 19/09/22 à 18h30, présente des traces de Fluorescéine.

Le fluocapteur de **Fontaine Mairie**, relevé le 29/09/22 à 14h15, présente un pic de Fluorescéine.



IDENTIFICATION DE COLORANTS FLUORESCENTS
PAR SPECTROMETRE DE LUMINESCENCE
(PERKIN ELMER – LS 50 B)

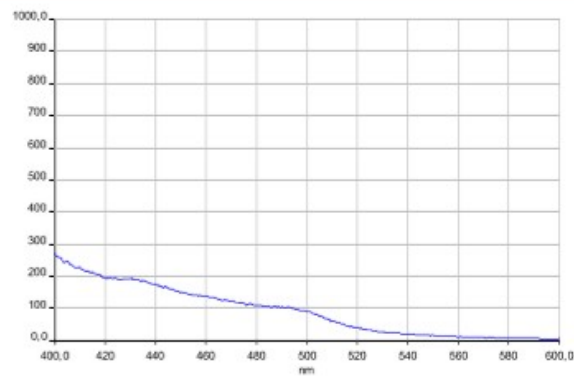
DEMANDEUR : Yann CONROUX
MAIL : y.conroux@ideeseaux.com
Etude : STG

SOCIETE : Idées Eaux 26

Opérateur : Elise VIENOT
Date d'analyse : 06/10/2022
Colorant(s) recherché(s) : Fluorescéine – Sulfo-rhodamine B
Gamme utilisée : 400-600NM

Analyse réalisée sur le fluocapteur « Fontaine Hérault »

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



B. OBSERVATION

Le fluocapteur Fontaine Hérault, relevé le 19/09/2022 à 18h30, ne présente aucun pic de colorant.



Sciences Environnement

IDENTIFICATION DE COLORANTS FLUORESCENTS
PAR SPECTROMETRE DE LUMINESCENCE
(PERKIN ELMER – LS 50 B)

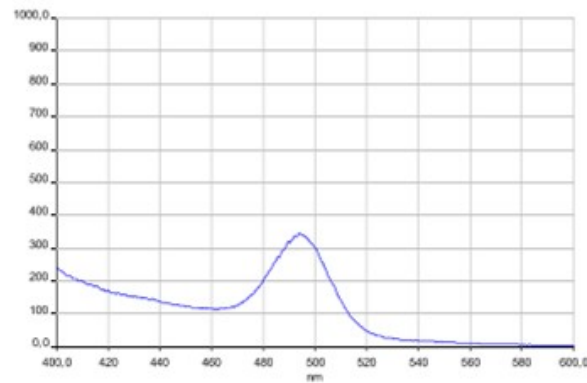
DEMANDEUR : Yann CONROUX
MAIL : y.conroux@ideeseaux.com
Etude : STG

SOCIETE : Idées Eaux 26

Opérateur : Elise VIENOT
Date d'analyse : 06/10/2022
Colorant(s) recherché(s) : Fluorescéine – Sulfo-rhodamine B
Gamme utilisée : 400-600NM

Analyse réalisée sur le fluocapteur « Source de la Gloriette »

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



B. OBSERVATION

Le fluocapteur Source de la Gloriette, relevé le 29/09/2022 à 13h45, présente un pic de Fluorescéine.