

## 4.3 – DETERMINATION DE L'AIRE D'ALIMENTATION DU CAPTAGE DE GAUTY

### 4.3.1 – Généralités

L'opération de traçage en milieu karstique est facile à mettre en œuvre mais nécessite cependant de respecter certaines conditions, notamment :

- la masse de traceur injectée doit être suffisante pour que sa présence puisse être détectée à l'exutoire. Les limites de détection des laboratoires actuels sont cependant très faibles (de 0,1 à 0,2 µg/l),
- l'injection de colorant en milieu karstique doit être instantanée (impulsion ou signal de Dirac) de manière à obtenir une réponse du système facilement interprétable,
- l'échantillonnage à la sortie du système (source) doit être réalisé avec un pas de temps adapté pour établir les variations de concentration du traceur restitué en fonction du temps.

Les mesures de débits doivent être réalisées afin de calculer notamment le pourcentage de traceur restitué à chaque exutoire et à établir les courbes de DTS au sein du massif karstique.

L'interprétation des traçages permet alors d'obtenir des informations très intéressantes :

- sur la **structure** d'un système karstique si on s'intéresse au flux de traceur ayant transité par ce système (DTS),
- sur le **transit** de l'eau si on s'intéresse aux vitesses et aux temps de circulation de l'eau,
- sur la **capacité de dilution** du système.

Le traceur injecté ne va parcourir qu'une partie seulement du système karstique (appelé **système-traçage**). Les résultats que l'on obtiendra nous donneront donc des informations sur les modalités de transit de l'eau marquée et par conséquent sur la structure de la partie du système concerné par ce transit.

Les bases théoriques de l'interprétation des traçages sont données en **annexe 7**.

### 4.3.2 – Choix des points d'injection

Une étude géomorphologique de terrain a permis de sélectionner les points suivants :

- une doline au lieu-dit « Balaurio »,
- le bourg de St-Jean-d'Alcas.

L'injection dans le secteur de Balaurio permet de préciser la limite Est du bassin d'alimentation. L'injection dans le bourg de St-Jean permet de confirmer ou non la présence du bourg dans le bassin d'alimentation et de quantifier la vulnérabilité du captage par rapport au secteur le plus polluant.

Des fosses au tractopelle ont été réalisées dans les secteurs suivant afin de tester la capacité d'infiltration des terrains :

1. une fosse dans le bourg de St Jean d'Alcas, sur le terrain de Mme le Maire,
2. une fosse en tête de vallée sèche de Mourade, au pied des fortifications, dans le bourg de St Jean d'Alcas,
3. une fosse dans une doline dans le secteur situé entre les lieux dits « Balaurio » et « les Agastous ».

Les tests d'infiltration ont amenés aux conclusions suivantes :

1. Dans le bourg, chez Mme le Maire :

La fosse réalisée chez Mme le Maire montre que les calcaires quasi affleurants sont colmatés par les argiles. L'infiltration des eaux est lente (1,2 m<sup>3</sup>/h).

2. Dans le bourg au pied du fort :

Une seule fosse a été réalisée au milieu du pré en tête de la vallée sèche. Les terrains y sont constitués de limons à blocs calcaires. Ceux-ci affleurent en fond de fosse, à 4,5 m de profondeur. L'injection d'eau a permis de montrer une bonne capacité d'infiltration notamment par une petite fracture ouverte (infiltration d'environ 2,5 m<sup>3</sup>/h).

3. Dans le secteur de Balaurio – les Agastous :

Une fosse a été réalisée dans une des dolines du secteur. La fosse a été réalisée dans une fracture ouverte dans les calcaires d'une largeur de 2 m. La profondeur atteinte était d'environ 4 m. Cette fracture était remplie de sables beiges à éléments calcaires. L'infiltration était assez bonne (environ 2 m<sup>3</sup>/h).

#### 4.3.3 – Points d'injection retenus

Les points d'injection ont été les suivants (**cartes 2 et 3**) :

1. la tête de vallée sèche au pied du fort de St Jean d'Alcas,
2. la doline dans le secteur située entre les lieux dits « Balaurio » et « les Agastous ».

**Tableau 9 : Points d'injection de traceurs**

Point d'injection	Point de suivi	Distance
Bourg de St Jean d'Alcas	Source de Gauty	1 200 m
	Source de la Grotte	885 m
	Vallée de l'Annou	3 500 m
Doline de Balaurio	Source de Gauty	2 450 m
	Source de la Grotte	2 150 m
	Vallée de l'Annou	2 250 m

#### 4.3.4 – Choix des traceurs et quantités injectées

Les traceurs utilisés étaient des traceurs fluorescents faciles à mettre en œuvre et à analyser par les laboratoires spécialisés.

Les traceurs et quantités utilisés étaient les suivants :

**Tableau 10 : Traceurs et quantités injectées**

Point d'injection	Traceur	Quantité	Dilution initiale
Bourg de St Jean	Sulforhodamine G	3 kg	75 g/l
Doline de Balaurio	Fluorescéine	3,8 kg	95 g/l

#### 4.3.5 – Conditions d'injection

##### 4.3.5.1 - Protocole

Les méthodologies d'injection sont décrites dans les tableaux suivants :

**Tableau 11 : Traçage à la Fluorescéine dans la Doline de Balaurio**

Date	Heure	Tache	Détail
12/04/2007	10 h 45	Injection de 6 m <sup>3</sup> d'eau claire	24 m <sup>3</sup> d'eau injectés Infiltration de l'ordre de 0,5 l/s
	11 h 25	<b>Injection de 3.8 kg de Fluorescéine</b>	
	11 h 30	Injection de 6 m <sup>3</sup> d'eau claire	
	13 h 00	Injection de 6 m <sup>3</sup> d'eau claire	
	18 h 00	Injection de 6 m <sup>3</sup> d'eau claire	

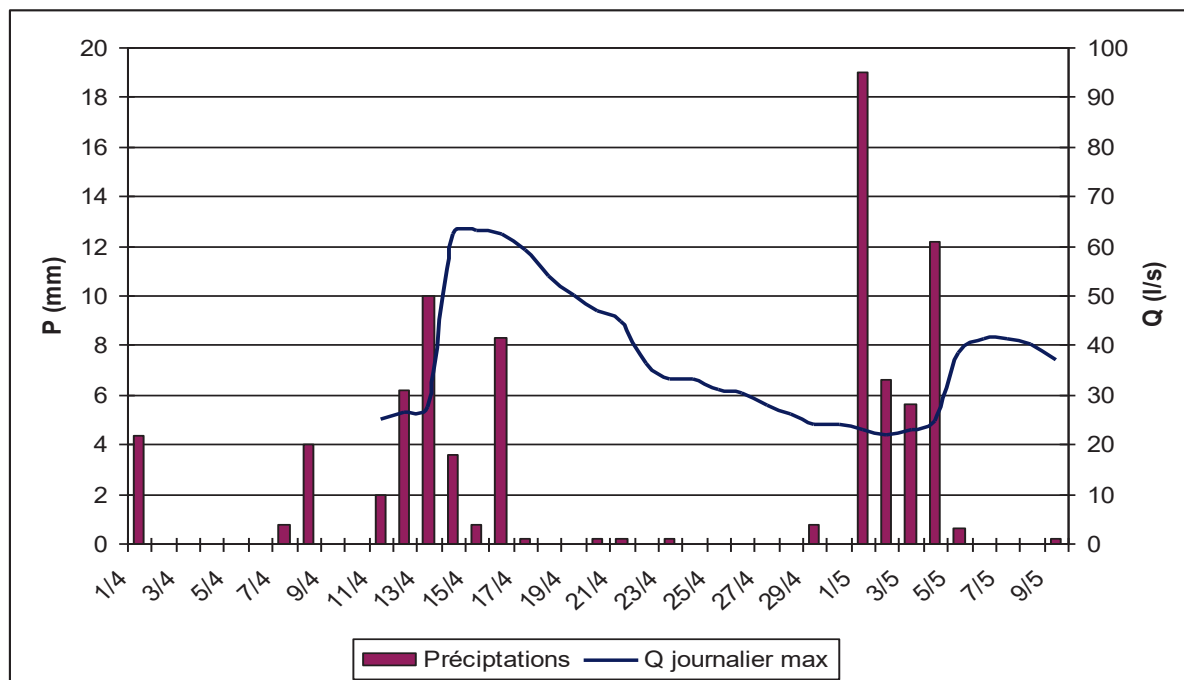
**Tableau 12 : Traçage à la Sulforhodamine G dans le Bourg de St Jean d'Alcas**

Date	Heure	Tache	Détail
12/04/2007	10 h 10	Injection de 6 m <sup>3</sup> d'eau claire	24 m <sup>3</sup> d'eau injectés Infiltration de l'ordre de 0,7 l/s
	12 h 35	<b>Injection de 3 kg de Sulforhodamine</b>	
	12 h 40	Injection de 6 m <sup>3</sup> d'eau claire	
	14 h 00	Injection de 6 m <sup>3</sup> d'eau claire	
	17 h 00	Injection de 6 m <sup>3</sup> d'eau claire	

#### 4.3.5.2 – Conditions météorologiques

L'opération de traçage s'est déroulée le 12 avril 2007, juste avant une période de forte pluie favorable aux traçages. Les conditions pluvieuses augmentent les chances d'atteinte de la zone noyée et de l'exutoire.

**Figure 16 : Conditions météorologiques (données Météo France, station de Millau) et débits calculés à la source de Gauty**



#### 4.3.6 – Suivi de la restitution

Le suivi de la restitution du traceur est réalisé aux points suivants :

- la **source de Gauty** grâce à un préleveur automatique : départ de l'échantillonnage le 11/04/2007 12h00 avec un pas de temps de 1 h, puis le 12/04/2007 17h00 avec un pas de temps de 4 h.
- la **source de la Grotte** grâce à un préleveur automatique : départ de l'échantillonnage le 12/04/2007 8h00 avec un pas de temps de 4 h.
- la **rivière le Verzolet** à la station de pompage d'Hermelix grâce à un fluorimètre : départ de mesure le 12/04/07 19h00 avec un pas de temps de 5 min.
- la **rivière l'Annou** à la Chartreuse de Nonenque grâce à un préleveur automatique : départ de l'échantillonnage le 12/04/2007 10h00 avec un pas de temps de 4 h.

Le suivi de la restitution a été réalisé sur 1 mois.

#### 4.3.7 – Acquisition des débits

Seul le puits de Gauty a été équipé d'une sonde de niveau et d'une centrale d'acquisition qui permettent un enregistrement de la hauteur d'eau en continu (**photo**).

Des jaugeages au micromoulinet ont été réalisés sur le ruisseau de Massergues en amont et en aval du puits de Gauty, sur la rivière de l'Annou à Nonenque et sur le ruisseau le Verzolet au niveau de la station de pompage d'Hermelix.

#### 4.3.8 – Analyse des échantillons – Spectrofluorimétrie

Voir **paragraphe 4.2.5**.

#### 4.3.9 – Résultats

##### 4.3.9.1 – Résultats des débits

Les données de débits et les courbes de tarage sont rassemblées en **annexe 4**.

Les débits de Gauty ont pu être calculés grâce au suivi du niveau d'eau en continu couplé aux différents jaugeages réalisés sur le ruisseau de Massergues en amont et en aval du captage. Il a été supposé que la différence entre ces débits correspondait à l'apport de la source de Gauty.

Les débits aux autres points de suivi (source de la Grotte, l'Annou à Nonenque, le Verzolet à Hermelix) ont été calculés également en fonction des variations du niveau d'eau à Gauty et des jaugeages réalisés au droit des points de suivi (nous avons estimé que les variations étaient proportionnelles à Gauty et aux autres points de suivi). Pour la source de la Grotte, nous avons estimé un débit de la source équivalent au débit mesuré en amont du puits de Gauty. Les courbes sont présentées **figures 17 à 20**.

Deux pics de crue ont été enregistrés sur la période de suivi :

- une aux alentours du 15/04/07. Le débit atteint était de 62 l/s à Gauty.
- une moins brutale observée vers le 7/05/07/ Le débit atteint était de 40 l/s à Gauty.

Le tableau suivant résume les valeurs minimales, maximales et moyennes calculées aux points de suivi.

**Tableau 13 : Résultats des mesures de débits enregistrés**

Débit (l/s)	minimum	maximum	moyenne
Gauty	9	63	35
Grotte	13	39	23
Verzolet	87	233	150
Annou	210	590	380

Figure 17 : Débits calculés de la source de Gauty

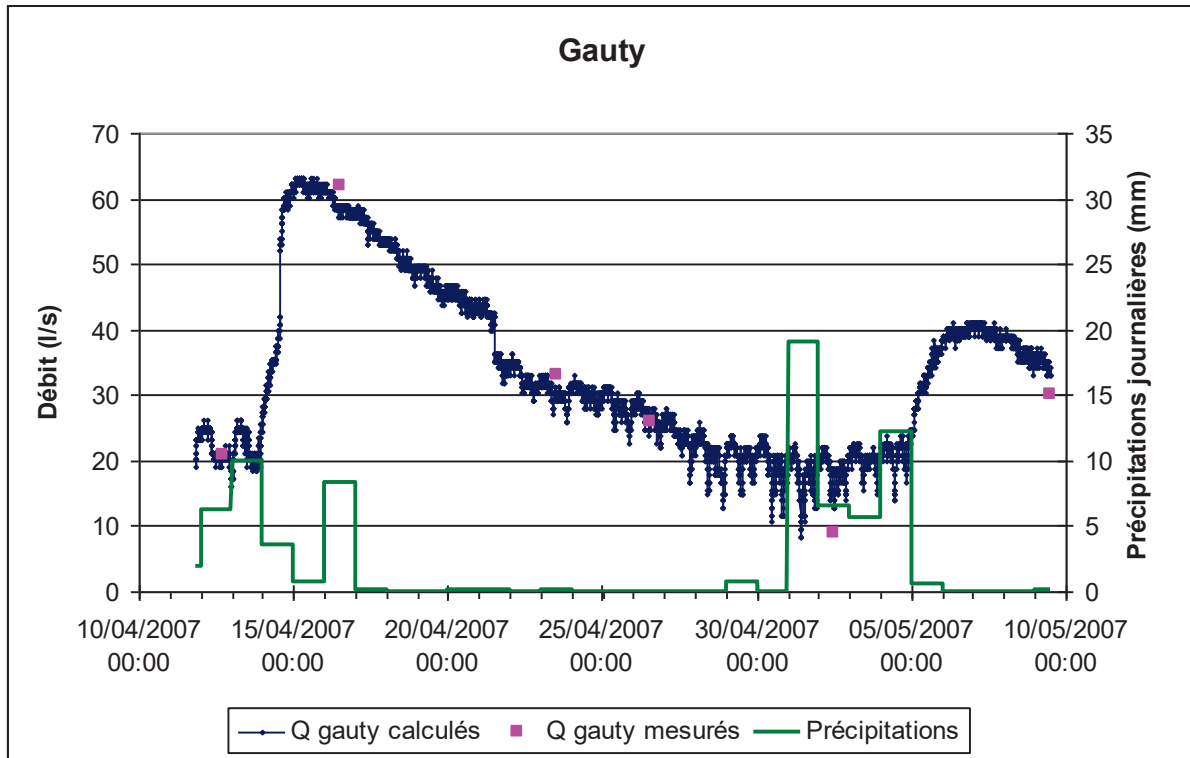


Figure 18 : Débits calculés de la source de la Grotte

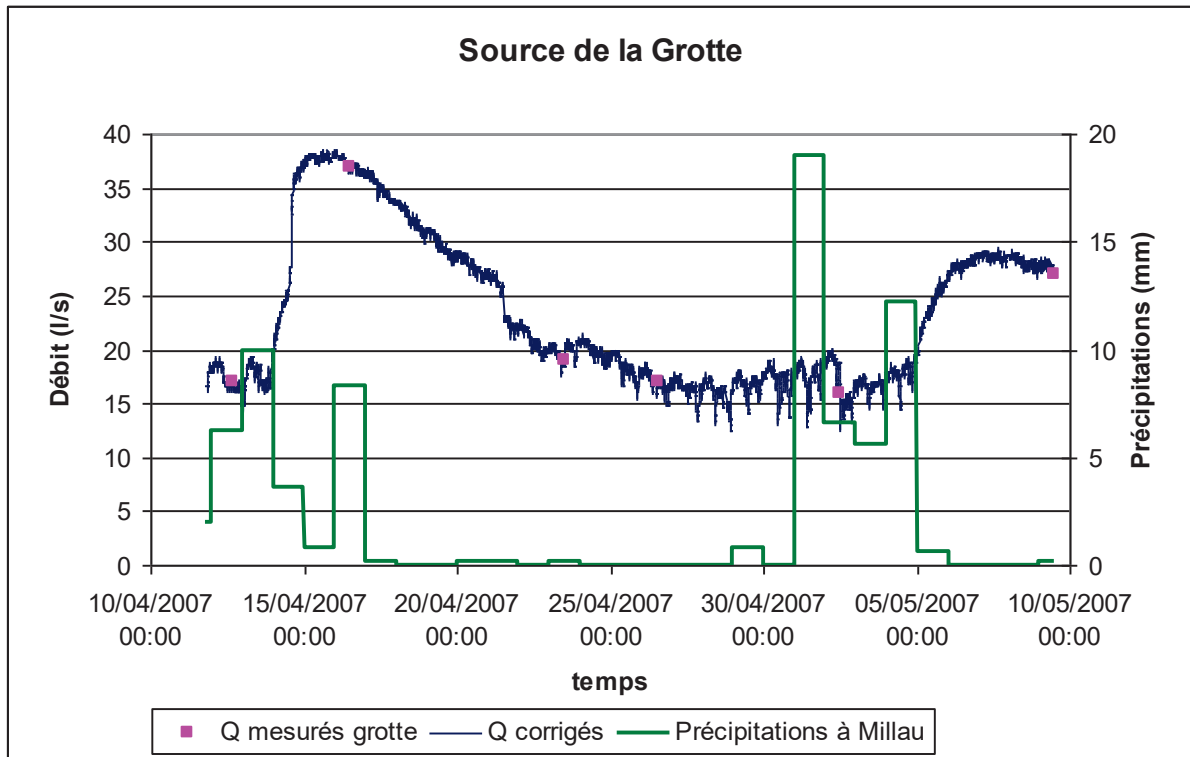


Figure 19 : Débits calculés du Verzolet à Hermelix

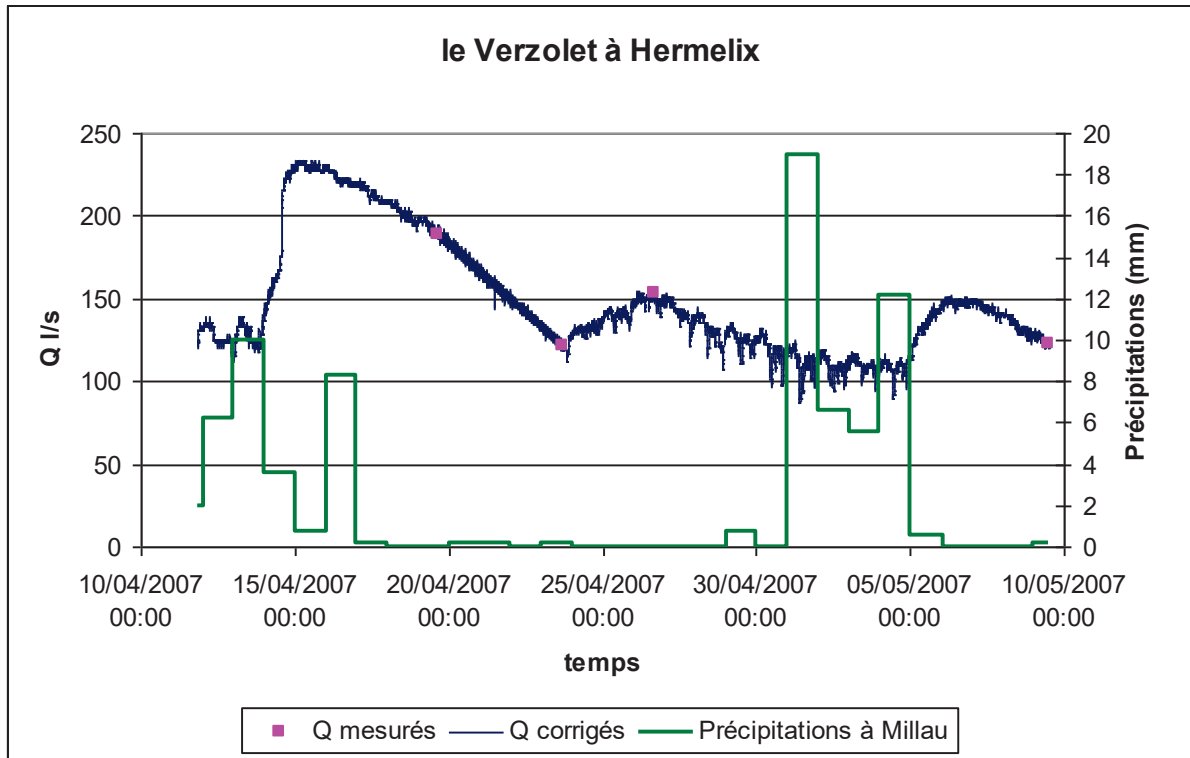
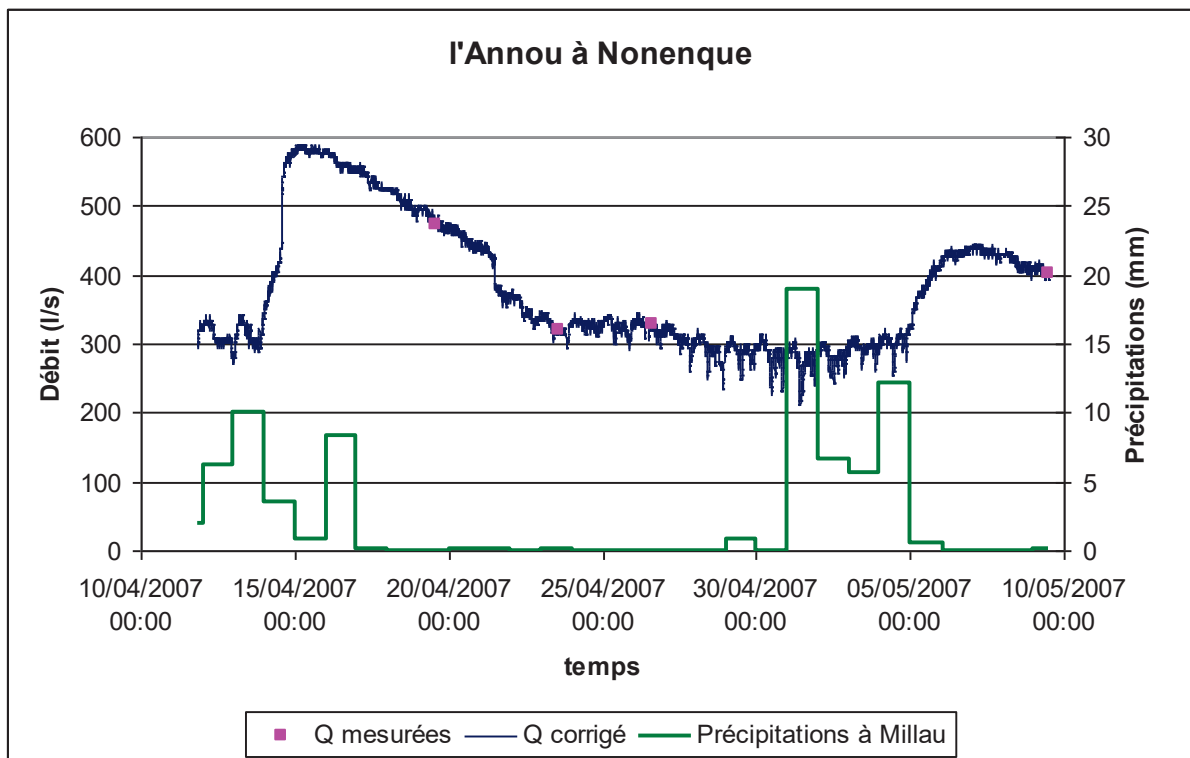


Figure 20 : Débits calculés de l'Annou à Nonenque



#### **4.3.9.2 – Résultats des traçages**

##### **4.3.9.2.1 – Résultats de l'injection de Sulforhodamine G dans le bourg de St Jean-d'Alcas – Source de la Grotte**

###### **➤ Restitution**

Une restitution en Sulforhodamine G a été observée par analyse à la source de la Grotte.

Quelques échantillons prélevés à Gauty et sur l'Annou ont été analysés. Ils ne montrent aucune trace de colorant.

Sur la courbe de restitution du traceur, les premières arrivées se situent le 14 avril vers 00:00 (35 h après l'injection). La vitesse d'apparition du traceur est de 25 m/h.

Le maximum est observé le 14 avril vers 8:00, soit 43 h après l'injection. La concentration maximale était de 17,4 µg/l. La vitesse modale de 20,4 m/h.

La restitution se termine autour du 24 avril, soit une durée totale de restitution d'environ 10 jours.

La courbe de restitution présente une forme globale uni-modale très resserrée. Le passage du traceur est très rapide.

Le pourcentage de restitution est très faible, de l'ordre de 1%. Plusieurs phénomènes peuvent expliquer ce faible taux de restitution :

- Une partie du traceur a pu rester piégé dans le système karstique et a pu être relargué sur un plus long terme à des concentrations très faibles.
- Le traceur a été adsorbé par des argiles.
- Les débits ont été sous évalués.
- Le traceur est sorti également à un autre exutoire.

###### **➤ Distribution des Temps de Séjour**

La courbe de DTS présente 1 seul mode. La forme générale de la courbe DTS, très resserrée, indique que le traceur a emprunté un système bien organisé.

###### **➤ Taux de dilution**

Le taux de dilution unitaire de  $5,8 \cdot 10^{-9} \text{ l}^{-1}$  permet de calculer la concentration maximale prévisible en cas de pollution par un produit dont les caractéristiques seraient semblable au traceur utilisé, dans les mêmes conditions hydrologiques que celles du traçage. Ainsi pour 10 kg de substance déversée, les teneurs maximales attendues à la source de la Grotte seraient de l'ordre de 58 µg/l.

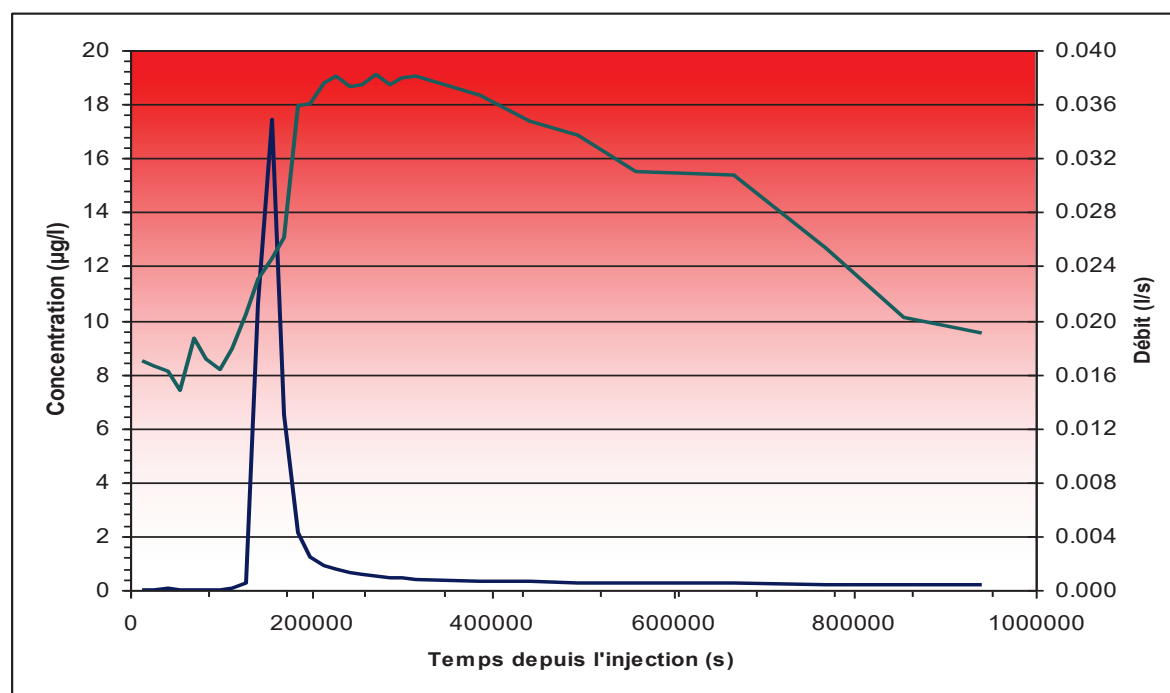
**Tableau 14 : Résultats du traçage à la Sulforhodamine G – Source de la Grotte**

<b>Injection</b>	12/04/2007 12 :35
<b>Traceur</b>	Sulforhodamine G (3 kg)
<b>Restitution</b>	Source de le Grotte
<b>Distance apparente</b>	885 m
<b>Masse restituée</b>	21 g

TEMPS	
<b>apparition du traceur</b>	35 h
<b>temps modal</b>	53 h
<b>durée de restitution</b>	10 j

VITESSES	
<b>Vitesse d'apparition</b>	25 m/h
<b>Vitesse modale</b>	20,4 m/h

CONCENTRATIONS ET DILUTIONS	
<b>Concentration maxi.</b>	17,4 µg/l
<b>Dilution minimale</b>	$2,32 \cdot 10^{-7}$
<b>Dilution unitaire</b>	$5,8 \cdot 10^{-9} \text{ l}^{-1}$

**Figure 21 : Courbe de restitution en Sulforhodamine G – Source de le Grotte**

4.3.9.2.2 – Résultats de l'injection de Sulforhodamine G dans le bourg de St Jean-d'Alcas – Ruisseau le Verzolet à Hermelix

Logiquement, la restitution de la Sulforhodamine G a été observée dans le Verzolet au droit de la station de pompage d'Hermelix. La courbe de restitution est présentée **figure 22**. Celle-ci présente la restitution à la source de la Grotte et la restitution dans le Verzolet.

Sur la courbe de restitution du traceur, les premières arrivées se situent le 14 avril vers 05:30 (41 h après l'injection, 5h30 après la restitution à la source de la Grotte). La vitesse d'apparition du traceur est de 108 m/h (en comptant le transit dans le cours d'eau).

Le maximum est observé le 14 avril vers 11:30, soit 47 h après l'injection. La concentration maximale était de 5,9 µg/l. La vitesse modale de 95,4 m/h.

La restitution se termine autour du 27 avril, soit une durée totale de restitution est d'environ 13 jours.

**Tableau 15 : Résultats du traçage à la Sulforhodamine G – Verzolet à Hermelix**

<b>Injection</b>	12/04/2007 12 :35
<b>Traceur</b>	Sulforhodamine G (3 kg)
<b>Restitution</b>	Verzolet
<b>Distance apparente</b>	4500 m
<b>Masse restituée</b>	90 g
<b>TEMPS</b>	
<b>apparition du traceur</b>	41 h
<b>temps modal</b>	47 h
<b>durée de restitution</b>	13 j
<b>VITESSES</b>	
<b>Vitesse d'apparition</b>	41 m/h
<b>Vitesse modale</b>	108,7 m/h
<b>CONCENTRATIONS ET DILUTIONS</b>	
<b>Concentration maxi.</b>	5,9 µg/l
<b>Dilution minimale</b>	$7,84 \cdot 10^{-8}$
<b>Dilution unitaire</b>	$1,96 \cdot 10^{-9} \text{ l}^{-1}$

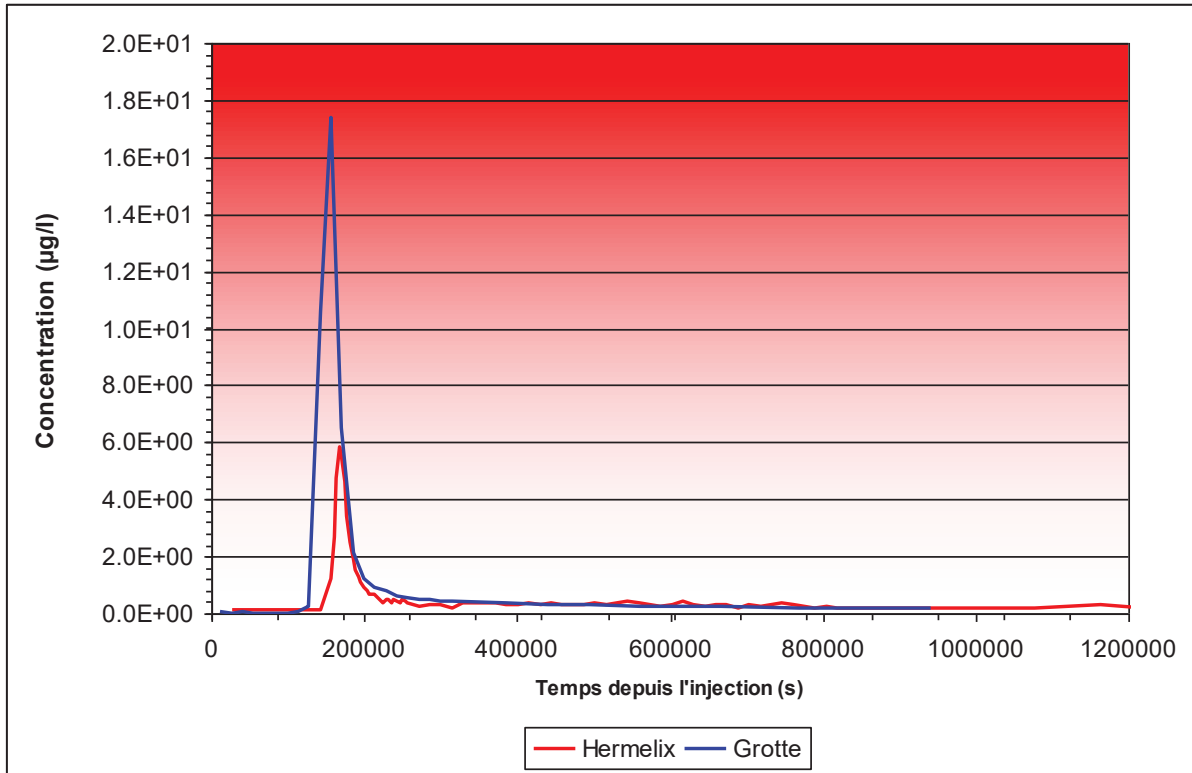


Figure 22 : Courbe de restitution de la Sulforhodamine G – source de la Grotte et Verzolet à Hermelix

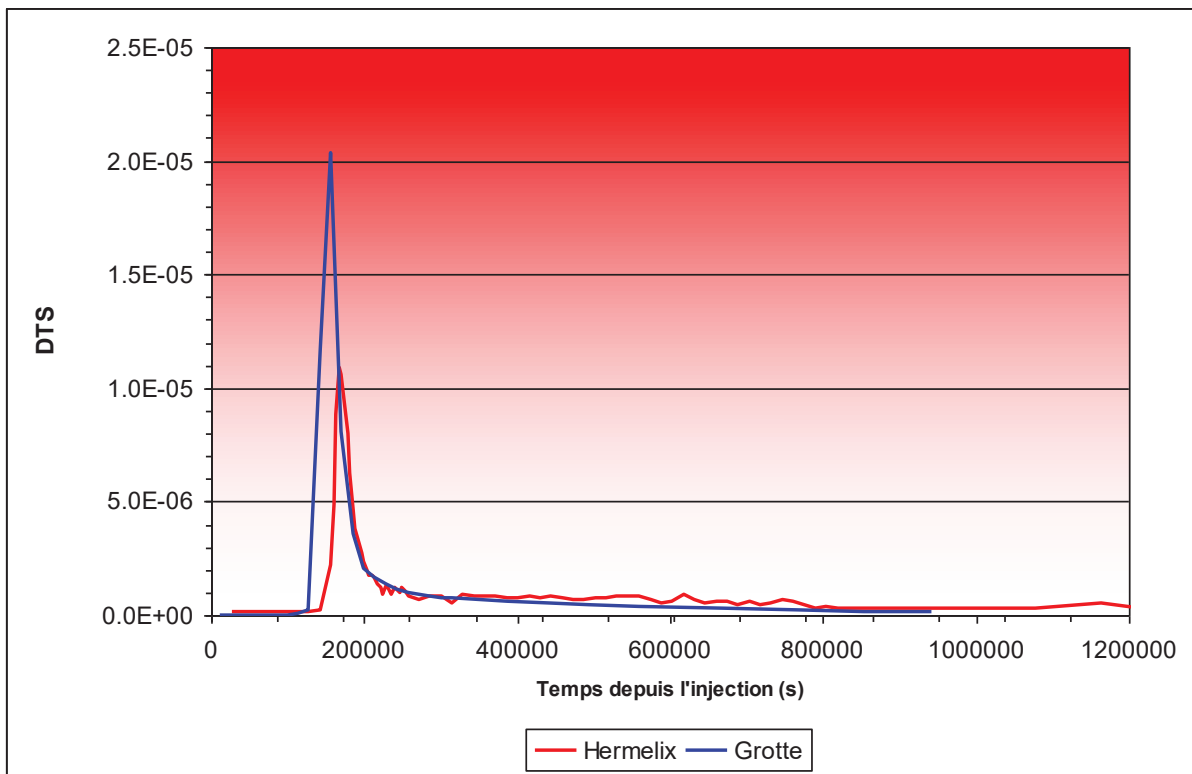


Figure 23 : Courbe de DTS de la Sulforhodamine G – source de la Grotte et Verzolet à Hermelix

#### 4.3.9.2.3 – Résultats de l'injection de Fluorescéine dans la doline de Balaurio – Rivière l'Annou à Nonenque

##### ➤ Restitution

Une restitution en Fluorescéine a été observée par analyse dans la rivière l'Annou au droit de la Chartreuse de Nonenque.

Quelques échantillons prélevés à Gauty, à la source de la Grotte et sur le Verzolet ont été analysés. Ils ne montrent aucune trace de Fluorescéine provenant de l'injection dans la doline.

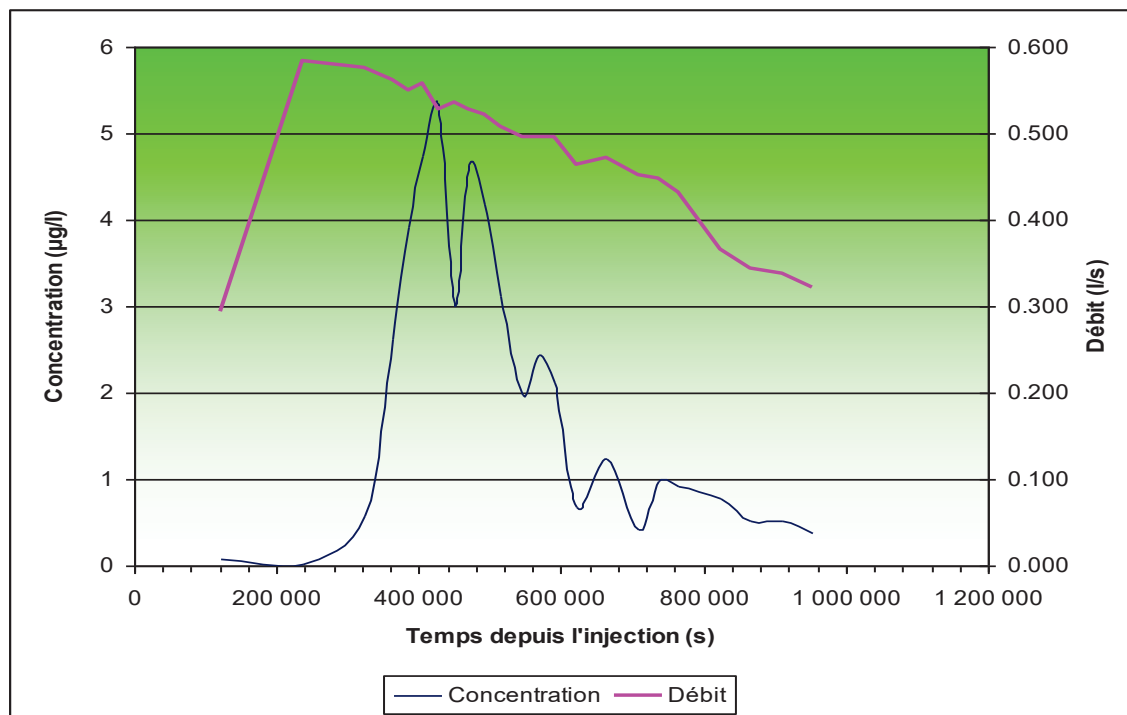
Sur la courbe de restitution du traceur, les premières arrivées se situent le 16 avril vers 5:00 (90 h après l'injection). La vitesse d'apparition du traceur est de 25 m/h (en incluant le transit dans le cours d'eau).

Le maximum est observé le 17 avril vers 10:00, soit 120 h après l'injection. La concentration maximale était de 5,3 µg/l. La vitesse modale de 19 m/h.

La restitution se termine autour du 25 avril, soit une durée totale de restitution d'une dizaine de jours.

La courbe de restitution présente une forme globale pluri-modale.

Le pourcentage de restitution est de l'ordre de 15%, ce qui est assez faible.



**Figure 24 : Courbe de restitution de la Fluorescéine – rivière l'Annou à la Chartreuse de Nonenque**

**Tableau 16 : Résultats du traçage à la Fluorescéine – l'Annou à la Chartreuse de Nonenque**

<b>Injection</b>	12/04/2007 11 :25
<b>Traceur</b>	Fluorescéine (4 kg)
<b>Restitution</b>	Annou
<b>Distance apparente</b>	2250 m
<b>Masse restituée</b>	590 g
<b>TEMPS</b>	
<b>apparition du traceur</b>	90 h
<b>temps modal</b>	120 h
<b>durée de restitution</b>	10 à 15 j
<b>VITESSES</b>	
<b>Vitesse d'apparition</b>	25 m/h
<b>Vitesse modale</b>	19 m/h
<b>CONCENTRATIONS ET DILUTIONS</b>	
<b>Concentration maxi.</b>	5,31 µg/l
<b>Dilution minimale</b>	$5,59 \cdot 10^{-8}$
<b>Dilution unitaire</b>	$1,33 \cdot 10^{-9} \text{ l}^{-1}$

#### 4.4 – CONCLUSION SUR LES TRAÇAGES

Le traçage depuis le ruisseau de Massergues a permis de démontrer une faible alimentation du captage de Gauty par le cours d'eau. Dans les conditions de traçage, l'apport serait de l'ordre de 0,1%. Ce phénomène est à prendre en compte pour la protection de la ressource, que ce soit contre les pollutions chroniques qu'accidentelles. Le bassin versant superficiel du ruisseau au droit du captage de Gauty est de 8,4 km<sup>2</sup>. Il est présenté sur les **carte**.

Les résultats du multitraçage depuis le Causse de St-Jean-d'Alcas sont surprenants. On pouvait s'attendre à une restitution de la Sulforhodamine G à Gauty mais le traceur est sorti à la Source de la Grotte située au Nord. Cependant, ceci est confortant en terme de protection de la ressource. En effet, le traceur a été injecté au Sud du bourg et est sorti au Nord de la source. Par conséquent, le bourg, où se situe les principales activités polluantes, semble se situer en dehors de l'aire d'alimentation du captage de Gauty.

La Fluorescéine injectée à la doline de Balaurio est ressortie à l'Est, dans la vallée de l'Annou, éliminant toute la partie du Causse située à l'Est (secteur des Agastous).

Cependant, l'aire d'alimentation du captage reste encore inconnue. Soit celle-ci se développe plus au Sud, vers le secteur de Canta Merlhe, les Bouyssières, soit celle-ci se développe en rive droite du ruisseau de Massergues, sur le secteur de Caussanueljous. Des traçages complémentaires permettraient de lever cette incertitude.