



Définition des aires d'alimentation des sources karstiques et obtention de pollutogrammes

Application au Causse Rouge et aux aires d'alimentation des sources de Bousterjack-Fontliane et Saint-Pierre

SIVOM du Tarn et du Lumansonesque

Etude réalisée par le Pôle eau du Parc naturel régional des Grands Causses

Janvier 2014



SIVOM
Tarn et Lumensonesque

Sommaire

1.	Contexte et objectifs	3
2.	Protocole mis en place	3
2.1.	Sélection des points d'injection	3
2.2.	Choix des points de suivis.....	7
2.3.	Sélection du traceur et technique d'injection.....	8
3.	Injections et suivi de la restitution	9
3.1.	Injections	9
3.1.1.	Couyras.....	9
3.1.2.	Tunnel Technique de la Gamasse.....	9
3.1.3.	Dolmen de la Glenne.....	10
3.1.4.	Bois du four	11
3.2.	Suivis.....	12
3.3.	Analyses.....	12
4.	Restitutions et interprétations.....	13
4.1.	Traçage de Couyras	13
4.1.1.	Lavoir de Verrières	13
4.1.2.	Moulin de Verrières.....	13
4.1.3.	Les Aigues.....	13
4.1.4.	Synthèse restitution	15
4.2.	Traçage du tunnel technique de la Gamasse	16
4.2.1.	Source de Bousterjack.....	16
4.3.	Source de Fontliane.....	17
4.3.1.	Barbade	18
4.3.2.	Synthèse restitution	20
4.4.	Traçage du Bois du Four et du dolmen de la Glenne	20
5.	Conclusions.....	21
	ANNEXES I.....	23
	ANNEXES II.....	25
	ANNEXES III.....	28

1. Contexte et objectifs

Cette étude s'inscrit dans le cadre d'une action globale sur le Causse Rouge et la réalisation de plusieurs traçages sur des aires d'alimentation de sources karstiques captées. Quelques traçages ont été réalisés lors de l'étude hydrogéologique du Causse Rouge en 1999, mais ils ne sont pas suffisants. Les limites de certains bassins ne sont pas bien connues.

Les sources étudiées Bousterjack-Fontliane et Saint-Pierre appartiennent au SIVOM du Tarn et du Lumensonesque.

L'objectif de ces nouveaux essais de traçage est donc d'améliorer la connaissance des limites des bassins d'alimentation des sources ainsi que leurs vulnérabilités.

Une connaissance plus fine de la ressource en eau souterraine permettra une meilleure gestion et assurera l'avenir de la réserve en eau.

2. Protocole mis en place

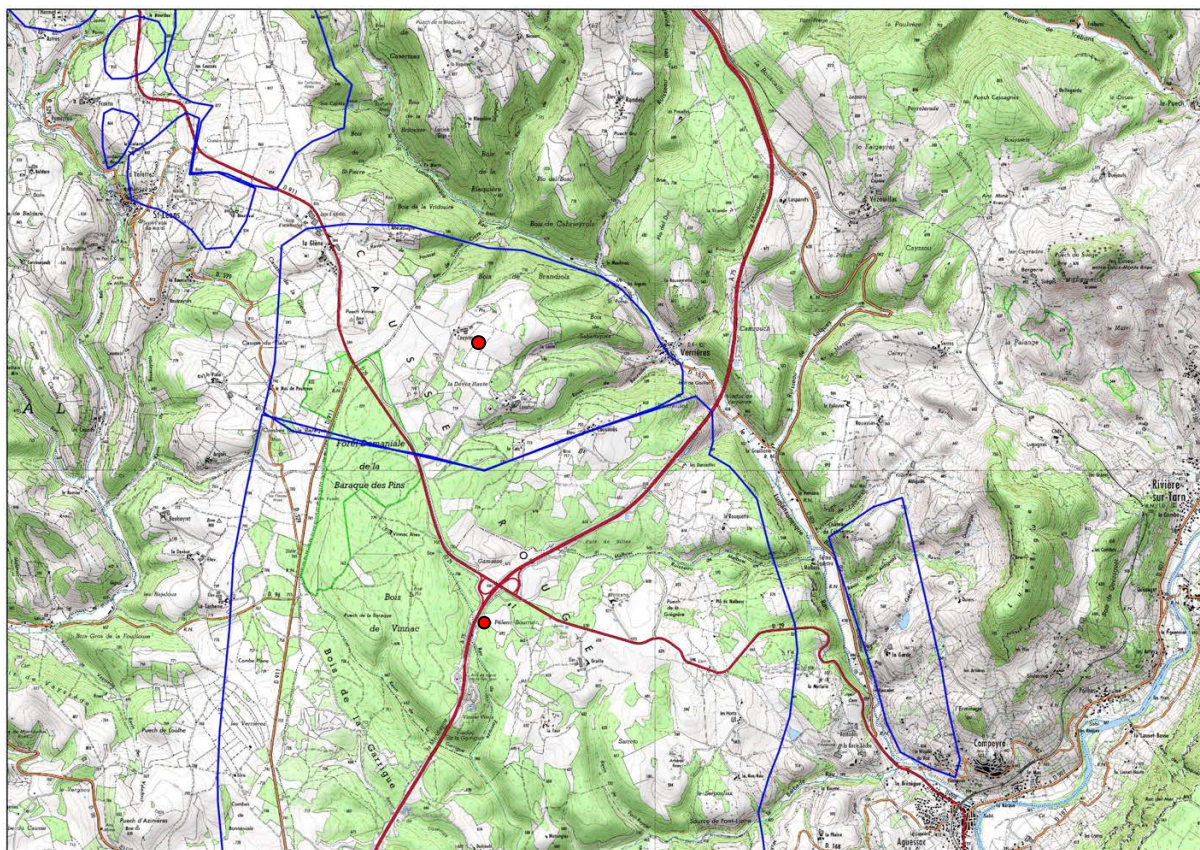
2.1. Sélection des points d'injection

En accord avec le SIVOM du Tarn et du Lumensonesque, quatre zones d'injection ont été sélectionnées (au lieu de trois initialement).

Les traçages ont eu lieu en deux phases.

Lors de la première phase qui concerne l'aire d'alimentation de Bousterjack-Fontliane, les deux premiers traçages se sont déroulés au lieu-dit « de Couyras », à l'Est de Verrières, et à la sortie du tunnel technique de la « Gamasse » en bordure de l'autoroute A75. (cf. carte 1, tableau 1 et photographies 1 et 2). Les sources visées étaient Bousterjack/Fontliane et la source des Aigues.

Après la reconnaissance terrain, les injections ont été effectuées au niveau du trop-plein pour le tunnel technique de la « Gamasse » et nous avons profité de la mise en place d'un système de traitement des eaux blanches à Couyras pour injecter au droit de la fosse en cours de réalisation (cf. carte 1, tableau 1 et photographies 1 et 2).



Carte 1 - Territoire de l'étude (limites bleus) et localisation des points d'injection (ronds rouges)

	x	y	Altitude
Couyras	702551.17	6344867.44	792m
Tunnel technique de la Gamasse	702619.12	6341776.41	683m

Tableau 1 - Coordonnées en Lambert 93 des points d'injection

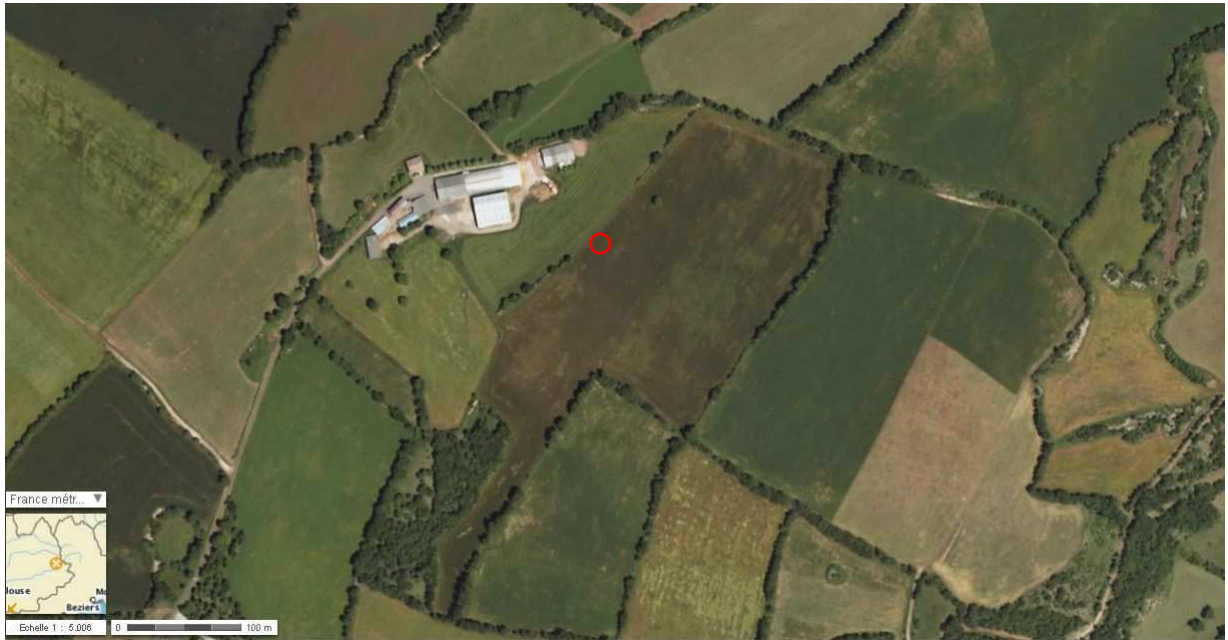


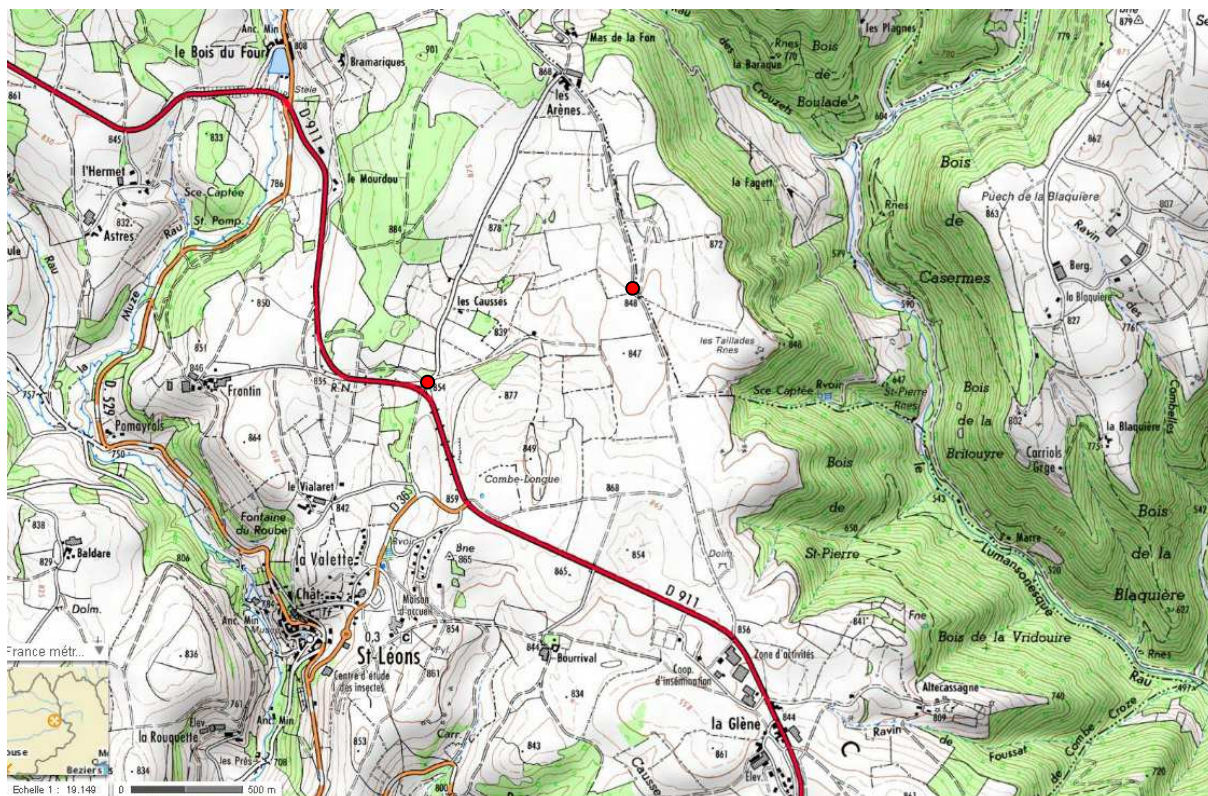
Photo 1 – Couyras, injection dans fosse



Photo 2 – Tunnel technique de la Gamasse, injection dans le trop plein du bassin

Durant la deuxième phase qui concerne l'aire d'alimentation de la source de Saint-Pierre, deux nouveaux secteurs ont été sélectionnés.

- Le 1^{er} est une perte indiquée par le SIVOM à proximité du Dolmen de la Glenne ;
- le 2^{ème} correspond à la limite ouest du bassin d'alimentation de la source de Saint Pierre et se situe sur l'aire de repos avant l'embranchement du Bois du Four (cf. carte 2, tableau 2 et photographies 1 et 2).



Carte 2 - Territoire de l'étude et localisation des points d'injection (ronds rouges)

	x	y	Altitude
Dolmen de la Glèze	700420.11	6347794.61	848
Bois du Four	699476.3	6347423.4	853

Tableau 2 - Coordonnées Lambert 93 des points d'injection

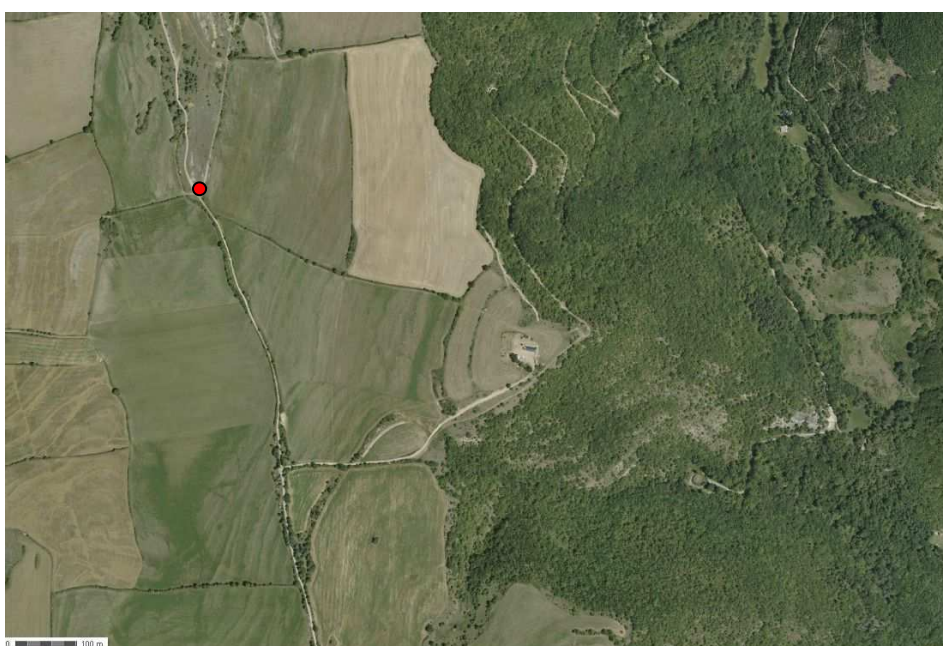


Photo 3 - Dolmen de la Glèze, injection dans une perte

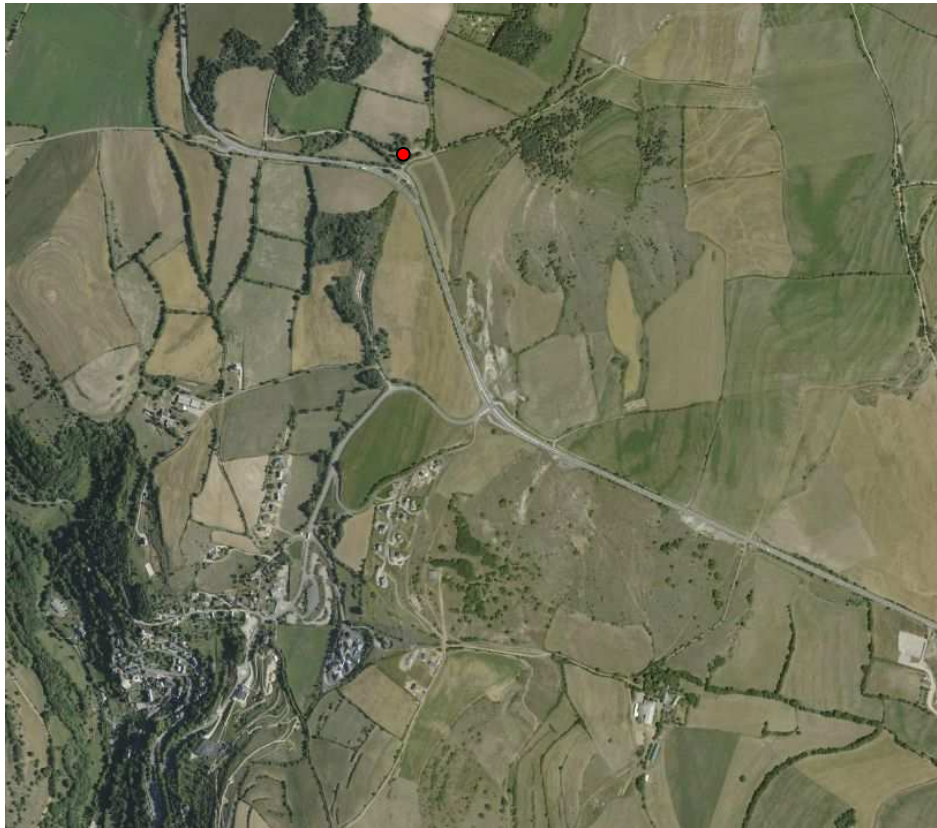


Photo 4 - Aire du Bois du four, injection dans une fosse réalisée avec un tractopelle

2.2. Choix des points de suivis

Au delà des quatre sources visées, à savoir, Bousterjack, Fontliane, Saint Pierre et les Aigues, les sources dont les bassins d'alimentation sont directement mitoyens ou proches ont également fait l'objet d'un suivi. Le tableau ci-dessous dresse le récapitulatif du suivi et les quantités de traceurs injectés.

1^{er} phase

Point d'injection	Source visée	Sources suivies	distance en Km	Mesure Débit	Usage AEP	masse traceur
Couyras	Les Aigues	Les Aigues	1.667	Non	Non	Fluo 2.5 Kg
		Lavoir de Verrières	2.14	Non	Non	
		Moulin de Verrières	2.2	Non	Non	
Tunnel technique	Bousterjack	Les Aigues	3.99	Non	Non	Sulfo B 3 Kg Et Fluo 4Kg
		Lavoir de Verrières	3.64	Non	Non	
		Moulin de Verrières	3.60	Non	Non	
		Bousterjack	3.58	Hauteur	Abandonné	
		Fontliane	3.63	Non	Abandonné	
		Barbade	4.6	Oui	non	

2 ème phase

Point d'injection	Source visée	Sources suivies	distance en Km	Mesure Débit	Usage AEP	masse traceur
Dolmen Glenne	Saint Pierre	Fontaine du Roubé	2.1	Non	Non	Sulfo 800g
		Lavoir St-Léon	2.1	Non	Non	
		Saint-Pierre	0.950	Oui	Oui	
Bois du Four	Saint Pierre	Fontaine du Roubé	1.1	Non	Non	Fluo 1Kg
		Lavoir St-Léon	1.2	Non	Non	
		Saint-Pierre	1.8	Oui	Oui	

Tableau 3 - Récapitulatif du suivi des traçages

En terme de suivi quantitatif, Bousterjack fait l'objet d'un suivi des hauteurs en continu, le ruisseau de Barbade et la source de Saint Pierre font l'objet d'un suivi continu des débits par les services du Parc Naturel Régional des Grands Causses.

2.3. Sélection du traceur et technique d'injection

Dans un souci d'optimisation de la restitution du traceur, le Parc a utilisé les meilleurs traceurs connus actuellement, à savoir, la fluorescéine et la sulforhodamine B. En raison de leurs caractéristiques intrinsèques, il s'agit du couple de colorant le plus performant pour ce genre d'essai réalisé de façon simultanée.

La masse de traceur à injecter est directement calculée en tenant compte du milieu et de la distance entre le point d'injection et le point de restitution présumé.

L'injection est effectuée de manière instantanée dans la mesure du possible (quelques minutes à quelques dizaines de minutes) afin de simuler ainsi une réponse impulsionnelle de type "impulsion de Dirac".

Au préalable, les colorants ont été mélangés dans de l'eau afin d'éviter tout effet de paquet et améliorer la diffusion dans le milieu.

Une mise en eau du système karstique avant injection et après injection (pour pousser le colorant) a été nécessaire. L'intervention d'un camion-citerne a été nécessaire dans certains cas.

3. Injections et suivi de la restitution

3.1. Injections

3.1.1. Couyras

Une première injection était prévue dans le courant du mois de février. Une vague de grand froid a empêché le déroulement normal de l'opération (accès camion cuve à eau impossible, préleveur gelé).

L'injection a eu lieu le 01/03/2012 entre 7h30 et 8h00 TU. Environ 12 m³ d'eau ont été injectés avant le traceur pour remettre en eau le système « traçage ». Après l'injection du traceur, 36 m³ ont été utilisés pour le pousser.

La situation hydrologique de cette période s'apparente à un étiage hivernal, en raison du manque important de précipitation durant l'hiver.



Photo 5 - injection de 2.5kg de fluorescéine dans une fosse

3.1.2. Tunnel Technique de la Gamasse

L'injection a eu lieu le 01/03/2012 à 13 h30. Le bassin de rétention ne possède pas de vanne d'arrêt et n'a donc pas pu être fermé pour récupérer les eaux de ruissellement. De l'eau a donc dû être amenée par camion citerne. 5 m³ ont été injectés avant le traceur, puis 23 m³ pour pousser le colorant.



Photo 6 - injection de 3 kg de sulforhodamine B en sortie du bassin du tunnel technique

Ce traçage a été négatif. Aucune restitution n'a été constatée sur les points de suivis. Bien que l'apport d'eau ait été suffisant pour ce type d'essai, les conditions hydrologiques (basses eaux) et infiltrations diffuses tout le long du ravin en sortie du tunnel n'ont pas été favorables. Il a donc été décidé de le refaire ultérieurement.

Une deuxième injection a été réalisée le 29/05/2013. 4 kg de fluorescéine ont été utilisés pour optimiser les chances de restitution. A masse égale la fluorescéine a un meilleur taux de restitution que la sulforhodamine.

En plus des sources de Bousterjack et Fontliane, un 3ème préleveur a été installé sur le ruisseau de la Barbade, en contrebas de la carrière du Rascalat. Son rôle était de s'assurer qu'il n'y avait pas d'autres arrivées en aval. Ce troisième préleveur a été doublé d'un fluorimètre de terrain pour des mesures en continu.

Ce sont les résultats de ce second essai qui seront analysés par la suite dans le rapport.

3.1.3. Dolmen de la Glenne

L'injection a eu lieu le 07/08/2013 à 7 :39 en présence de M. Caubel du SIVOM. La veille, d'importantes précipitations ont du contribuer à la remise en eau du système. Après injection du colorant, 1,5 m³ d'eau ont été rajoutés pour pousser le traceur dans le milieu.



Photo 7 – injection de 1 kg de Fluorescéine dans la fosse réalisée au tractopelle

3.1.4. Bois du four

L'injection a eu lieu le 07/08/2013 à 8:20 en présence de M. Caubel du SIVOM. La veille, d'importantes précipitations ont du contribuer à la remise en eau du système. Après injection, 2 m³ d'eau ont été rajoutés pour pousser le traceur dans le milieu.



Photo 8 – injection de 0.8 kg de Sulforhodamine B dans une perte

3.2. Suivis

Sur l'ensemble des sources, les suivis ont été effectués à l'aide de préleveurs automatiques. Le protocole de suivi (cf. tableau ci-dessous) a permis un échantillonnage homogène. Le suivi a été effectué sur une période de un à deux mois suivant les sites.

Distance, km	Intervalle récupération préleveur sur 32 jours de suivi						
	<i>passage 1</i>	<i>passage 2</i>	<i>passage 3</i>	<i>passage 4</i>	<i>passage 5</i>	<i>passage 6</i>	<i>passage 7</i>
>1	j 0 mise en place	j 2	j 8	j 14	j 20	j 26	j 32 fin du suivi
1-10	j 0 mise en place	j 4	j 12	j 20	j 28	j 32 fin du suivi	-
<10	j 0 mise en place	j 8	J 16	J 24	J 32 fin du suivi	-	

Tableau 4 : protocole de suivi des points institués

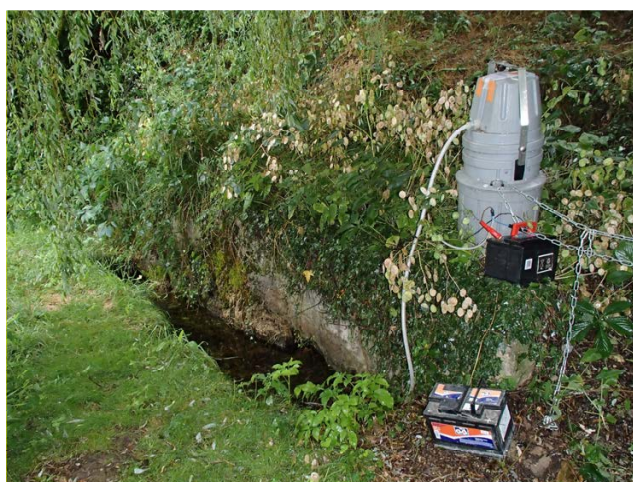


Photo 7 – Exemple de préleveur automatique placé à la fontaine du Roube

Un fluorimètre acquis récemment par le Parc est venu compléter les suivis effectués. Il ne peut pas se substituer aux préleveurs (résolution moindre que des analyses en laboratoire), mais il permet de suivre en temps réel la restitution des traceurs ainsi que la température et la turbidité.

3.3. Analyses

L'analyse des échantillons a été confiée au laboratoire d'hydrogéologie du CETRAHE d'Orléans. La détection de la fluorescéine est réalisée par spectrofluorimétrie. Cette technique permet de détecter des teneurs très basses, jusqu'à $0.002\mu\text{g/L}$ et de corriger les effets d'éventuels bruits de fond parasites.

De plus, la réalisation sur certains échantillons d'un spectre d'émission et d'un spectre d'excitation permet de confirmer sans aucune ambiguïté l'origine de la fluorescence et donc la présence de notre traceur dans l'échantillon.

4. Restitutions et interprétations

4.1. Traçage de Couyras

L'ensemble des résultats des analyses sont disponibles en **Annexe I**

4.1.1. Lavoir de Verrières

Les quelques pics de concentration observés couplés à des réponses positives des spectres d'émission et d'excitation confirment bien la présence de fluorescéine pour quelques échantillons.

Cependant, plusieurs éléments nous permettent de penser qu'il s'agit là d'une pollution des échantillons :

- Les temps de transit sont trop rapides et ne correspondent pas à une réalité physique du milieu ;
- Les concentrations sont très faibles (quelques nano grammes/litre)
- La courbe de restitution ne présente pas une forme structurée.

Une contamination des préleveurs par de la fluorescéine en poudre, très volatile, a dû se produire lors de la préparation du traceur. Il faudra en tenir compte dans les autres interprétations. Le protocole de préparation a été entièrement revu pour éviter ce genre de souci par la suite.

4.1.2. Moulin de Verrières

Comme pour la source du Lavoir, l'absence de structuration dans le signal et les concentrations très faibles semblent indiquer qu'il n'y a pas eu de restitution du traceur sur cette source.

4.1.3. Les Aigues

Une restitution du colorant est confirmée par les analyses du laboratoire. L'enveloppe de la courbe de restitution du traceur est "classique" (cf. figure suivante) avec cependant, une forte diminution des concentrations après le pic et des paliers.

On observe le début de la restitution le 6 mars 2012, soit 5 jours après l'injection. La fin de la restitution n'a pas été mesurée, mais elle s'est produite après le 27 mars 2012, soit plus de 20 jours après le début de la restitution.

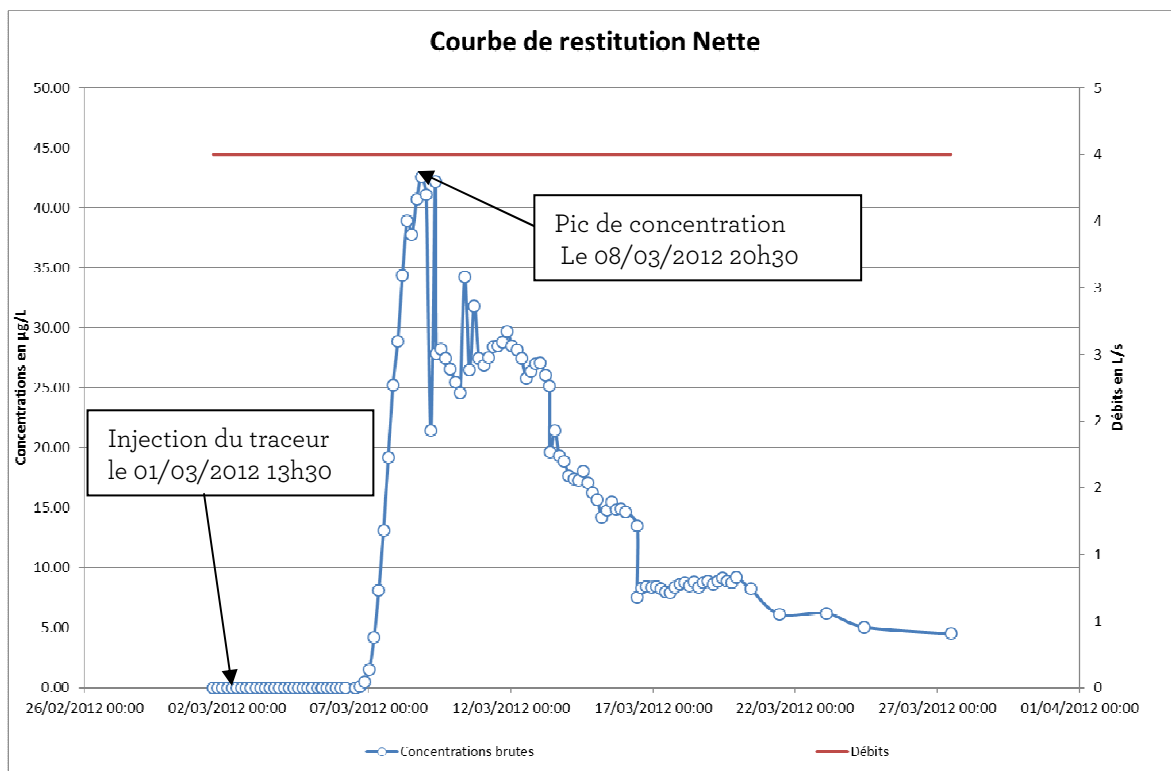


Figure 1 - Courbe de restitution de la sulforhodamine B à la source des Aigues et corrélation avec le débit

La vitesse d'apparition du traceur est de 13.39 m/h et la vitesse moyenne est de 6.45 m/h, ce qui correspond à des circulations assez lentes au sein de l'aquifère.

La Distribution du Temps de Séjour maximal (entendue comme une approche statistique du temps de transfert le plus court qui a le plus de probabilité de se répéter) est de 7.5 jours.

Sur 2.5 kg de traceur injecté, seulement 103 g ont été restitués, ce qui correspond à un taux de restitution de 4.1 %. C'est un taux très faible, mais qui s'explique par plusieurs facteurs : conditions de basses eaux, estimation du débit de la source, absence de mesures pour la fin de la queue de restitution, retard lié à la zone d'infiltration...

La dilution (le rapport entre la concentration du traceur injecté et la concentration restituée) est entièrement conditionnée par les conditions hydrologiques en cours au moment du transfert du traceur, et par conséquent d'un composé polluant. La dilution est plus élevée en hautes eaux qu'en basses eaux en raison des volumes d'eau disponibles dans les zones non saturées et noyées du karst.

La concentration maximale de traceur restituée à la source des Aigues est de 42.6 µg/L.

La dilution minimale calculée (rapport entre la concentration maximale du traceur identifié au captage - 42.6 µg/L - et sa concentration initiale dans les 316 m³ d'eau injectés - 70 mg/L) est arrondie à 1/1643. Une charge polluante injectée au même endroit, dans les mêmes conditions hydrologiques verra sa concentration diminuer d'un facteur 1643.

La dilution unitaire (rapport entre la concentration maximale du traceur mesurée au captage et la masse initiale injectée. L'inverse de sa valeur donne le volume d'eau mis en jeu dans la dilution) calculée est de $1/58\ 685\ 446\ \text{l}^{-1}$. La masse de traceur injectée (2.5 kg) a vraisemblablement été diluée dans un volume de 58 685 446 L d'eau ($58\ 685\ \text{m}^3$) pour expliquer sa concentration en restitution.

Il s'agit toutefois d'un calcul théorique, compte tenu du faible taux de restitution.

4.1.4.Synthèse restitution

Source des Aigues	
-------------------	--

Injection le	01/03/12 08 :00
Lieu d'injection	Couyras
Traceur	Fluorescéine
Restitution	source des Aigues
Distance apparente	1.67 km
Masse injectée en g	2500
Masse restituée en g	103
Taux de restitution	4.13 %

Temps	
Apparition traceur	06/03/12 12 :30
Disparition traceur	-
Temps modal	7.5 jrs
Durée de restitution	-
Temps moyen de séjour	12.4 jrs
D.T.S max	7.5 jrs

Vitesse	
Vitesse d'apparition	13.39 m/h
Vitesse moyenne	6.45m/h
Vitesse modale	9.24 m/h
Vitesse apparente	5.59 m/h

Concentration et dilution	
Concentration maxi	42.6 $\mu\text{g/L}$
Dilution unitaire	$1.7\ 10^{-8}\ \text{L}^{-1}$
Volume de Allen	4409 m^3

4.2. Traçage du tunnel technique de la Gamasse

L'ensemble des résultats des analyses sont disponibles en **Annexe II**

4.2.1. Source de Bousterjack

Les analyses du laboratoire permettent d'affirmer catégoriquement la présence de fluorescéine à la source de Bousterjack, avec un pic de concentration très marqué (cf. graphique joint).

L'allure de la courbe de restitution du traceur est très particulière. On observe un premier échantillon positif, le 31/05/13 00h00, avec une très forte concentration 56 ng/ml, puis l'échantillon suivant une chute brutale de la concentration sous la barre des 1 ng/ml.

On pourrait penser qu'il s'agit d'un artefact ou d'une pollution d'un échantillon, mais le laboratoire est formel sur la valeur et une pollution uniquement sur un échantillon paraît peu probable.

La restitution du colorant s'est peut-être déroulée sur un temps très court. Le pas de temps de l'appareil était réglé à 8h, la plus grosse partie du colorant est peut-être passée dans un intervalle très court de 16h et seul un échantillon intermédiaire a pu être analysé.

La présence du fluorimètre au droit de la station de Barbade permettra de compléter ces informations.

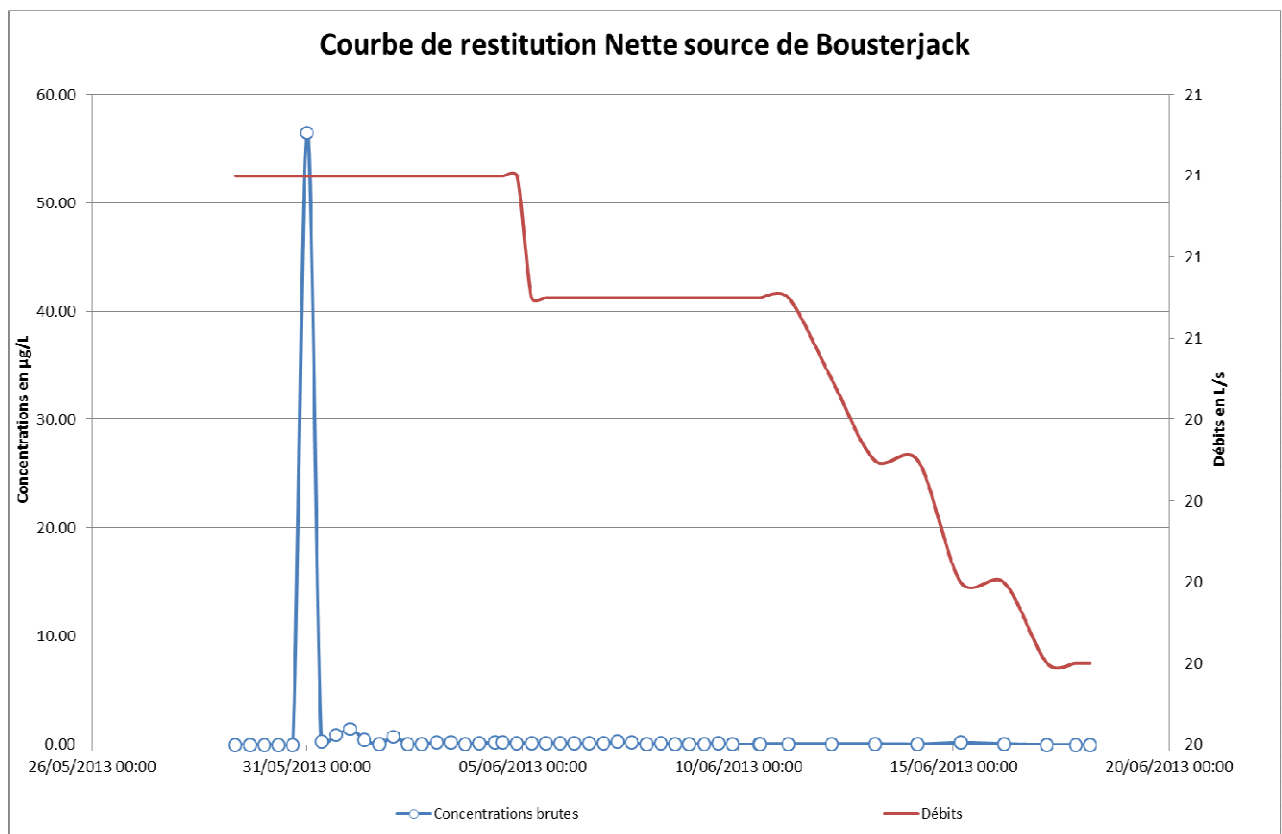


Figure 2 - Courbe de restitution de la fluorescéine à la source des Bousterjack et corrélation avec le débit (en rouge)

La vitesse d'apparition du traceur est de 100 m/h et la vitesse moyenne est de 92.6 m/h, ce qui correspond à des circulations rapides au sein de l'aquifère.

La Distribution du Temps de Séjour maximale (entendue comme une approche statistique du temps de transfert le plus court qui a le plus de probabilité de se répéter) est de 36h.

Sur 4 kg de traceur injecté, seulement 39 g ont été restitués, ce qui correspond à un taux de restitution de 1 %, taux très faible mais qui s'explique par plusieurs facteurs : conditions de basses eaux, estimation du débit de la source, autres sorties pour la restitution du traceur.

La dilution (le rapport entre la concentration du traceur injecté et la concentration restituée) est entièrement conditionnée par les conditions hydrologiques en cours au moment du transfert du traceur, et par conséquent d'un composé polluant. La dilution est plus élevée en hautes eaux qu'en basses eaux en raison des volumes d'eau disponibles dans les zones non saturées et noyées du karst.

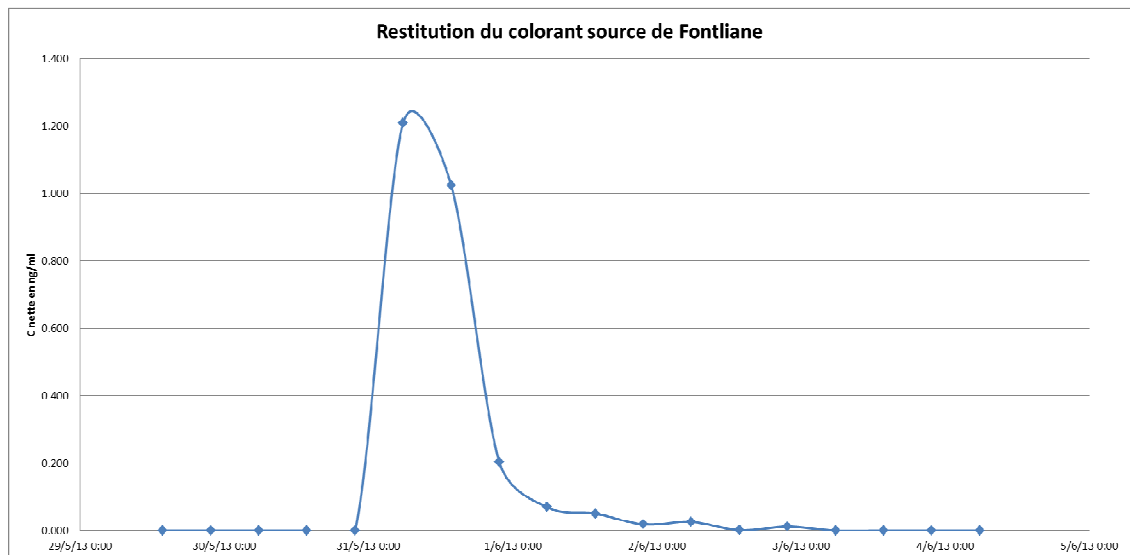
La concentration maximale de traceur restituée à la source de Bousterjack est de 56 µg/L.

La dilution minimale calculée (rapport entre la concentration maximale du traceur identifié au captage (56 µg/L) et sa concentration initiale dans les 20 m³ d'eau injectés (200 µg/L)) est arrondie à 1/3.6. Une charge polluante injectée au même endroit, dans les mêmes conditions hydrologiques verra sa concentration diminuer d'un facteur 3.6. La valeur de dilution minimale est très faible.

La dilution unitaire calculée (rapport entre la concentration maximale du traceur mesurée au captage et la masse initiale injectée. L'inverse de sa valeur donne le volume d'eau mis en jeu dans la dilution) est de 71428571 l⁻¹. La masse de traceur injectée (4 kg) a vraisemblablement été diluée dans un volume de 71 428 m³ d'eau pour expliquer sa concentration en restitution.

4.3. Source de Fontliane

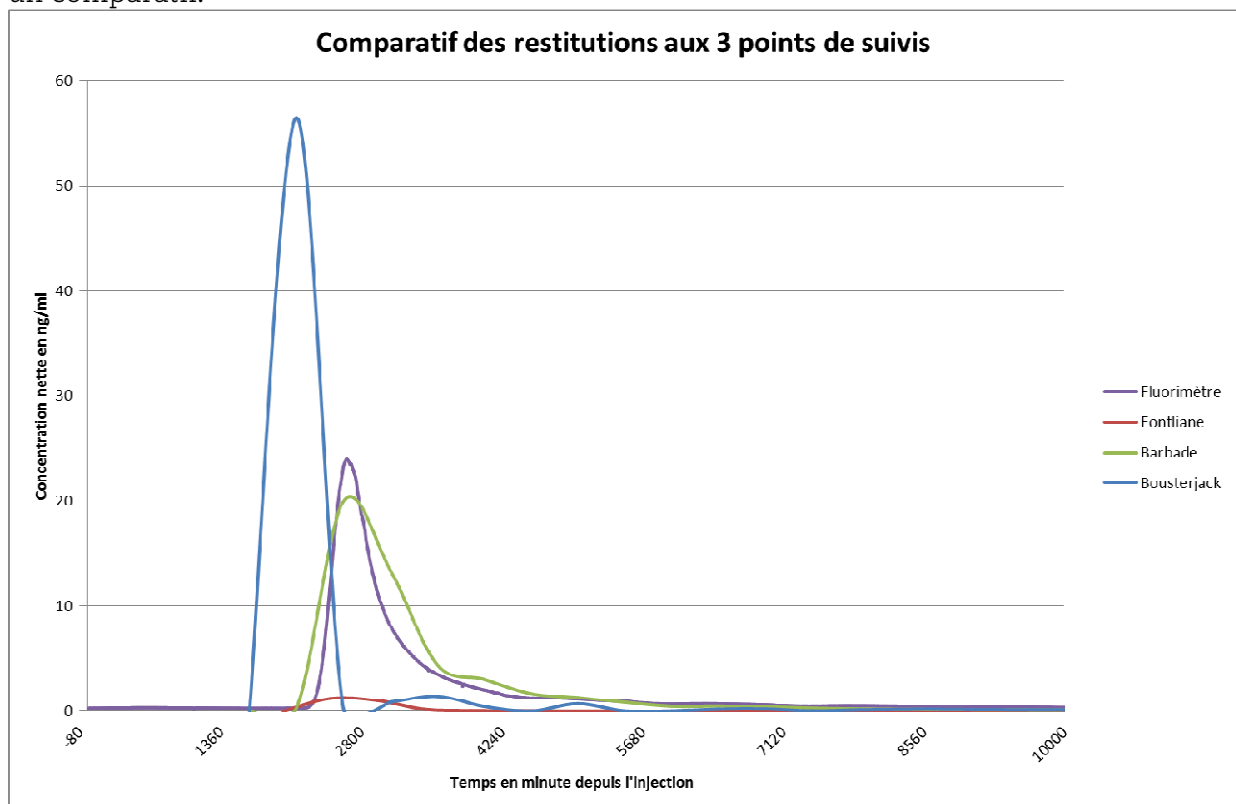
Les analyses en laboratoire indiquent une restitution structurée du colorant (spectre d'émission/excitation positif). Cependant, la restitution est très brève avec des concentrations faibles >1ng/ml.



4.3.1. Barbade

Le ruisseau de la Barbade intègre les sources de Bousterjack et Fontliane ainsi que d'autres arrivées souterraines.

L'ensemble des résultats a été regroupé sur un même graphique afin d'en réaliser un comparatif.



Première constatation : comme on pouvait s'y attendre au vu des précédents résultats, on enregistre bien le passage du colorant au droit de la station de Barbade. Il y a une très bonne corrélation entre la mesure du fluorimètre (courbe violette) et les analyses en

laboratoire (courbe verte). Le fluorimètre a été programmé sur un pas de temps de 10 minutes. Cette meilleure résolution temporelle nous permet d'affiner la forme de la courbe de restitution.

On constate en effet que celle-ci est très resserrée, traduisant un temps de transit court.

Le décalage des pics entre Bousterjack et Barbade correspond au temps de transit dans le ruisseau.

La concentration max de 24 ng/ml enregistrée par le fluorimètre sur la Barbade indique que les concentrations sont légèrement dilués. Ainsi la valeur plafond de 56 ng/ml, sur un seul point, enregistrée à Bousterjack paraît cohérente. Bousterjack est identifiée comme l'exutoire principal. Les résultats sur Fontliane laisse penser à une légère difffluence avec un trajet nettement préférentiel vers Bousterjack.

Si l'on calcule le taux de restitution du colorant à la station de Barbade, celui-ci est de 5%. Soit un taux plus important qu'à la source de Bousterjack. Ce résultat s'explique entièrement par une meilleure connaissance des débit au droit de Barbade. Il faut également prendre en compte que les eaux de la Barbade sont composés des apports de Bousterjack Fontliane et des apports d'autres sources. Si l'on considère à minima une dilution de 50 % des eaux de Bousterkack-Fontlaine, le taux de restitution serait plus proche des 10%.

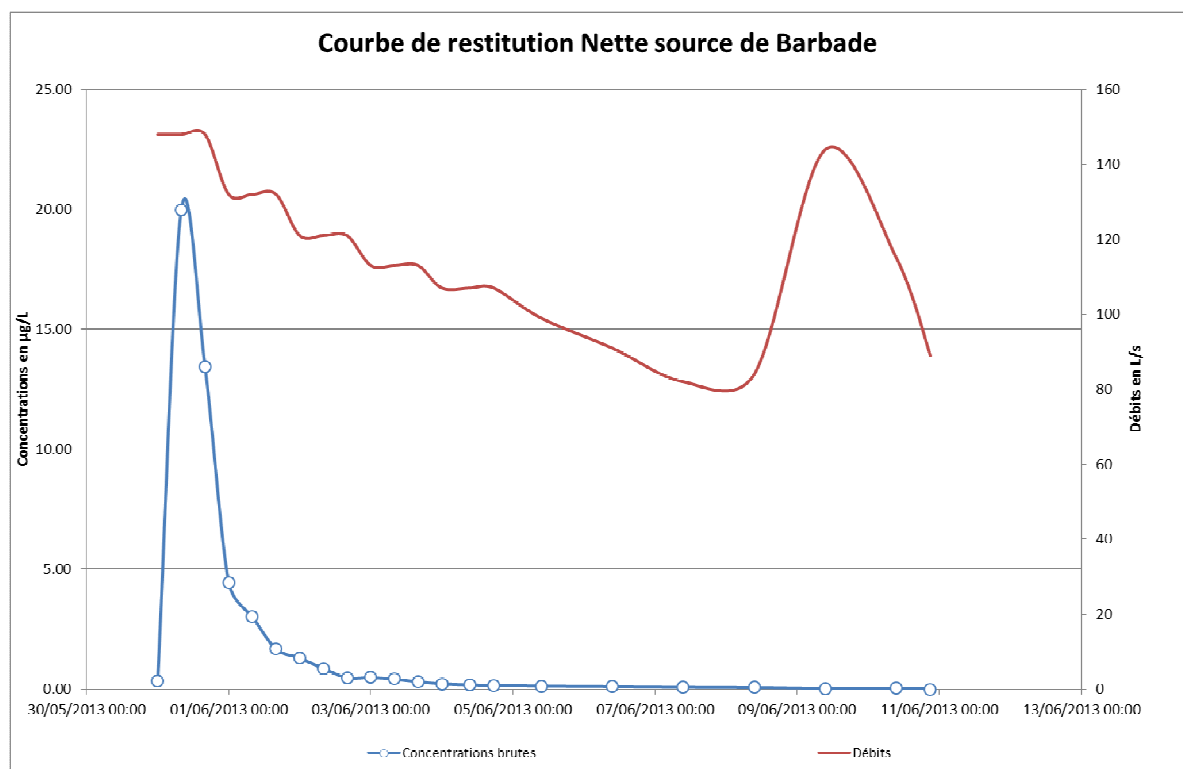


Figure 3 - Courbe de restitution de la fluorescéine à la source des Barbade et corrélation avec le débit

4.3.2. Synthèse restitution

Source de Bousterjack et Fontlliane	
-------------------------------------	--

Injection le	29/05/13 12 :23
Lieu d'injection	Tunnel Gamasse
Traceur	Fluorescéine
Restitution	Bousterjack
Distance apparente	3,58 Km
Masse injectée en g	4000
Masse restituée en g	39
Taux de restitution	1 %

Temps	
Apparition traceur	31/05/13 00 :00
Disparition traceur	17/06/13 04 :00
Temps modal	35.6h
Durée de restitution	17.2jrs
Temps moyen de séjour	2.1 jrs

Vitesse	
Vitesse d'apparition	100 m/h
Vitesse moyenne	92.6 m/h
Vitesse modale	100 m/h
Vitesse apparente	70 m/H

Concentration et dilution	
Concentration maxi	56.5 ng/ml
Dilution unitaire	1/1.4.10 ⁻⁸
Volume de Allen	3865 m ³

4.4. Traçage du Bois du Four et du dolmen de la Glenne

L'ensemble des résultats des analyses sont disponibles en **Annexe III**

Pour ces deux traçages, aucune restitution n'a été observée sur l'ensemble des points de suivis. Les niveaux d'eau très bas dans l'aquifère ont du limiter la diffusion du colorant.

5. Conclusions

La réalisation de deux traçages au niveau de Couyras et du tunnel technique de la Gamasse a permis d'améliorer la connaissance du Causse Rouge. Les traçages du dolmen de la Glenne et du Bois du Four n'ont pas donné de résultats. Il faudrait les refaire dans des conditions hydrologiques plus favorables et en utilisant un camion-citerne.

Sur les 4 traçages, deux ont fait l'objet d'une restitution très claire sur les sources karstiques visées au départ. En effet, le traceur injecté à partir de Couyras est arrivé à la source des Aigues. Le traceur injecté à la sortie du tunnel technique de la Gamasse est ressorti à la source du Bousterjack et très faiblement à Fontliane.

Le traçage de Couyras remet en cause les limites du bassin d'alimentation de Bousterjack-Fontliane défini lors par l'hydrogéologue agréée en mai 2007.

Dans les deux cas les taux de restitution sont assez faibles.

Les traçages effectués à la Glenne et Bois du four n'ont pas donné lieu à une restitution. Ceci est sans doute lié à plusieurs facteurs :

- Le lieu d'injection n'a pas permis d'envoyer suffisamment d'eau dans le système pour pousser le colorant.
- La quantité de traceur était peut-être trop faible (1Kg Fluo et 0.800g de Sulfo) mais il ne fallait colorer la source captée de Saint-Pierre ;
- Les conditions hydrologiques étaient défavorables, nous étions en très basses eaux.

Concernant les risques de pollution au niveau des sources, l'obtention de pollutogrammes spécifiques au point d'injection permet d'appréhender les dépassements possibles des normes de potabilité, la durée de ce dépassement et la concentration liée à ce dépassement.

Exemple de calcul pour le tunnel technique (source captée de Bousterjack et Fontliane) :

Le taux de dilution unitaire de $1/1.4 \cdot 10^8 \text{ l}^{-1}$ permet de calculer la concentration maximale prévisible en cas de pollution par un produit dont les caractéristiques seraient semblables au traceur utilisé. Ainsi pour 1 kg de substance déversée, les teneurs maximales attendues à la source de Bousterjack Fontliane seraient de l'ordre de 14 $\mu\text{g/l}$ pour des conditions hydrologiques identiques.

Pour 1000 kg, les teneurs maximales attendues seraient de l'ordre de 14 mg/l pour des conditions hydrologiques identiques.

Sachant que les normes de potabilité sont de 0.1 $\mu\text{g/l}$ pour les molécules liées aux phytosanitaires, il est important d'éviter le départ de plus de 7 g de produits toxiques depuis le bassin de décantation.

Il est évident que des eaux de ruissellement très turbides qui s'infiltrent sous le tunnel technique vont également perturber durant plusieurs jours les eaux de Bousterjack-Fontliane. Cette zone d'infiltration privilégiée est sans doute la cause des problèmes rencontrés au niveau du captage et qui a obligé le SIVOM du Tarn et Lumansonesque a

abandonné provisoirement cette ressource. D'autres zones privilégiées d'infiltrations peuvent également avoir perturbé la qualité des eaux de Bousterjack-Fontliane mais les perturbations liées à l'infiltration des eaux de ruissellement au niveau du Tunnel technique sont avérées.

Le pollutogramme réalisé permet de définir les seuils de concentration qu'il ne faut pas dépasser afin de ne pas contaminer la ressource en eau captée en aval. Ce pollutogramme a été réalisé en conditions de moyennes eaux. Dans des conditions hydrologiques différentes, le pollutogramme peut évoluer. C'est pourquoi, la gestion du risque passe idéalement par la réalisation d'un traçage en hautes eaux.

ANNEXES I
Analyses Couyras

N° d'éch.	Date	Temps relatif en min	Conc. Brute en ng/mL	C'brute corrigée en ng/mL	Spectre émission	Spectre excitation	C° nette en ng/mL
E2_6	6/3/12 4:30	6980	0.158			négatif	0.000
E2_7	6/3/12 8:30	7220					
E2_8	6/3/12 12:30	7460	0.169		positif faible	positif faible	0.005
E2_9	6/3/12 16:30	7700	0.297				0.133
E2_10	6/3/12 20:30	7940	0.628				0.464
E2_11	7/3/12 0:30	8180	1.654				1.490
E2_12	7/3/12 4:30	8420	4.348				4.184
E2_13	7/3/12 8:30	8660	8.292				8.128
E2_14	7/3/12 12:30	8900	13.276				13.112
E2_15	7/3/12 16:30	9140	19.363				19.199
E2_16	7/3/12 20:30	9380	25.385				25.221
E2_17	8/3/12 0:30	9620	29.012				28.848
E2_18	8/3/12 4:30	9860	34.567				34.403
E2_19	8/3/12 8:30	10100	39.101				38.937
E2_20	8/3/12 12:30	10340	37.960				37.796
E2_21	8/3/12 16:30	10580	40.863				40.699
E2_22	8/3/12 20:30	10820	42.755				42.591
E2_23	9/3/12 0:30	11060	41.287				41.123
E2_24	9/3/12 4:30	11300	21.594				21.430
E2_M	9/3/12 8:15	11525	42.331				42.167
E3_1	9/3/12 9:00	11570	28.033				27.869
E3_2	9/3/12 13:00	11810	28.373				28.209
E3_3	9/3/12 17:00	12050	27.587				27.423
E3_4	9/3/12 21:00	12290	26.751				26.587
E3_5	10/3/12 1:00	12530	25.616				25.452
E3_6	10/3/12 5:00	12770	24.726				24.562
E3_7	10/3/12 9:00	13010	34.404				34.240
E3_8	10/3/12 13:00	13250	26.676				26.512
E3_9	10/3/12 17:00	13490	31.980				31.816
E3_10	10/3/12 21:00	13730	27.587				27.423
E3_11	11/3/12 1:00	13970	27.052				26.888
E3_12	11/3/12 5:00	14210	27.668				27.504
E3_13	11/3/12 9:00	14450	28.608				28.444
E3_14	11/3/12 13:00	14690	28.666				28.502
E3_15	11/3/12 17:00	14930	28.973				28.809
E3_16	11/3/12 21:00	15170	29.867				29.703
E3_17	12/3/12 1:00	15410	28.634				28.470
E3_18	12/3/12 5:00	15650	28.327				28.163
E3_19	12/3/12 9:00	15890	27.639				27.475
E3_20	12/3/12 13:00	16130	25.923				25.759
E3_21	12/3/12 17:00	16370	26.549				26.385
E3_22	12/3/12 21:00	16610	27.172				27.008
E3_23	13/3/12 1:00	16850	27.241				27.077
E3_24	13/3/12 5:00	17090	26.236				26.072
E3_M	13/3/12 8:36	17306	25.300				25.136
E4_1	13/3/12 9:00	17330	19.813				19.649
E4_2	13/3/12 13:00	17570	21.588				21.424
E4_3	13/3/12 17:00	17810	19.454				19.290
E4_4	13/3/12 21:00	18050	19.024				18.860
E4_5	14/3/12 1:00	18290	17.827				17.663
E4_6	14/3/12 5:00	18530	17.579				17.415
E4_7	14/3/12 9:00	18770	17.445				17.281
E4_8	14/3/12 13:00	19010	18.195				18.031
E4_9	14/3/12 17:00	19250	17.210				17.046
E4_10	14/3/12 21:00	19490	16.434				16.270
E4_11	15/3/12 1:00	19730	15.811				15.647
E4_12	15/3/12 5:00	19970	14.388				14.224
E4_13	15/3/12 9:00	20210	14.943				14.779
E4_14	15/3/12 13:00	20450	15.664				15.500
E4_15	15/3/12 17:00	20690	14.972				14.808
E4_16	15/3/12 21:00	20930	15.080				14.916
E4_17	16/3/12 1:00	21170	14.786				14.622
E4_18	16/3/12 5:00	21410					
E4_M	16/3/12 10:40	21750	13.677				13.513
E5_1	16/3/12 10:41	21751	7.727				7.563
E5_2	16/3/12 14:41	21991	8.484				8.320
E5_3	16/3/12 18:41	22231	8.608				8.444
E5_4	16/3/12 22:41	22471	8.523				8.359
E5_5	17/3/12 2:41	22711	8.602				8.438
E5_6	17/3/12 6:41	22951	8.422				8.258
E5_7	17/3/12 10:41	23191	8.155				7.991
E5_8	17/3/12 14:41	23431	8.090				7.926
E5_9	17/3/12 18:41	23671	8.504				8.340
E5_10	17/3/12 22:41	23911	8.807				8.643
E5_11	18/3/12 2:41	24151	8.908				8.744
E5_12	18/3/12 6:41	24391	8.664				8.500
E5_13	18/3/12 10:41	24631	9.009				8.845
E5_14	18/3/12 14:41	24871	8.514				8.350
E5_15	18/3/12 18:41	25111	8.925				8.761
E5_16	18/3/12 22:41	25351	9.058				8.894
E5_17	19/3/12 2:41	25591	8.765				8.601
E5_18	19/3/12 6:41	25831	9.049				8.885
E5_19	19/3/12 10:41	26071	9.306				9.142
E5_20	19/3/12 14:41	26311	9.013				8.849
E5_21	19/3/12 18:41	26551	8.944				8.780
E5_22	19/3/12 22:41	26791	9.342				9.178
E5_M	20/3/12 10:32	27502	8.377				8.213
E6_4	21/3/12 10:37	28947	6.299				6.135
E6_9	23/3/12 2:37	31347	6.370				6.206
E6_13	24/3/12 10:37	33267	5.219				5.055
E6_M	27/3/12 11:30	53240	4.668				4.504

ANNEXES II
Analyses Tunnel Technique Gamasse

Date	Temps relatif en min		Conc. Brute en ng/mL	C'brute corrigée en ng/mL	Spectre émission	Spectre excitation	C° nette en ng/mL
30/5/13 16:00	1657	1657				négatif	0.000
31/5/13 0:00	2137	2137	56.538				56.503
31/5/13 8:00	2617	2617		0.345			0.310
31/5/13 16:00	3097	3097		0.899			0.864
1/6/13 0:00	3577	3577	1.452				1.417
1/6/13 8:00	4057	4057		0.501			0.466
1/6/13 16:00	4537	4537		0.062			0.027
2/6/13 0:00	5017	5017	0.753				0.718
2/6/13 8:00	5497	5497		0.078			0.043
2/6/13 16:00	5977	5977		0.075			0.040
3/6/13 0:00	6457	6457	0.236				0.201
3/6/13 8:00	6937	6937		0.260			0.225
3/6/13 16:00	7417	7417		0.079			0.044
4/6/13 0:00	7897	7897	0.176				0.141
4/6/13 8:30	8407	8406	0.222				0.187
4/6/13 12:58	8675	8674	0.231				0.196
4/6/13 20:58	9155	9155	0.192				0.157
5/6/13 4:58	9635	9634	0.184				0.149
5/6/13 12:58	10115	10114	0.165				0.130
5/6/13 20:58	10595	10594	0.175				0.140
6/6/13 4:58	11075	11074	0.155				0.120
6/6/13 12:58	11555	11554	0.160				0.125
6/6/13 20:58	12035	12034	0.145				0.110
7/6/13 4:58	12515	12514	0.286				0.251
7/6/13 12:58	12995	12994	0.201				0.166
7/6/13 20:58	13475	13474	0.070				0.035
8/6/13 4:58	13955	13954	0.125				0.090
8/6/13 12:58	14435	14434	0.112				0.077
8/6/13 20:58	14915	14914	0.078				0.043
9/6/13 4:58	15395	15394	0.093				0.058
9/6/13 12:58	15875	15874	0.140				0.105
9/6/13 20:58	16355	16354	0.052				0.017
10/6/13 11:46	17243	17242	0.055		positif	positif	0.020
10/6/13 12:08	17265	17265	0.104				0.069
11/6/13 4:08	18225	18225	0.106				0.071
12/6/13 4:08	19665	19665	0.117				0.082
13/6/13 4:08	21105	21105	0.110				0.075
14/6/13 4:08	22545	22545	0.080				0.045
15/6/13 4:08	23985	23985	0.218				0.183
16/6/13 4:08	25425	25425	0.107		positif	positif	0.072
17/6/13 4:08	26865	26865	0.066		négatif	négatif	0.000
17/6/13 12:08	27345	27345					0.000
17/6/13 20:08	27825	27825	0.042				0.000
18/6/13 4:08	28305	28305	0.077		négatif	négatif	0.000
19/6/13 8:22	29999						

Bousterjack

Date	Temps relatif en min		Conc. Brute en ng/mL	C'brute corrigée en ng/mL	Spectre émission	Spectre excitation	C°nette en ng/mL
29/5/13 13:45	82	81	0.006				0.000
29/5/13 21:45	562	561					0.000
30/5/13 5:45	1042	1042	0.002				0.000
30/5/13 13:45	1522	1521			négatif	négatif	0.000
30/5/13 21:45	2002	2001			négatif	négatif	0.000
31/5/13 5:45	2482	2482	1.211		positif	positif	1.209
31/5/13 13:45	2962	2961	1.026				1.024
31/5/13 21:45	3442	3441	0.205				0.203
1/6/13 5:45	3922	3922	0.071				0.069
1/6/13 13:45	4402	4401	0.052				0.050
1/6/13 21:45	4882	4881	0.020				0.018
2/6/13 5:45	5362	5362	0.027				0.025
2/6/13 13:45	5842	5841	0.003		positif faible	positif faible	0.001
2/6/13 21:45	6322	6321	0.013				0.011
3/6/13 5:45	6802	6802	0.024		négatif	négatif	0.000
3/6/13 13:45	7282	7281					0.000
3/6/13 21:45	7762	7761					0.000
4/6/13 5:45	8242	8242	0.024		négatif	négatif	0.000

Fontliane

Date	Temps relatif en min		Conc. Brute en ng/mL	C'brute corrigée en ng/mL	Spectre émission	Spectre excitation	C°nette en ng/mL
28/5/13 8:00	-1703	-1703	0.012				0.000
28/5/13 16:00	-1223	-1224					0.000
29/5/13 0:00	-743	-744	0.002				0.000
29/5/13 8:00	-263	-263					0.000
29/5/13 16:00	217	217					0.000
30/5/13 0:00	697	697	0.000				0.000
30/5/13 8:00	1177	1177					0.000
30/5/13 16:00	1657	1657			négatif	négatif	0.000
31/5/13 0:00	2137	2137	0.371				0.328
31/5/13 8:00	2617	2617	20.030				19.987
31/5/13 16:00	3097	3097	13.494				13.451
1/6/13 0:00	3577	3577	4.496				4.453
1/6/13 8:00	4057	4057	3.068				3.025
1/6/13 16:00	4537	4537	1.722				1.679
2/6/13 0:00	5017	5017	1.340				1.297
2/6/13 8:00	5497	5497	0.905				0.862
2/6/13 16:00	5977	5977	0.520				0.477
3/6/13 0:00	6457	6457	0.532				0.489
3/6/13 8:00	6937	6937	0.464				0.421
3/6/13 16:00	7417	7417	0.343				0.300
4/6/13 0:00	7897	7897	0.267				0.224
		0					
4/6/13 9:25	8462	8461	0.223		positif	positif	0.180
4/6/13 17:32	8949	8949	0.203				0.160
5/6/13 9:32	9909	9908	0.167				0.124
6/6/13 9:32	11349	11348	0.149				0.106
7/6/13 9:32	12789	12788	0.128				0.085
8/6/13 9:32	14229	14228	0.115				0.072
9/6/13 9:32	15669	15668	0.074		positif	positif	0.031
10/6/13 9:32	17109	17108	0.083		positif très faible	positif très faible	0.040
10/6/13 21:00	17797	17796	0.043		négatif	négatif	0.000
12/6/13 13:00	20197	20196	0.039		négatif	négatif	0.000

Barbade

ANNEXES III
Analyses Dolmen de la Glenne et Bois
du Four

Date	Temps relatif en min	Conc. Brute en ng/mL	C'brute corrigée en ng/mL	Spectre émission	Spectre excitation	C° nette en ng/mL
7/8/13 8:00	-20	1.153				0.000
7/8/13 11:00	160					0.000
7/8/13 14:00	340	1.155				0.000
7/8/13 17:00	520					0.000
7/8/13 20:00	700					0.000
7/8/13 23:00	880	1.126				0.000
8/8/13 2:00	1060					0.000
8/8/13 5:00	1240					0.000
8/8/13 8:00	1420	1.263				0.000
8/8/13 11:00	1600					0.000
8/8/13 14:00	1780					0.000
8/8/13 17:00	1960	1.224				0.000
8/8/13 20:00	2140					0.000
8/8/13 23:00	2320					0.000
9/8/13 2:00	2500	1.071				0.000
9/8/13 5:00	2680					0.000
9/8/13 8:00	2860					0.000
9/8/13 11:00	3040	1.216				0.000
9/8/13 12:54	3154	1.052				0.000
9/8/13 19:30	3550	1.181				0.000
10/8/13 1:30	3910					0.000
10/8/13 7:30	4270	1.064				0.000
10/8/13 13:30	4630					0.000
10/8/13 19:30	4990					0.000
11/8/13 1:30	5350	1.062				0.000
11/8/13 7:30	5710					0.000
11/8/13 13:30	6070					0.000
11/8/13 19:30	6430	1.039				0.000
12/8/13 1:30	6790					0.000
12/8/13 7:30	7150					0.000
12/8/13 13:30	7510	1.187				0.000
12/8/13 19:30	7870					0.000
13/8/13 1:30	8230					0.000
13/8/13 7:30	8590	1.132				0.000
13/8/13 13:30	8950					0.000
13/8/13 19:30	9310					0.000
14/8/13 1:30	9670	1.131				0.000
14/8/13 7:30	10030					0.000
14/8/13 12:18	10318	1.127				0.000
14/8/13 18:32	10692	1.078				0.000
15/8/13 0:32	11052					0.000
15/8/13 6:32	11412	1.092				0.000
15/8/13 12:32	11772					0.000
15/8/13 18:32	12132					0.000
16/8/13 0:32	12492	1.343		négatif	négatif	0.000
16/8/13 6:32	12852					0.000
16/8/13 12:32	13212					0.000
16/8/13 18:32	13572	1.112				0.000
17/8/13 0:32	13932					0.000
17/8/13 6:32	14292					0.000
17/8/13 12:32	14652	1.214				0.000
17/8/13 18:32	15012					0.000
18/8/13 0:32	15372					0.000
18/8/13 6:32	15732	1.172				0.000
18/8/13 12:32	16092					0.000
18/8/13 18:32	16452					0.000
19/8/13 0:32	16812	1.137				0.000
19/8/13 6:32	17172					0.000
19/8/13 12:32	17532					0.000
19/8/13 18:32	17892	1.105				0.000
20/8/13 0:32	18252					0.000
20/8/13 6:32	18612					0.000
20/8/13 7:55	18695	1.152				0.000

Saint Pierre

