

**SIAEP DU LARZAC  
12 230 LA CAVALERIE**

**MISE EN CONFORMITE ADMINISTRATIVE DU CAPTAGE  
DU CERNON**

**PHASE 2 : REALISATION DES TRAÇAGES**

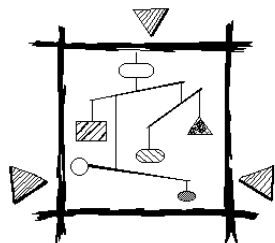
**RAPPORT CALLIGÉE : PÉRIMPRO SOUT T10-12068 PH2**

N° rév	Rédaction	Visa	Vérification	Visa	Approbation	Visa	Date application
1	Stéphane BALAYRE		Christophe SUBIAS				Mars 2011

**CALLIGÉE BRETAGNE**  
Zoopôle de Saint-Brieuc  
Site des Croix - 26, rue des Fusillés  
22440 PLOUFRAGAN  
Tél. 02 96 76 03 62 - Fax : 02 96 76 29 68  
E.mail : bretagne@calligee.fr

**CALLIGÉE - SIÈGE SOCIAL**  
Site Atlanpole - École Centrale  
1, rue de la Noë - BP 82118  
44321 NANTES Cedex 03  
Tél. 02 40 14 33 71 - Fax 02 40 14 33 72  
E.mail : nantes@calligee.fr

**CALLIGÉE SUD-OUEST**  
Innopole  
Le Prologue 2 - BP 2714  
31312 LABEGE Cedex  
Tél. 05 62 24 36 97 - Fax 05 61 39 07 28  
E.mail : toulouse@calligee.fr



## TABLE DES MATIERES

<b>TABLE DES MATIERES.....</b>	<b>2</b>
<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>4</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX .....</b>	<b>4</b>
<b>LISTE DES CARTES .....</b>	<b>5</b>
<b>LISTE DES PHOTOS.....</b>	<b>5</b>
<b>1 – INTRODUCTION .....</b>	<b>6</b>
<b>2 – REALISATION DES INJECTIONS.....</b>	<b>7</b>
2.1 – CHOIX DES POINTS D’INJECTION .....	7
2.2 – POINTS D’INJECTION VISITES ET RETENUS POUR L’INJECTION .....	8
2.3 – CHOIX DES TRACEURS ET QUANTITES INJECTEES .....	10
2.4 – CONDITIONS D’INJECTION .....	10
2.4.1 – <i>Traçage à l’Eosine dans l’aven de Bengouzal .....</i>	<i>12</i>
2.4.2 – <i>Traçage à la Sulforhodamine B dans l’aven des Crèdes.....</i>	<i>14</i>
2.4.3 – <i>Traçage à la Fluorescéine dans l’aven de la Gruelle .....</i>	<i>16</i>
2.4.4 – <i>Traçage à la Duazine dans l’aven du bois de Cabassudes.....</i>	<i>17</i>
2.4.5 – <i>Traçage au Naphtionate dans la perte du Poux.....</i>	<i>19</i>
<b>3 – SUIVI DES RESTITUTIONS .....</b>	<b>21</b>
3.1 – LE SUIVI DE LA RESTITUTION DES TRACEURS.....	21
3.2 – ANALYSE DES ECHANTILLONS .....	22
3.3 – SUIVI DES DEBITS .....	23
<b>4 – CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DES POINTS D’INJECTION..</b>	<b>25</b>
4.1 – CONTEXTE GEOLOGIQUE GLOBAL .....	25
4.2 – HYDROGEOLOGIE - SITUATION DES SOURCES SUIVIES .....	28
4.3 – SITUATION DES POINTS D’INJECTION.....	28
<b>5 – LES CONDITIONS DU TRAÇAGES .....</b>	<b>29</b>
5.1 – CONDITIONS HYDROLOGIQUES DES SOURCES SUIVIES .....	29
5.2 – CONDITIONS METEOROLOGIQUES .....	30
<b>6 – ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS DU TRAÇAGE.....</b>	<b>32</b>
6.1 – INJECTION D’EOSINE DANS L’AVEN DE BENGOUZAL.....	32
6.1.1 – <i>Résultats .....</i>	<i>32</i>

---

6.1.2 – Discussion .....	34
6.2 – INJECTION DE NAPHTHONATE A LA PERTE DU POUX .....	35
6.2.1 – Résultats .....	35
6.2.2 – Discussion .....	37
6.3 – INJECTION DE FLUORESCEINE DANS L'AVEN DE LA GRUELLE .....	38
6.3.1 – Résultats .....	38
6.3.2 – Discussion .....	42
6.4 – INJECTION DE SULPHORHODAMINE B DANS L'AVEN DES CREDES .....	43
6.5 – INJECTION DE DUAZINE DANS L'AVEN DU BOIS DE CABASSUDES .....	43
<b>7 – BILAN ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>45</b>
7.1 – ANALYSE COMPAREE DES RESTITUTIONS .....	45
7.1.1 – Synthèse globale .....	45
7.1.2 – Analyse des courbes de DTS .....	48
7.2 – APPORT DES TRAÇAGES DANS LA DEFINITION DES BASSIN D'ALIMENTATION DES SOURCES .....	50
7.3 – PERSPECTIVES .....	53
<b>ANNEXES .....</b>	<b>54</b>

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma de principe d'un aquifère karstique (Mangin, 1975) et trajet potentiel d'un traceur.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 2 : Coupe synthétique du causse aux environs de l'Hospitalet-du-Larzac (d'après Charcosset, 1998).....	25
Figure 3 : Coupe géologique du causse de l'Hospitalet-du-Larzac .....	26
Figure 4 : Carte géologique interprétée (source BRGM, Millau, n°935) .....	27
Figure 5 : Etat du régime hydrique 2009/2010 au niveau de la source du Cernon .....	29
Figure 6 : Chronique des débits et des précipitations durant la phase de traçage .....	30
Figure 7 : Courbe de restitution de l'Eosine au niveau de la source de la Mouline.....	33
Figure 8 : Courbe de restitution du Naphtionate au niveau de la source du Cernon .....	36
Figure 9 : Courbe de restitution de la Fluorescéine au niveau de la source de la Gloriette ...	40
Figure 10 : Courbe de restitution de la Fluorescéine au niveau de la source du Durzon.....	41
Figure 11 : Analyse comparée des courbes de DTS.....	49

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Traçages déjà réalisés : date, Taux de restitution et vitesses de transit....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau 2 : Limites de détection en laboratoire (Technique du double balayage synchronisé – Spectrofluorimètre Hitachi-2500, sans filtration) .....	10
Tableau 3 : Distance entre les points d'injections et les points de suivi – Traceurs et masses injectées.....	11
Tableau 4 : Traçage à l'Eosine dans l'aven de Bengouzal.....	12
Tableau 5 : Traçage à la Sulforhodamine B dans l'aven des Crèdes.....	14
Tableau 6 : Traçage à la Fluorescéine dans l'aven de la Gruelle.....	16
Tableau 7 : Traçage à la Duazine (33%) dans l'aven du bois de Cabassudes.....	17
Tableau 8 : Traçage au Naphtionate dans la perte du Poux .....	19
Tableau 9 : Localisation et équipement des points de suivi .....	21
Tableau 10 : Dénombrement des analyses en laboratoire.....	23
Tableau 11 : Caractéristiques de la crue des sources suivies pendant les traçages.....	31
Tableau 12 : Traçage à l'Eosine : Synthèse et résultats .....	32
Tableau 13 : Traçage au Naphtionate : Synthèse et résultats.....	35
Tableau 14 : Traçage à la Fluorescéine : a) restitution à la Gloriette, b) restitution à la source du Durzon.....	38
Tableau 15 : Traçage à la Suforhodamine B .....	43
Tableau 16 : Traçage à la Duazine.....	43
Tableau 17 : Synthèse des résultats de restitution .....	47

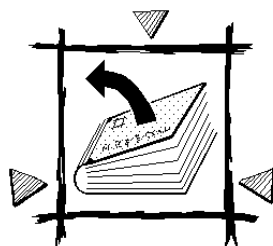


## LISTE DES CARTES

Carte 1 : Anciens traçages et localisation des points d'injection de la campagne 2010 .....	9
Carte 2 : Résultat des traçages 2010 sur fond IGN .....	51
Carte 3 : Résultat des traçages 2010 sur fond de carte géologique.....	52

## LISTE DES PHOTOS

Photo 1 : Injection dans l'aven de Bengouzal : a) Entrée de l'aven ; b) Injection du colorant dans la gaine, depuis la surface ; c) Vidange de la citerne depuis la surface.....	13
Photo 2 : Injection dans l'aven des Crèdes: a) La gaine à l'entrée de l'aven ; b) Injection du colorant dans la gaine, depuis la surface ; c) Vidange de la citerne depuis la surface .....	15
Photo 3 : Injection dans l'aven de la Gruelle: a) Pré dilution de la fluorescéine ; b) Vidange et injection simultanée .....	16
Photo 4 : Injection dans l'aven du bois de Cabassudes : a) Préparation du traceur ; b) La gaine à l'entrée de la cavité ; c) Vidange de la citerne dans la gaine d'injection .....	18
Photo 5 : Injection dans la perte du Poux : a) Chaos de l'entrée de la perte ; b) Environnement direct de la perte .....	19
Photo 6 : Points de restitution : a) Préleveur et fluorimètre à la source du Cernon ; b) Préleveur à la source de la Mouline ; c) Préleveur et fluorimètre à la source du Durzon ; d) (Préleveur à la source de la Gloriette .....	22



## 1 – INTRODUCTION

Le Syndicat du Larzac a entrepris en 2009 des études hydrogéologiques dans le but de capter la source du Cernon par l'intermédiaire d'un forage placé en amont de l'émergence dans la zone noyée du karst.

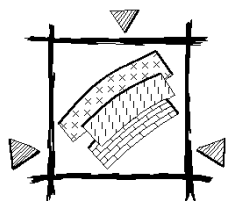
Ce forage permet au syndicat de disposer d'une ressource complémentaire et potentiellement moins vulnérable que celle qu'il utilise actuellement (le Durzon). De plus, ce nouveau captage permettrait de sécuriser le volume de production disponible et d'assurer l'alimentation en eau potable en période de pointe. Il permet aussi de diversifier les ressources en eau du syndicat en cas de pollution du captage principal.

La phase 1 de l'étude a permis de réaliser un état des lieux qualitatif et quantitatif de la ressource du Cernon en pompage. Cette phase a surtout permis de prévoir les effets d'un pompage prolongé sur le débit du Cernon en période d'étiage et sur les débits disponibles pour les autres usages du Cernon (débit biologique, pisciculture...).

Dans la phase 2, un multi traçage hydrogéologique a été demandé afin de mieux délimiter le bassin d'alimentation et la vulnérabilité hydrogéologique des sources du Cernon. La réalisation et l'interprétation de ces traçages s'établie en 3 temps qui seront repris dans la structure de ce rapport :

- **Réalisation des injections :**

Entre le 15 décembre et le 22 décembre 2010, Calligée a réalisé cinq injections de différents colorants fluorescents. Les injections ont été réalisées dans des avens dont certains sont connus de longue date et référencés dans l'inventaire spéléologique du Larzac et de la Séranne (<http://gersam.ifastnet.com/inv92.htm>).



## 2 – REALISATION DES INJECTIONS

### 2.1 – CHOIX DES POINTS D'INJECTION

En cohérence avec le CCTP réalisé par l'ATD 12 en collaboration avec le Parc Naturel Régional des Grands Causses et le SIAEP du Larzac, les 5 injections ont été déterminées au niveau de 3 avens définis précisément et dans 2 secteurs géographiques du causse

- Aven de Bengouzal,
- Aven des Crèdes,
- Aven de la Gruelles,
- Secteur de Figayrol,
- Secteur de Mas Trinquet.

Une visite de reconnaissance dans le secteur a été effectuée le jeudi 9 décembre 2010, en compagnie de M. Pierre VIALA du comité départemental de spéléologie et de M. Henry SALVAIRE, docteur en hydrogéologie. Cette visite a permis de reconnaître les avens prédéterminés et de déceler de potentiels points d'injection dans les secteurs de Figayrol et de Mas Trinquet.

Dans ces secteurs, les types de points d'injection recherchés étaient :

- des dolines (injections depuis la surface dans des fosses creusées au tractopelle avec apport d'eau),
- des igues et gouffres si possibles actifs (écoulement d'eau).

Les difficultés prises en compte pour le choix des points d'injection étaient les suivantes :

- problème d'accessibilité au camion citerne. Le point d'injection doit se situer à proximité d'une route,
- problème d'accord des propriétaires,
- problème d'infiltration des eaux,
- absence de nappe perchée, qui entraînerait un retard et une forte dilution du traceur.

## 2.2 – POINTS D'INJECTION VISITES ET RETENUS POUR L'INJECTION

Plusieurs sites potentiels d'injection ont été visualisés lors des visites :

- **Secteur de Bengouzals :**
  - Point d'injection retenu : aven de Bengouzal (reconnu, aucun problème d'accès)
  - Autre possibilité d'injection : aucune.
- **Secteur des Crèdes :**
  - Point d'injection retenu : aven des Crèdes (reconnu, aucun problème d'accès),
  - Autre possibilité d'injection : l'aven des Mortes.
- **Secteur de la Gruelle :**
  - Point d'injection retenu : aven de la Gruelle (reconnu, aucun problème d'accès),
  - Autre possibilité d'injection : aucune
- **Secteur de Figayrol :**
  - Point d'injection retenu : un aven au voisinage d'une faille en bordure Ouest du « Bois de Cabassudes ». Le site se situe à 1,6 km au nord-ouest du hameau.
  - Autre possibilité d'injection : une doline d'effondrement reconnue à 400 mètres au nord du hameau.

Le choix s'est porté sur l'aven du bois de Cabassudes, car il présentait les meilleures potentialités pour l'accès et l'infiltration des eaux. De plus ce point d'injection était situé plus proche de la frontière présumée entre les bassins d'alimentation de la source du Durzon et celui des sources du Cernon.

- **Secteur de Mas Trinquet :**
  - Point d'injection retenu : La perte du Poux, à 600 mètres au Sud-est du hameau,
  - Autre possibilité d'injection :
    - l'aven de l'Imbudel à 1080 mètres au Sud-est du hameau,
    - un gouffre mis au jour par l'homme à 1400 mètres à l'est du hameau.

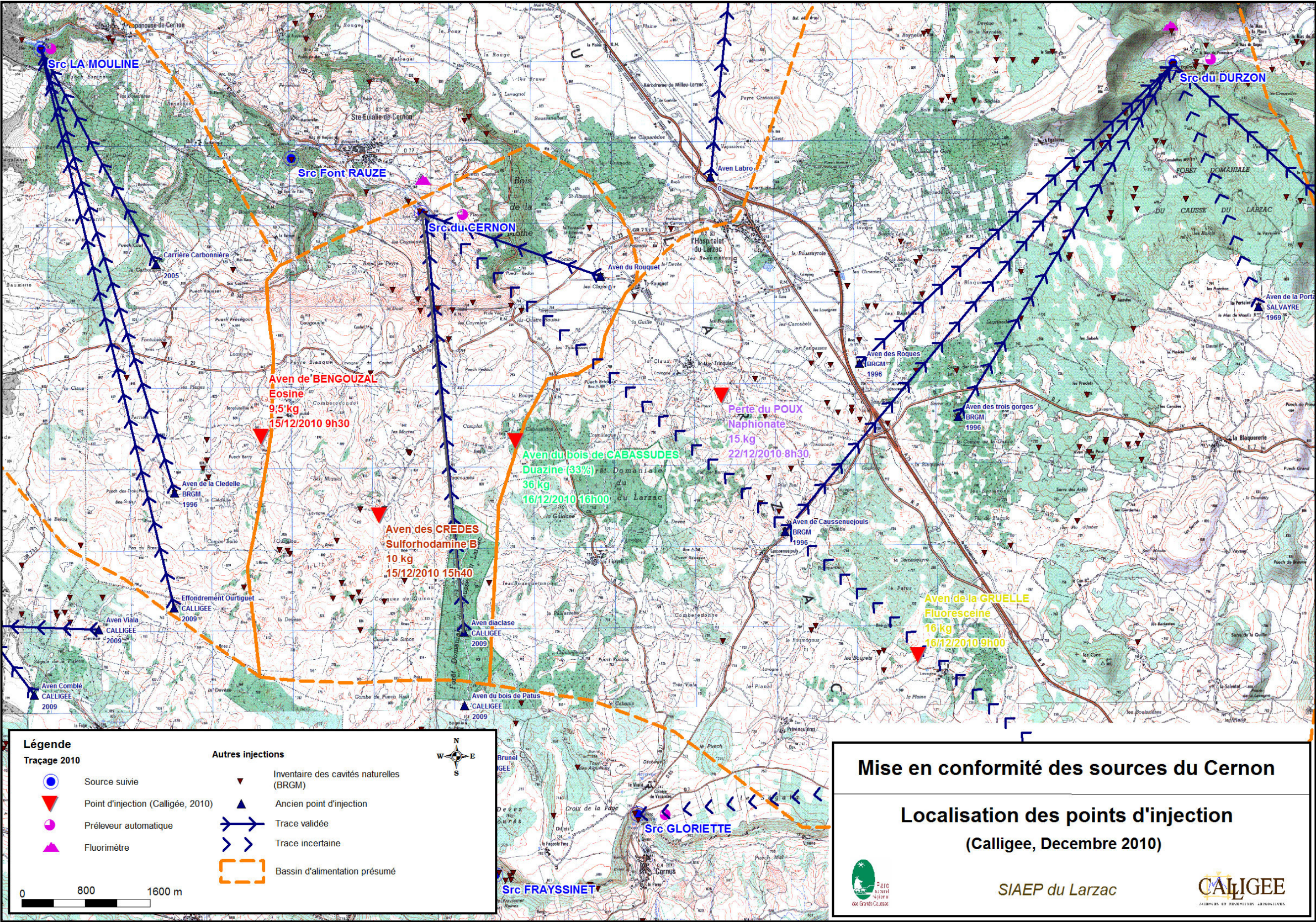
Le choix s'est porté sur la perte du Poux, car elle était située plus proche du secteur défini et plus proche de la frontière présumée entre les bassins d'alimentation de la source du Durzon et celui des sources du Cernon.

Le Tableau 2 présente les caractéristiques des points d'injections retenus

La Carte 1 présente une synthèse des traçages réalisés à ce jour dans le secteur et la localisation des points d'injection retenus.



Carte 1 : Anciens traçages et localisation des points d'injection de la campagne 2010





## 2.3 – CHOIX DES TRACEURS ET QUANTITES INJECTEES

Les traceurs utilisés sont des traceurs fluorescents faciles à mettre en œuvre et à analyser par les laboratoires spécialisés. De plus, les seuils de détection dans les eaux naturelles sont très faibles (tableau ci dessous).

**Tableau 1 : Limites de détection en laboratoire (Technique du double balayage synchronisé – Spectrofluorimètre Hitachi-2500, sans filtration)**

Traceur fluorescent	Eaux naturelles optiquement propres	Bruit de fond existant
Uranine (Flourescéine)	0,002 µg/l	0,25 µg/l
Eosine	0,007 µg/l	0,6 µg/l
Sulforhodamine	0,008 µg/l	0,7 µg/l
Naphtionate	0,1 µg/l	0,5 µg/l
Duazine	0,01 µg/l	0,4 µg/l

Des difficultés se présentent du fait que certaine des sources suivies sont exploitées pour l'alimentation en eau potable. Les quantités de traceur injectées doivent être suffisantes pour permettre une détection aux sources mais pas trop importantes pour ne pas colorer la ressource exploitée et le réseau de distribution.

Les traceurs et les quantités injectées sont récapitulés dans le Tableau 2:

## 2.4 – CONDITIONS D'INJECTION

Les injections ont été réalisées :

- le 15/12/2010 (Bengouzal, Les Crèdes) avec l'aide d'une citerne de 10 m<sup>3</sup> de l'entreprise Sévigné. Etaient présents Pierre VIALA (SpéléoLarzac), Régis (Sévigné), Christophe SUBIAS, Arnaud MALARD et Stéphane BALAYRE (CALLIGEE).
- le 16/12/2010 (La Gruelle, Cabassudes) avec l'aide d'une citerne de 10 m<sup>3</sup> de l'entreprise Sévigné. Etaient présents Pierre VIALA (SpéléoLarzac), Régis (Sévigné), Arnaud MALARD et Stéphane BALAYRE (CALLIGEE).
- le 22/12/2010 (La perte du Poux) avec l'aide d'une citerne de 10 m<sup>3</sup> de l'entreprise Sévigné. Etaient présents Régis (Sévigné) et Arnaud MALARD (CALLIGEE).

**Tableau 2 : Distance entre les points d'injections et les points de suivi – Traceurs et masses injectées**

Lieu	Type	Traceur	Profondeur d'injection	Masse	Date	X (L2E m)	Y (L2E m)	Z (m NGF)	Distances aux sources
Bengouzal	Aven	Eosine	-20 mètres	9,5 kg	15/12/2010 09:30	662 952	1 883 540	847	Mouline : 5,4 km Cernon : 3,6 km Durzon : 12 km Gloriette : 6,4 km
Les Crèdes	Aven/ diacalse	Sulforhodamine B	-30 mètres	10 kg	15/12/2010 15:40	664 415	1 882 570	801	Mouline : 7 km Cernon : 3,8 km Durzon : 11,2 km Gloriette : 4,7 km
La Gruelle	Aven	Fluorescéine	-3 mètres	16 kg	16/12/2010 09:00	671 112	1 880 840	681	Mouline : 13 km Cernon : 8,2 km Durzon : 7,9 km Gloriette : 3,8 km
Bergerie – Bois de Cabassudes	Aven/ diacalse	Duazine (33%)	-20 mètres	36 kg	16/12/2010 16:00	666 112	1 883 487	781	Mouline : 7,6 km Cernon : 3,1 km Durzon : 9,25 km Gloriette : 4,6 km
Mas Trinquet – La perte du Poux	Aven/ Perte	Naphionate	0 mètre	15 kg	22/12/2010 08:30	668 675	1 884 047	726	Mouline : 9,4 km Cernon : 4,3 km Durzon : 6,8 km Gloriette : 5 km

### 2.4.1 – Traçage à l'Eosine dans l'aven de Bengouzal

L'injection a été réalisée depuis la surface au travers d'une gaine de 30 mètres préalablement descendue et positionnée au fond de l'aven, dans une zone présentant du soutirage. Ce travail a pu être réalisé grâce à l'intervention de Pierre VIALA et de Christophe SUBIAS hydrogéologue à Calligée.

Après dilution du colorant, l'injection est réalisée par Christophe SUBIAS le 15/12/2010 à 9h30.

Juste après, la citerne de 10 m<sup>3</sup>, vidangée par une motopompe débitant environ 20 m<sup>3</sup>/h est connectée à la gaine et permet de favoriser l'infiltration du traceur au fond de l'aven. Deux citernes de 10 m<sup>3</sup> ont été vidangées dans cet aven.

La totalité du volume injecté s'est infiltré dans le fond de l'aven.

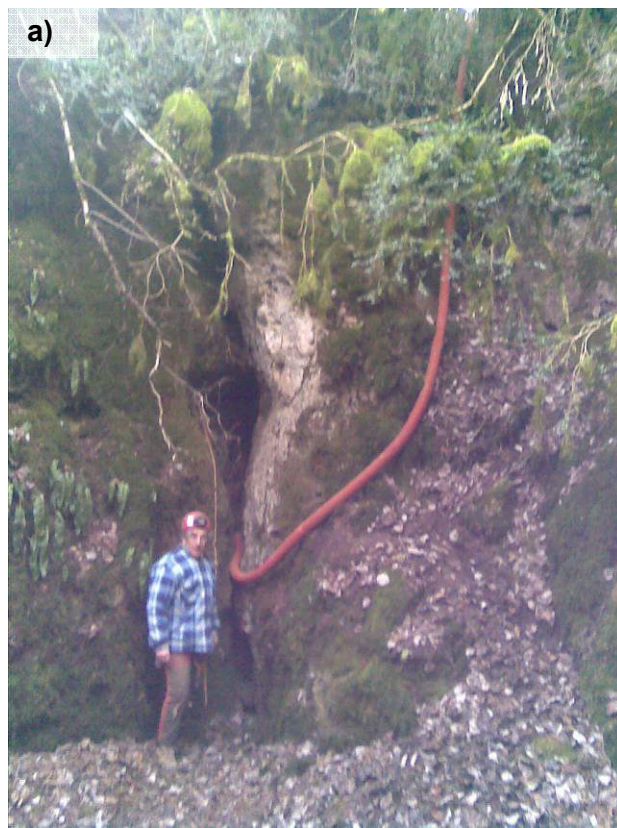
Le Tableau 3 présente une synthèse de ces opérations.

**Tableau 3 : Traçage à l'Eosine dans l'aven de Bengouzal**

Date	Heure	Tache	Résumé
15/12/10	8h – 9h	Installation de la gaine au fond de l'Aven	Installation de la gaine en fond d'aven
	9 h 30	Injection de 9,5 kg d'Eosine dilués dans 140 l d'eau	Injection de 9,5 kg d'Eosine
	10 h 00	Injection de 10 m <sup>3</sup> d'eau claire	
	10h30 – 11h30	Remplissage de la citerne	Injection de 20 m <sup>3</sup> d'eau claire.
	11 h 30	Injection de 10 m <sup>3</sup> d'eau claire	Infiltration directe de l'ordre de 20 m <sup>3</sup> /h



**Photo 1 : Injection dans l'aven de Bengouzal : a) Entrée de l'aven ; b) Injection du colorant dans la gaine, depuis la surface ; c) Vidange de la citerne depuis la surface**



### 2.4.2 – Traçage à la Sulforhodamine B dans l'aven des Crèdes

L'injection a été réalisée depuis la surface au travers de deux gaines raboutées, pour une longueur totale de 60 mètres. La gaine a été positionnée par Pierre VIALA et Arnaud MALARD hydrogéologue à Calligée.

Après dilution du colorant, l'injection est réalisée par Stéphane BALAYRE le 15/12/2010 à 15h40.

Juste après, la citerne de 10 m<sup>3</sup>, vidangée par une motopompe débitant environ 20 m<sup>3</sup>/h est connectée à la gaine et permet de favoriser l'infiltration du traceur au fond de l'aven. Deux citernes de 10 m<sup>3</sup> ont été vidangées dans cet aven.

Durant l'injection, la vitesse d'infiltration a fortement ralentie. Si au départ, tout le flux était absorbé en fond d'aven, une cavité semble s'être remplie et nous avons observé une mise en charge du volume injecté dans le fond d'aven. Ces signes témoignent d'une infiltration lente.

Le Tableau 4 présente une synthèse de ces opérations.

**Tableau 4 : Traçage à la Sulforhodamine B dans l'aven des Crèdes**

Date	Heure	Tache	Résumé
15/12/10	14h30 – 15h30	Installation des gaines au fond de l'Aven	Installation des deux gaines en fond d'aven
	15 h 40	Injection de 10 kg de Sulforhodamine B dilué dans 140 l d'eau	Injection de 10 kg de Sulforhodamine B
	16 h 00	Injection de 10 m <sup>3</sup> d'eau claire	
	16h30 – 17h30	Remplissage de la citerne	Injection de 20 m <sup>3</sup> d'eau claire.
	17 h 30	Injection de 10 m <sup>3</sup> d'eau claire	Infiltration lente



**Photo 2 : Injection dans l'aven des Crèdes: a) La gaine à l'entrée de l'aven ; b) Injection du colorant dans la gaine, depuis la surface ; c) Vidange de la citerne depuis la surface**



### 2.4.3 – Traçage à la Fluorescéine dans l'aven de la Gruelle

L'injection a été réalisée depuis la surface au travers de la trémie rocheuse recouvrant l'entrée de l'aven. L'injection est réalisée par Stéphane BALAYRE le 16/12/2010 à 09h00.

Pendant la nuit, les ailettes de démarrage de la motopompe ont gelées, nécessitant des réparations. La dilution et l'injection d'une première citerne de 10 m<sup>3</sup> sont réalisées simultanément. Deux citernes de 10 m<sup>3</sup> ont été vidangées dans cet aven.

La totalité du volume injecté s'est infiltré dans le fond de l'aven.

Le Tableau 5 présente une synthèse de ces opérations.

**Tableau 5 : Traçage à la Fluorescéine dans l'aven de la Gruelle**

Date	Heure	Tache	Résumé
16/12/10	08h00 – 09h00	Dilution de la fluorescéine et réparation de la pompe de vidange de la citerne	Injection de 16 kg de Fluorescéine
	09 h 00	Injection de 16 kg de Fluorescéine	
	09 h 15	Injection de 10 m <sup>3</sup> en mélangeant la Fluorescéine	Injection de 20 m <sup>3</sup> d'eau
	10h – 11h30	Remplissage de la citerne	
	11 h 30	Injection de 10 m <sup>3</sup> d'eau claire	Infiltration rapide

**Photo 3 : Injection dans l'aven de la Gruelle: a) Pré dilution de la fluorescéine ; b) Vidange et injection simultanée**





#### 2.4.4 – Traçage à la Duazine dans l'aven du bois de Cabassudes

L'injection a été réalisée depuis la surface au travers d'une gaine de 30 mètres positionnée au point le plus bas de l'aven. L'installation a été réalisée dans la matinée du 16/12/2010, par Pierre VIALA qui a découvert cette cavité au sein du comité départemental de spéléologie et Arnaud MALARD hydrogéologue à Calligée.

L'injection du colorant a eu lieu à 14h30 le 16/12/2010.

Au moment de l'injection de 10 m<sup>3</sup> d'eau, une vanne du système de pompage a cédé sous l'influence du gel. Les réparations effectuées, l'injection des 10 m<sup>3</sup> d'eau n'a pu se faire qu'à partir de 16h.

Dans ces conditions et avec une météo qui se dégradait pour la nuit du 16 au 17 décembre, une seule citerne de 10 m<sup>3</sup> n'a pu être injectée dans l'aven du bois de Cabassudes.

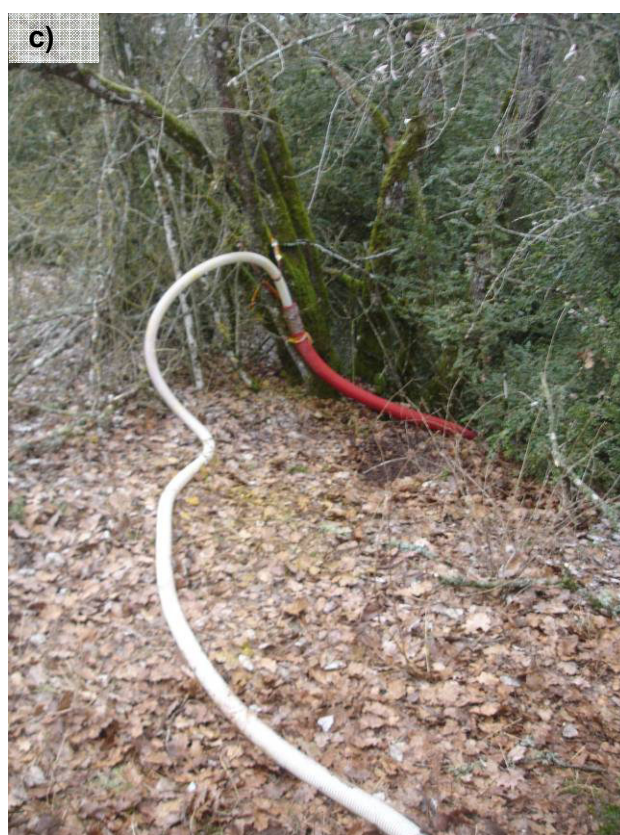
La totalité du volume injecté s'est infiltré dans le fond de l'aven.

Le Tableau 6 présente une synthèse de ces opérations.

**Tableau 6 : Traçage à la Duazine (33%) dans l'aven du bois de Cabassudes**

Date	Heure	Tache	Résumé
16/12/10	10h30 – 12h00	Installation de 30 mètres de gaine dans l'aven	Installation de 30 mètres de gaine
	14 h 30	Injection de 36 kg de Duazine à 33%	Injection de 36 kg de Duazine à 33%
	15 h – 16h	Réparation de la motopompe	Injection de 10 m <sup>3</sup> d'eau
	16h – 17h00	Injection de 10 m <sup>3</sup> d'eau claire	
			Infiltration rapide

**Photo 4 : Injection dans l'aven du bois de Cabassudes : a) Préparation du traceur ; b) La gaine à l'entrée de la cavité ; c) Vidange de la citerne dans la gaine d'injection**



### 2.4.5 – Traçage au Naphtionate dans la perte du Poux

L'injection a été réalisée depuis la surface au travers d'une gaine de 30 mètres positionnée à l'entrée de la perte. L'installation a été réalisée dans la matinée du 22/12/2010, par Arnauld MALARD hydrogéologue à Calligée.

L'injection du colorant a été réalisée à 8h30 le 22/12/2010.

Deux citernes de 10 m<sup>3</sup> ont été vidangées dans cette perte, la totalité du volume injecté s'est infiltré dans le fond de l'aven.

Le Tableau 7 présente une synthèse de ces opérations.

**Tableau 7 : Traçage au Naphtionate dans la perte du Poux**

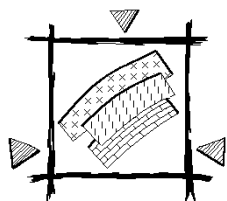
Date	Heure	Tache	Résumé
22/12/10	8h00 – 8h30	Installation de 30 mètres de gaine	Installation de 30 mètres de gaine
	8 h 30	Injection de 15 kg de Naphtionate	Injection de 15 kg de Naphtionate
	9 h – 12h	Injection de 10 m <sup>3</sup> d'eau claire	Injection de 20 m <sup>3</sup> d'eau Infiltration rapide

**Photo 5 : Injection dans la perte du Poux : a) Chaos de l'entrée de la perte ; b) Environnement direct de la perte**









### 3 – SUIVIE DES RESTITUTIONS

Le suivi de la restitution s'appuie sur l'analyse combinée des débits et des concentrations de traceurs au niveau de chaque source. Le suivi est réalisé au niveau des quatre principales sources drainant le secteur :

- La source de la Mouline,
- Les sources du Cernon,
- La source du Durzon,
- La source de la Gloriette

#### 3.1 – LE SUIVI DE LA RESTITUTION DES TRACEURS

La restitution des traceurs peut être suivie au moyen de deux types de matériels :

- **Des préleveurs automatiques** : installés au niveau des sources suivies, ces appareils sont programmés pour prélever un échantillon d'eau à intervalle de temps régulier. Dans le cadre de ces traçages, les prélèvements ont été réalisés tous les 6 à 7 heures depuis la date de l'injection. Les échantillons prélevés devront être analysés dans un laboratoire spécialisé.
- **Des fluorimètres** : deux appareils ont été installés au niveau des sources du Cernon et du Durzon. Ces appareils permettent une lecture en direct de la fluorescence des eaux. Une mesure a été enregistrée tous les 15 minutes depuis la date d'injection des traceurs. Les valeurs mesurées par le fluorimètre doivent être recalées au moyen des analyses en laboratoire.

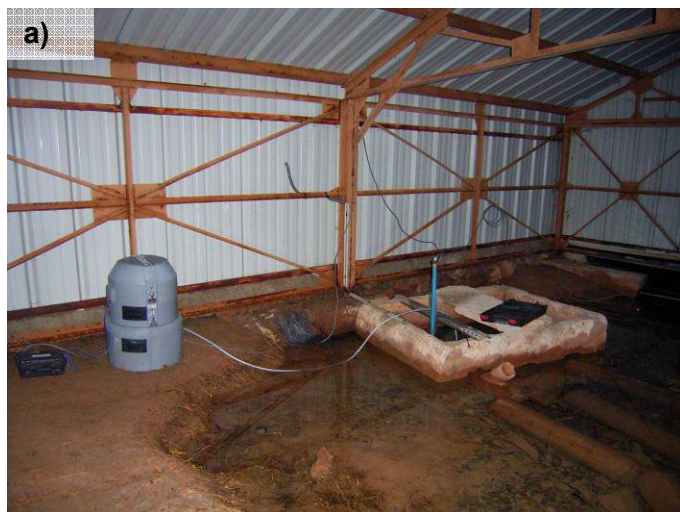
Le matériel de suivi a été mis en place les 14 et 15 décembre 2010. Le Tableau 8 présente le matériel installé sur chaque source.

Le suivi de la restitution a été réalisé sur environ 2 mois entre le 15 décembre 2010 et le 22 février 2011.

Tableau 8 : Localisation et équipement des points de suivi

Point de suivi	Type	X L2E (m)	Y L2E (m)	Z (m NGF)	Préleveur automatique	Fluorimètre de terrain	Station de mesure du parc	Autre débits
Cernon	Source	664 947	1 886 300	592	Oui	Oui	Oui	Canal du Moulin
Mouline	Source	660 217	1 888 332	500	Oui	Non	Oui	
Durzon	Source	674 285	1 888 160	550	Oui	Oui	Oui	Prélèvement AEP
Gloriette	Source	667 637	1 878 860	680	Oui	Non	Oui	Prélèvement AEP

**Photo 6 : Points de restitution : a) Préleveur et fluorimètre à la source du Cernon ; b) Préleveur à la source de la Mouline ; c) Préleveur et fluorimètre à la source du Durzon ; d) (Préleveur à la source de la Gloriette**



### 3.2 – ANALYSE DES ECHANTILLONS

Les échantillons prélevés ont été stockés dans des bouteilles en verre fumé préalablement rincées à l'eau prélevée. Les traceurs fluorescents ont été analysés par spectrofluorimétrie au **Laboratoire d'hydrogéologie CETRAHE de l'école Polytechnique d'Orléans**.

Tout au long des restitutions, certains échantillons ont été sélectionnés pour être analysé en laboratoire. Le but est de déceler la période de restitution des traceurs et notamment le pic de restitution.

Le Tableau 9 dénombre les échantillons analysés pour chaque traceur et pour chaque source suivie. Au total, 363 analyses ont été réalisées.

L'analyse repose sur une valeur de concentration en fluorescence brute et une comparaison avec le bruit de fond géochimique de la source suivie. La concentration nette en fluorescent est calculé par rapport à ce fond géochimique. Des spectres de fluorescence sont utilisés en laboratoire pour valider ou infirmer la présence de tel ou tel traceur.

**Tableau 9 : Dénombrement des analyses en laboratoire**

Source	Période analysée	Fluo	Naphtio nate	Sulforho damine B	Duazine	Eosine	TOTAL		
Cernon	du 15/12/2010 au 03/01/2011	17	17	17	17	17	85	138	363
	du 03/01/2011 au 18/01/2011	0	10	8	8	0	26		
	du 18/01/2011 au 08/02/2011	0	9	9	9	0	27		
Mouline	du 15/12/2010 au 03/01/2011	13	13	13	13	13	65	71	
	du 03/01/2011 au 18/01/2011	0	0	2	0	4	6		
	du 18/01/2011 au 08/02/2011	0	0	0	0	0	0		
Gloriette	du 15/12/2010 au 03/01/2011	10	10	10	10	10	50	60	
	du 03/01/2011 au 18/01/2011	6	4	0	0	0	10		
	du 18/01/2011 au 08/02/2011	0	0	0	0	0	0		
Durzon	du 15/12/2010 au 03/01/2011	13	13	13	13	13	65	94	
	du 03/01/2011 au 18/01/2011	9	6	0	4	0	19		
	du 18/01/2011 au 08/02/2011	5	2	0	3	0	10		

Dans la suite du rapport, nous ne présenterons que les valeurs positives en valeur nette de l'échantillonnage.

### 3.3 – SUIVI DES DEBITS

Le débit des sources doit être connu pour l'interprétation des traçages et des flux de restitution.

Dans le secteur d'étude, les sources sont équipées de stations hydrométriques qui enregistrent le débit au pas de temps 30 minutes. Ces données ont été récupérées au près du Parc Naturel Régional des Grands Causses.

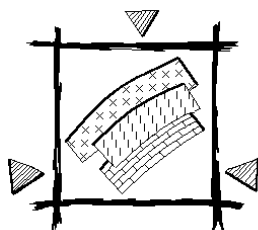
Pour certaines sources, une partie du débit n'est pas comptabilisé au niveau des stations du parc. C'est notamment le cas de la source du Cernon, dont une partie du débit est dérivé dans un canal alimentant un moulin. Afin de combler cette lacune, le débit du canal a été jaugé trois fois durant la période restitution :

- 02/02/2011 : 28 l/s

- 08/02/2011 : 33 l/s
- 22/02/2011 : 45 l/s

En conséquence, les débits mesurés sur le Cernon au niveau de la station « Terrain de Football » seront augmentés de 35 l/s pour l'analyse des restitutions de traceurs.





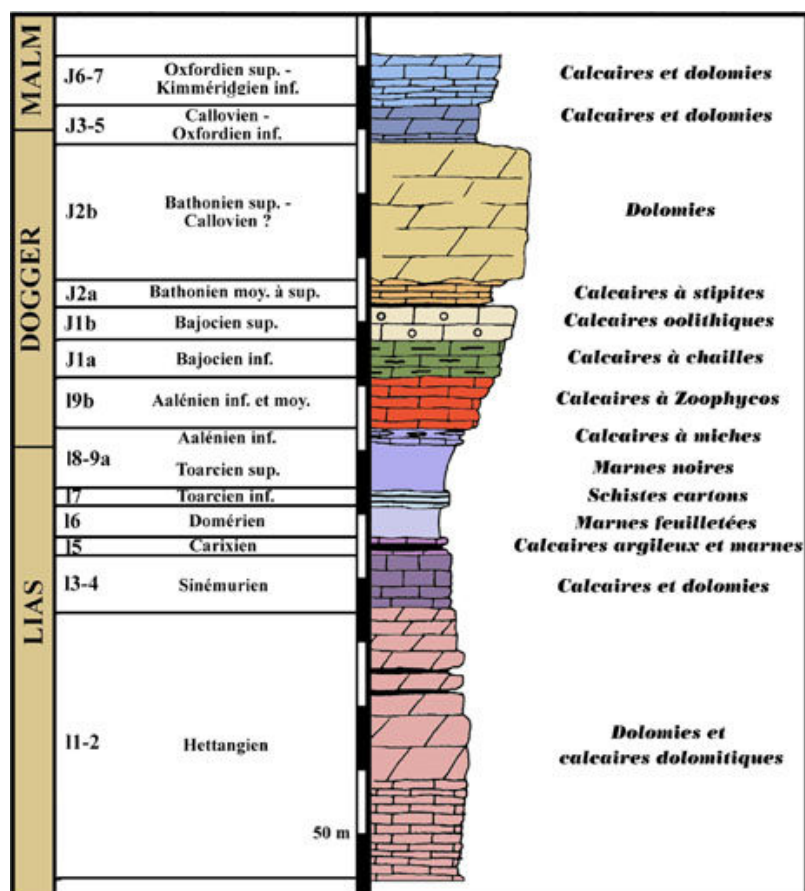
## 4 – CONTEXTE GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE DES POINTS D'INJECTION

### 4.1 – CONTEXTE GEOLOGIQUE GLOBAL

Sainte-Eulalie-de-Cernon se situe au cœur d'une vallée encaissée qui recoupe quasiment la totalité du Causse du Larzac.

Les calcaires du Larzac se sont mis en place durant le Jurassique, il y a 205 millions d'années. A cette époque, les terres étaient recouvertes par le niveau marin et les phénomènes biochimiques ont permis la précipitation à grande échelle des calcaires et des dolomies sous différentes formes. Si on réalise une coupe verticale du Larzac, on observe une série lithologique superposée qui reste ordonnée en tout endroit du causse. La figure suivante en est une illustration.

Figure 1 : Coupe synthétique du causse aux environs de l'Hospitalet-du-Larzac (d'après Charcosset, 1998)



Cette coupe représente une série lithologique de calcaire et de dolomies au niveau de l'Hospitalet du Larzac. Elle présente deux grandes époques géologiques (**le Dogger et le Lias**) qui sont retrouvées à l'affleurement dans la région de Sainte-Eulalie, La-Cavalerie et l'Hospitalet-du-Larzac (Cf. carte géologique Figure 3).

Le Dogger présente les terrains les plus récents. On les trouve sur la partie haute du causse, depuis le Viala-du-Pas-de-Jaux jusqu'à La Cavalerie et en passant par l'Hospitalet-du-Larzac. Ce sont des niveaux de calcaires et de dolomies qui peuvent être fracturés et karstifiés sous l'influence de l'eau. La dernière couche de ce type apparaît sur la carte sous la forme d'une bande rouge appartenant à l'Alénien supérieur.

A l'interface entre les deux époques, on trouve les niveaux du Toarcien. Ceux-ci présentent une alternance de Marnes noires et de Marnes schisteuses (appelées schiste carton). Ces niveaux là sont peu perméables au transfert de l'eau. Ils agiront souvent comme un mur pour les aquifères du Jurassique supérieur (Dogger). C'est le cas d'une grande partie des sources de la frange Sud du causse, comme par exemple, la source de la Gloriette.

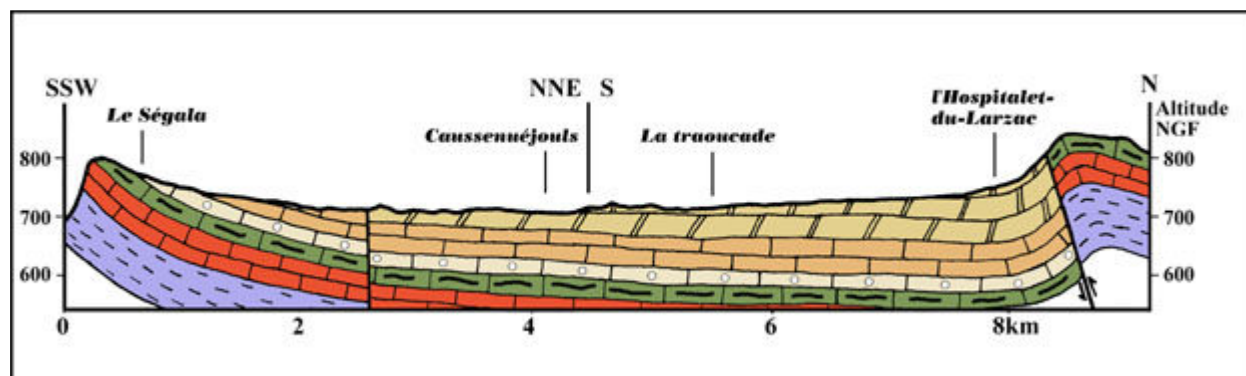
Enfin, sous ces niveaux imperméables, sont rencontrés les calcaires du Lias. Associés à plusieurs époques allant du Domérien à l'Hettangien, ces calcaires sont francs et peuvent être karstifiés sous l'effet de l'eau. Ils affleurent principalement dans la vallée du Cernon. Ils forment un dégradé Est/Ouest mis au jour par l'abaissement de la topographie.

L'Hettangien est la formation la plus ancienne du Jurassique. Elle repose à son tour sur une formation hétérogène et peu perméable. Elle est composée de marnes, de gypse, de grès et de dolomies du Trias. Ce nouvel étage peu perméable va favoriser l'émergence de sources karstiques à son contact. Il semblerait que ce soit le cas des sources du Cernon qui émergent en surface à la faveur de fractures et de la source de La Mouline.

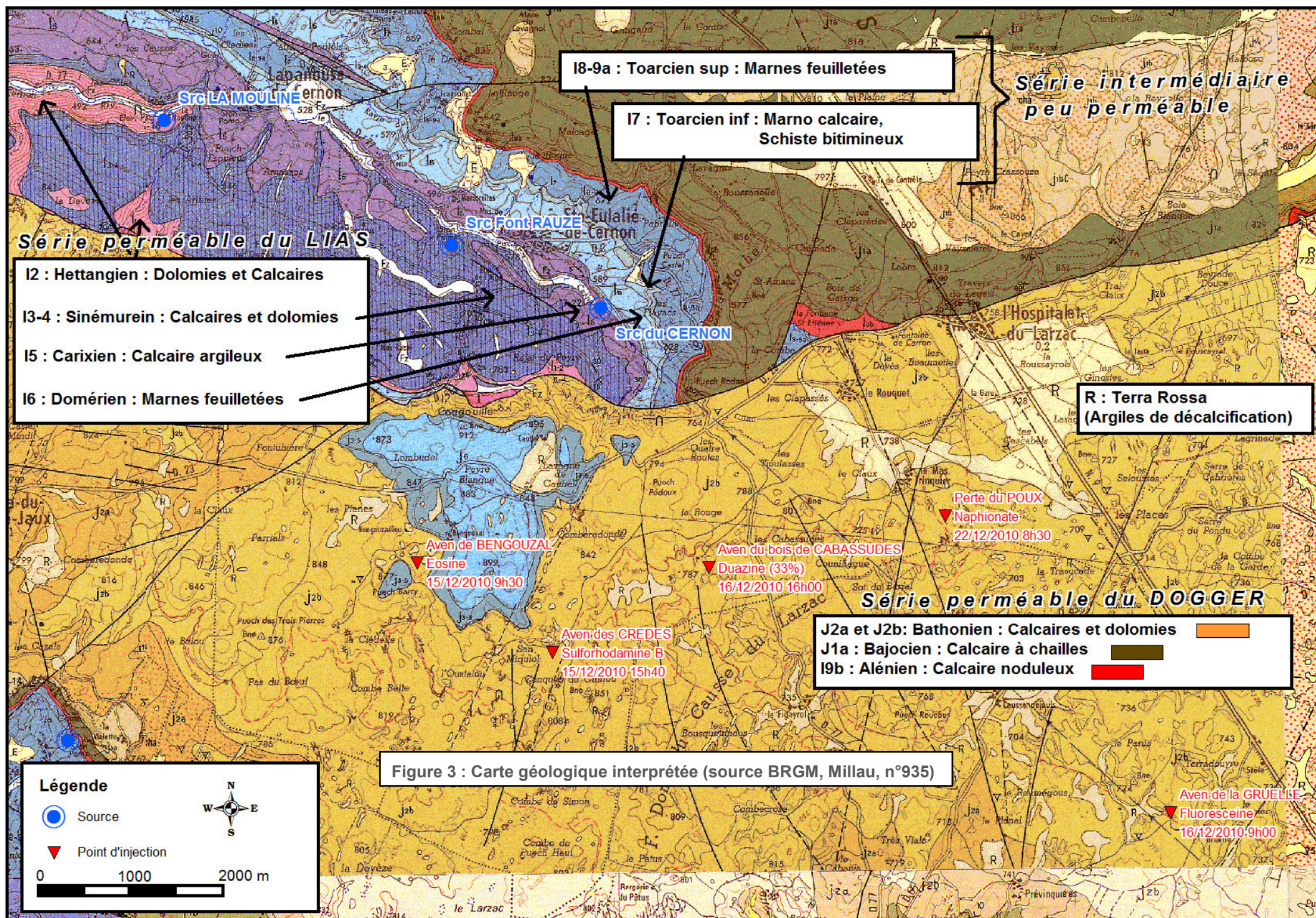
La faille inverse de l'Hospitalet parcourt la carte géologique d'ouest en est. La coupe géologique présentée Figure 2 montre comment les terrains du Nord sont remontés par rapport aux terrains du Sud.

Au sujet de cette faille, une hypothèse est énoncée selon laquelle, les formations perméables du Dogger au Sud seraient en contact avec les formations perméables du Lias au Nord. En conséquence, le développement de réseaux karstiques qui aurait pu être limité par l'interface Toarcienne imperméable semble être rendu possible dans un axe Sud/Nord. On présume que l'alimentation des sources du Cernon et de la Mouline ait été rendu possible par ce contact de faille.

Figure 2 : Coupe géologique du causse de l'Hospitalet-du-Larzac









## 4.2 – HYDROLOGEOLOGIE - SITUATION DES SOURCES SUIVIES

Les sources sont localisées sur la carte géologique précédente :

- Les sources du Cernon : elles affleurent au niveau des formations « I5 » du Carixien. Ces formations peu perméables sont fracturées et permettent l'émergence des sources. Le réservoir de ces sources semble constitué par les formations plus anciennes de l'Hettangien « I1-2 » recoupées par forage à 15 mètres de profondeur.
- La source de la Mouline : située plus en aval dans la vallée du Cernon, la source de la Mouline trouve une résurgence au sein des affleurements de l'Hettangien « I1-2 ».
- La source du Durzon : elle résurge au pied d'un très grand dénivelé de plus de 300 mètres. Sa résurgence se situe dans l'alignement de la faille inverse de l'Hospitalet. A ce niveau, le décalage N/S semble moins important que sur le causse. Il n'en reste pas moins que le fond de la vallée du « Mas Pommier » offre à l'affleurement des formations Sinémuriennes et Hettangiennes calcarifères ayant certainement là encore permis la résurgence de la source du Durzon.
- La source de la Gloriette : il s'agit de la seule source suivie sur la frange Sud du causse. La source de la Gloriette trouve son exsurgence au niveau du hameau de Cornus. L'exsurgence de la source se fait précisément à l'interface entre l'Alénien (calcaire noduleux karstifiable) et le Toarcien (marnes peu perméables). C'est à la faveur de cette différence de perméabilité, que la source de la Gloriette trouve son exsurgence. Celle-ci, contrairement aux trois autres n'est surmontée que par des formations calcaires et dolomitiques karstifiables.

En conclusion, il semblerait que la faille inverse de l'Hospitalet joue un rôle important pour l'alimentation des trois sources du Nord. Elle permettrait un transfert de l'eau à travers toutes les couches géologiques formant le causse du Larzac.

L'alimentation de toutes ces sources semble provenir de la région du causse comprise entre L'hospitalet-du-Larzac, Nant, Cornus et le Viala-du-Pas-de-Jaux. Les traçages réalisés vont permettre de mieux délimiter les frontières d'alimentation entre ces différents systèmes.

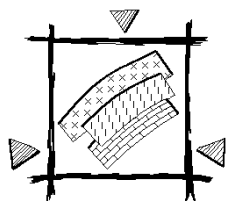
## 4.3 – SITUATION DES POINTS D'INJECTION

La localisation des points d'injection apparaît sur la carte géologique précédente. Tous les points d'injection sont positionnés sur le plateau. Ils concernent tous les formations affleurantes « J2b » du Bathonien supérieur.

Sur le causse, l'épaisseur des formations « J2b » est de l'ordre de 65 mètres. En dessous, la série est complète et reprend avec les formations « J2a », puis le Bajocien, l'Alénien...etc.

Attention, à l'interface entre le Bathonien inférieur et le Bajocien supérieur, il a été reconnu des zones de remplissage par des sables dolomitiques (figuré « J2a » ou « J1b » avec des points rouges sur la carte). Ces formations sont surtout localisées dans l'ouest de la carte, cependant, il est probable que ces interfaces existent de manière plus générale sous la couverture Bathonienne. Ces sables pourraient offrir une forte résistance à l'infiltration des eaux, malheureusement il est généralement impossible de savoir si une cavité injectée débouche sur ce type d'interface.





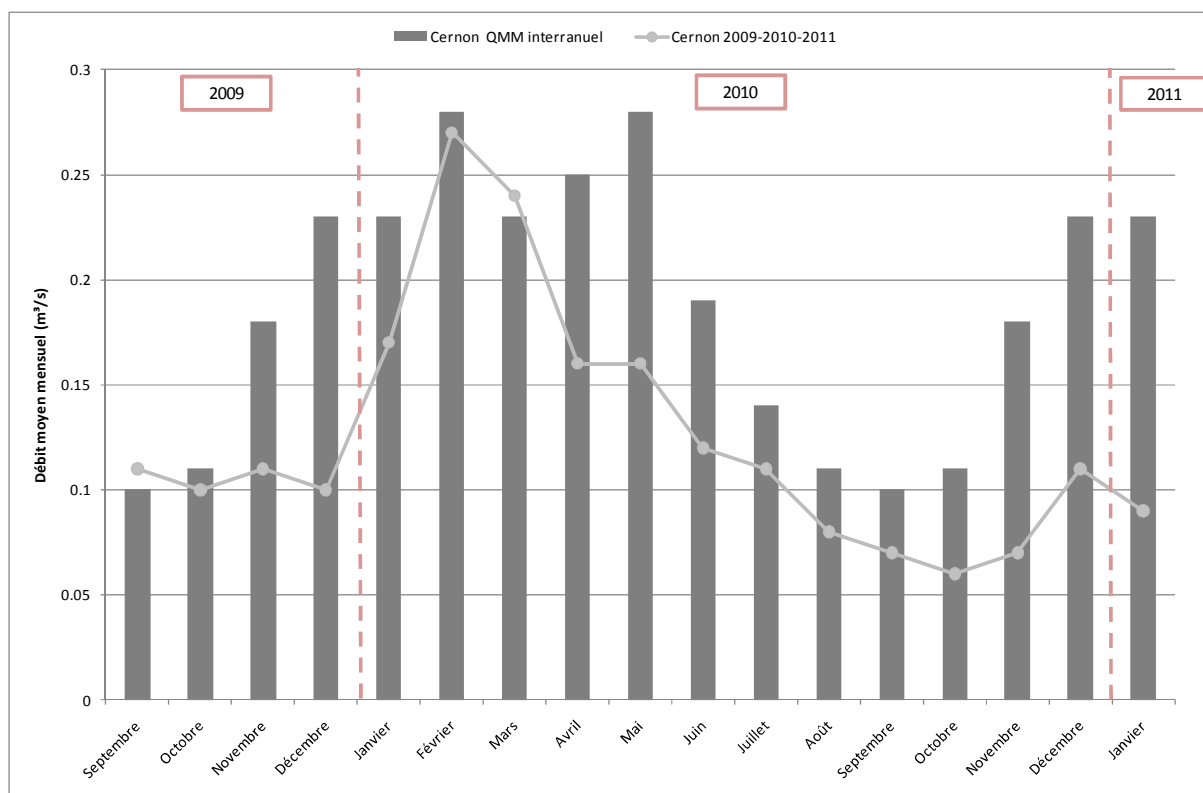
## 5 – LES CONDITIONS DU TRAÇAGES

### 5.1 – CONDITIONS HYDROLOGIQUES DES SOURCES SUIVIES

La période d'injection choisie (mois de décembre) est une période où le karst a tendance à se réalimenter. Il ne s'agit ni d'une période de basses eaux, ni d'une période de hautes eaux.

La Figure 4 montre en exemple sur la source du Cernon, la chronique des débits moyens mensuels 2009-2010 face aux débits moyens mensuels interannuels (ces valeurs sont issues des données de la banque hydro).

Figure 4 : Etat du régime hydrique 2009/2010 au niveau de la source du Cernon



Le fonctionnement est suivant :

- les débits de la source augmentent entre les mois de septembre et février, cette période correspondrait pour le système karstique à une période de recharge.
- Ensuite, du mois de mars au mois d'août, le système se décharge et les réserves sont de plus en plus sollicitées en avançant dans la saison sèche.

Ce schéma de fonctionnement correspond à un régime nival à pluvial pouvant être caractérisé par des crues printanières et/ou automnale. L'ensemble des sources suivies fonctionne sur ce principe.

Sur la chronique de l'année 2010, il faut remarquer que les hautes eaux ont été d'un niveau roche de la moyenne, voire supérieure en mars 2010. A partir du mois d'avril, la décrue fut rapide et montre des débits mensuels inférieurs à la moyenne interannuelle. La remontée des débits à l'automne 2010 s'est faite plutôt lentement et on observe au niveau de la source du Cernon un déficit des débits jusqu'en janvier 2011. Ceci laisse à penser que les réserves du système du Cernon ne soient pas bien reconstituées en cette fin d'année 2010.

Ces mêmes graphiques ont été réalisées pour les autres sources suivies (Cf. Annexe 1). Seules les sources de la Mouline et du Durzon sont présentes un régime 2010 proche des valeurs moyennes interannuelles. Les débits du mois de décembre restent cependant inférieurs de 16 et 33% aux valeurs moyennes.

Les sources de la Gloriette et du Cernon présentent de forts déficits en cet automne 2010 avec des débits au mois de décembre 44% et 56% inférieurs à la moyenne interannuelle.

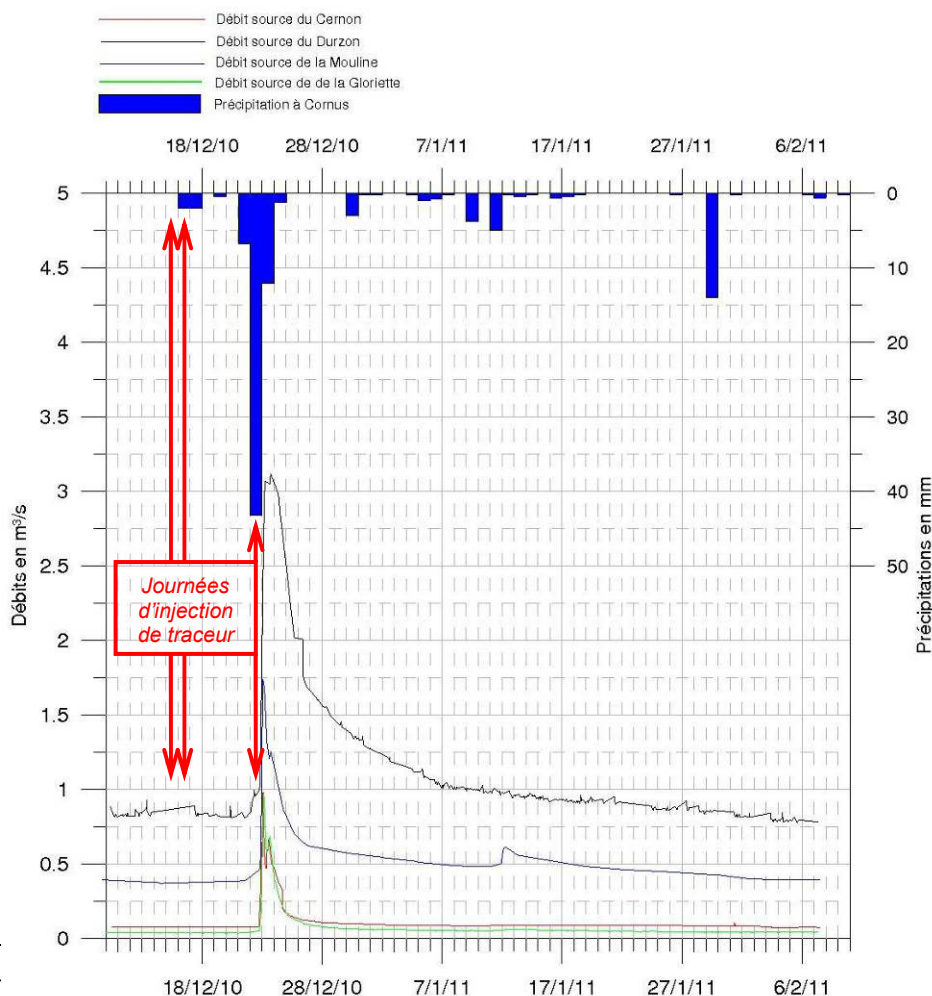
Les conditions hydrologiques du traçage sont donc globalement faibles et correspondent à des basses eaux.

## 5.2 – CONDITIONS METEOROLOGIQUES

La connaissance de la pluviométrie durant la période de traçage, permet de comprendre certains phénomènes de restitution. Nous disposons des données de pluviométrie journalière à la station météorologique de Cornus.

La Figure 5 met en relation les débits des sources et les précipitations journalières entre le 10/12/2010 et le 06/02/2011. Les dates des injections ont été signalées de flèches rouges.

**Figure 5 : Chronique des débits et des précipitations durant la phase de traçage**



L'épisode pluvieux intense des 21 au 23 décembre 2010 (43 mm le 22/12/2010) a été rapidement suivie (moins de 24 heures) d'un épisode de crue au niveau de chaque source. C'est la source de la Mouline qui réagit le plus vite. Le tableau suivant présente une synthèse des caractéristiques de la crue au niveau de chaque source.

**Tableau 10 : Caractéristiques de la crue des sources suivies pendant les traçages**

Source	Débit d'étiage moyen au moment des traçages	Date et Heure de la pointe de la crue	Débit de pointe de la crue	Coefficient de pointe	Durée de la décrue
Durzon	0.875 m <sup>3</sup> /s	23/12/2010 07h00	3.12 m <sup>3</sup> /s	3.6	14 jours
Mouline	0.408 m <sup>3</sup> /s	23/12/2010 01h30	1.74 m <sup>3</sup> /s	4.3	4 jours
Cernon	0.08 m <sup>3</sup> /s 0.115 m <sup>3</sup> /s	23/12/2010 02h00	0.981 m <sup>3</sup> /s	12.3 8,5	2 jours
Gloriette	0.041 m <sup>3</sup> /s	23/12/2010 03h00	0.971 m <sup>3</sup> /s	23.7	2 jours

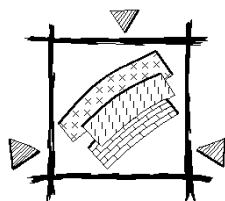
La source du Durzon présente les plus forts débits, suivie de la source de La Mouline, puis celles du Cernon qui peuvent être corrigés à hauteur de 0,115 m<sup>3</sup>/s (débit dérivé dans le canal du moulin).

Suite aux précipitations, l'onde de crue est arrivée en premier au niveau de la source de la Mouline, puis très rapidement au niveau des sources du Cernon et sur la source de la Gloriette. La source du Durzon a montré un pouvoir tampon important avec une onde de crue qui s'est produite 5 à 6 heures plus tard que sur les autres sources.

L'analyse des coefficients de pointe et des durées de décrues peut renseigner sur le type de système karstique en place. Ainsi :

- La source du Durzon a fortement tamponné la crue avec un coefficient des plus faibles et une décrue longue de 14 jours. Ces caractéristiques sont celles d'une zone noyée importante associée à de grandes réserves annexes.
- La source de la Mouline montre elle aussi un fort pouvoir tampon avec un coefficient assez faible. Ceci peut être lié à un grand volume d'eau dans la zone noyée. Par contre, la durée de la décrue est rapide ce qui peut être la conséquence d'un « système annexe au drainage » (SAD) peu développé ou causant de faibles effets retards.
- Les sources du Cernon semblent présenter un coefficient de pointe de l'ordre de 8,5. Celui-ci est moyen comparé aux autres sources. En outre, la durée de décrue est rapide. Ce système semble donc présenter un volume noyé assez important bien que plus faible que pour les deux sources précédentes. Au vue de la durée de la décrue, les transferts semblent assez rapides et avec peu d'effets retards. Un système qui semble donc bien karstifié avec un développement faible des SAD.
- La source de la Gloriette présente un coefficient de pointe très important et une durée de la décrue très courte. Ceci laisse à penser que ce système présente une forte karstification, de faibles effets retards liés aux SAD et un volume noyé peu important.

Globalement, les volumes noyés semblent assez importants pour les trois premières sources et faibles pour la source de la Gloriette. Toutes les sources présentent une forte karstification avec des temps de transferts assez rapides, mais seule la source du Durzon semble être pourvue de systèmes annexes au drainage capables de stocker et de restituer de l'eau sur le long terme.



## 6 – ANALYSE ET INTERPRETATION DES RESULTATS DU TRAÇAGE

Les 5 injections ont été réalisées les 15,16 et 22 décembre 2010. Sur les 5 traceurs injectés, seulement 3 ont été détectés au niveau des sources suivies. Dans ce chapitre, nous allons passer en revue l'injection de chaque traceur et le type de restitution obtenue.

### 6.1 – INJECTION D'EOSINE DANS L'AVEN DE BENGOUZAL

#### 6.1.1 – Résultats

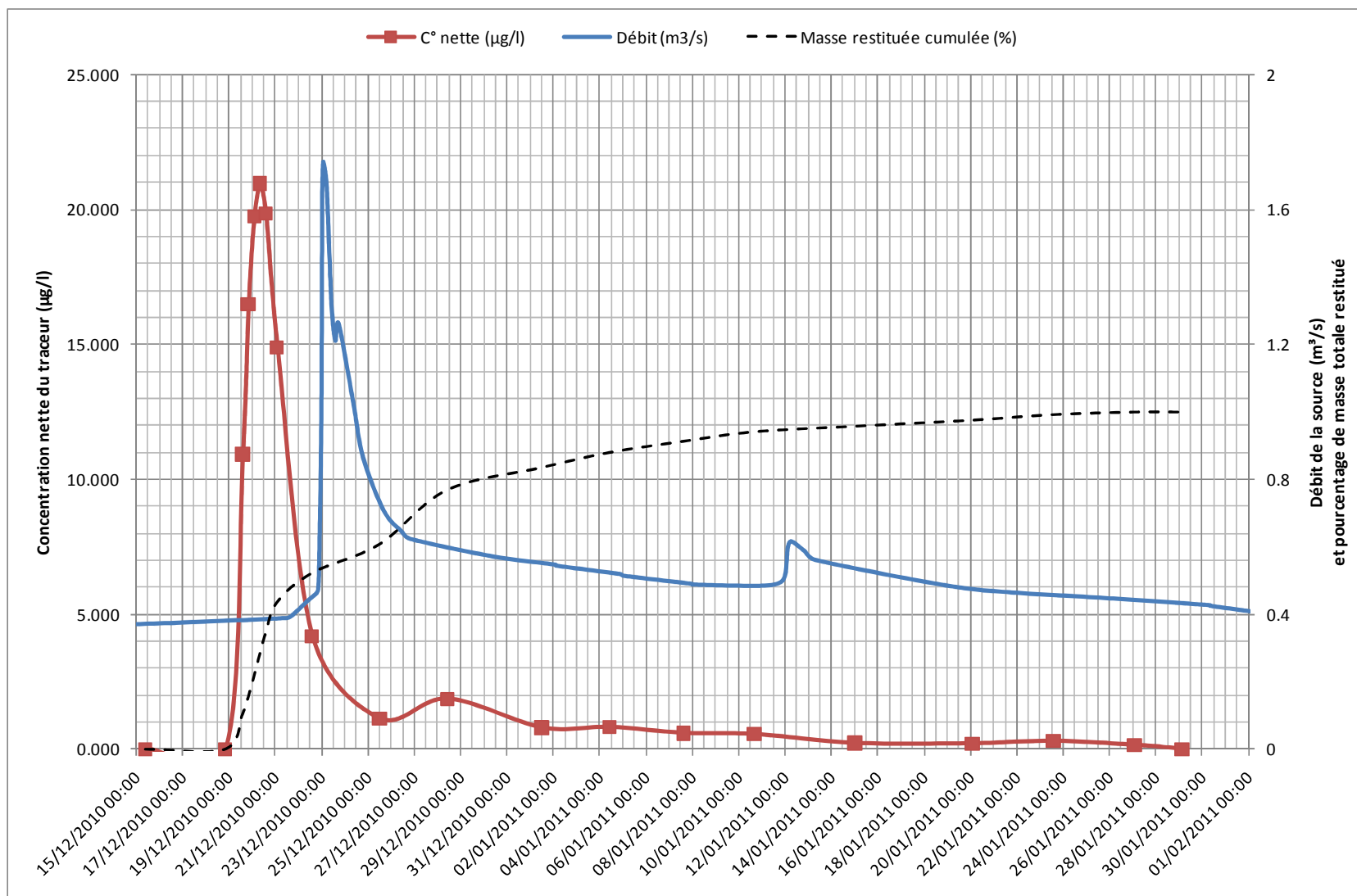
Le traçage à l'Eosine a été effectué le 15/12/2010 à 9h30 dans l'aven de Bengouzal. La restitution du traceur a débuté 4 jours plus tard le 19/12/2010 au niveau de la source de la Mouline. Le Tableau 11 synthétise les caractéristiques de ce traçage et certains résultats obtenus.

Tableau 11 : Traçage à l'Eosine : Synthèse et résultats

Source de la Mouline		
Condition d'injection	Date d'injection	15/12/2010 09:30
	Lieu d'injection	Aven de Bengouzal
	Distance à la source	5400 m
	pente géographique	6 %
	Traceur	Eosine
	Masse injecté	9500 g
Restitution	Date de première arrivée	19/12/2010 14:00
	Masse restituée	2560 g
	Taux de restitution	27 %
	Débit moyen tracé	0.392 m³/s
Analyse de restitution	Temps de séjour moyen	12.2 j
	Facteur de dilution	4E-05
	Taux de dilution unitaire	2E-09 l-1
	DTS max	3E-06 s-1
	Vitesse max	54 m/h
	Vitesse modale	46 m/h
	Vitesse moyenne	35 m/h

Sur les 9,5 kg de traceur dilué et injecté dans l'aven, 2560 g ont été restitués à la source de la Mouline. La Figure 6 présente la courbe de restitution du traceur en parallèle de la chronique de débit prise en compte. La courbe en pointillés présente le cumul de la masse totale restituée.

Figure 6 : Courbe de restitution de l'Eosine au niveau de la source de la Mouline



### 6.1.2 – Discussion

Le pic de restitution a eu lieu le 20/12/2010 au matin, bien avant la crue de la source. Il faut remarquer qu'à l'arrivée de cette crue, plus de 50% de la masse totale a été restituée. Durant la crue, la courbe de masse cumulée montre un léger creux. Il semblerait que la restitution de traceurs soit momentanément ralentie (peut être le signe que le système karstique stocke dans des systèmes annexes au drainage). La restitution reprend fortement en décrue puis montre une asymptote jusqu'à la fin de la restitution le 20/01/2011.

Le taux de restitution global est de 27% :

- c'est un résultat correct pour un traçage en système karstique naturel. L'arrivée rapide et concentrée montre que le traceur n'a pas été particulièrement ralenti dans des poches d'eaux où l'infiltration est plus lente.
- comment expliquer le manque de restitution ? Les hypothèses sont multiples :
  - le traceur peut être sorti en d'autres points non suivis du système (le trop plein de Font Rauze par exemple, où de petites sorties comme des griffons en fond de rivière).
  - Une partie du traceur peut avoir été dévié vers des systèmes annexes au drainage (SAD) lors de la crue de la Mouline. La restitution se fera alors progressivement et sur une longue durée, lorsque ce SAD sera sollicité à nouveau. Le fait que la queue de restitution du traceur soit assez longue (1 mois) peut être un argument en faveur de cette hypothèse.
  - Une autre conséquence de ce phénomène est la très forte dilution du traceur, ça concentration en restitution peut alors être inférieure aux limites de détection des appareils de laboratoire.
  - Une partie du traceur peut avoir été adsorbée<sup>1</sup> dans des poches d'argiles.
  - Une partie du traceur peut être resté sur les parois sèches lors de l'injection.
  - Une sous estimation des débits peut être également la cause d'une sous-estimation des masses restituées.

Les vitesses de transit sont assez rapides (vitesse maximum de 54 m/h en accord avec la bibliographie ((Ricard & Bakalowicz, 1996, BRGM R38953)), ce qui témoigne d'un système bien karstifié, d'autant plus que les transferts majoritaires ont eu lieu hors période de crue. La longueur de la queue de restitution semble témoigner d'un stockage et d'une restitution lente au travers de systèmes annexes au drainage.

Le taux de dilution minimal calculé est de  $4 \cdot 10^{-5}$ , ce qui implique que 1 litre de solution initiale a été dilué dans 25 m<sup>3</sup> d'eau. Soit pour 20 m<sup>3</sup> injectés, un volume diluant de 500 000 m<sup>3</sup> d'eau.

Le taux de dilution unitaire renseigne sur la concentration qui pourrait être attendu à l'exutoire pour un polluant déversé dans es mêmes conditions « optimales ». Dans ces conditions, pour 1kg de polluant, la concentration attendue à l'exutoire serait de 2µg/l. S'il s'agit d'n produit phytosanitaire, cette valeur est 20 fois supérieure à la norme, indiquant donc une vulnérabilité de la source de la Mouline.

---

<sup>1</sup> Adsorption : phénomène de liaisons chimique de gros cations sur des éléments présentant de grande surface d'échange (des argiles par exemple)

## 6.2 – INJECTION DE NAPHTIONATE A LA PERTE DU POUX

### 6.2.1 – Résultats

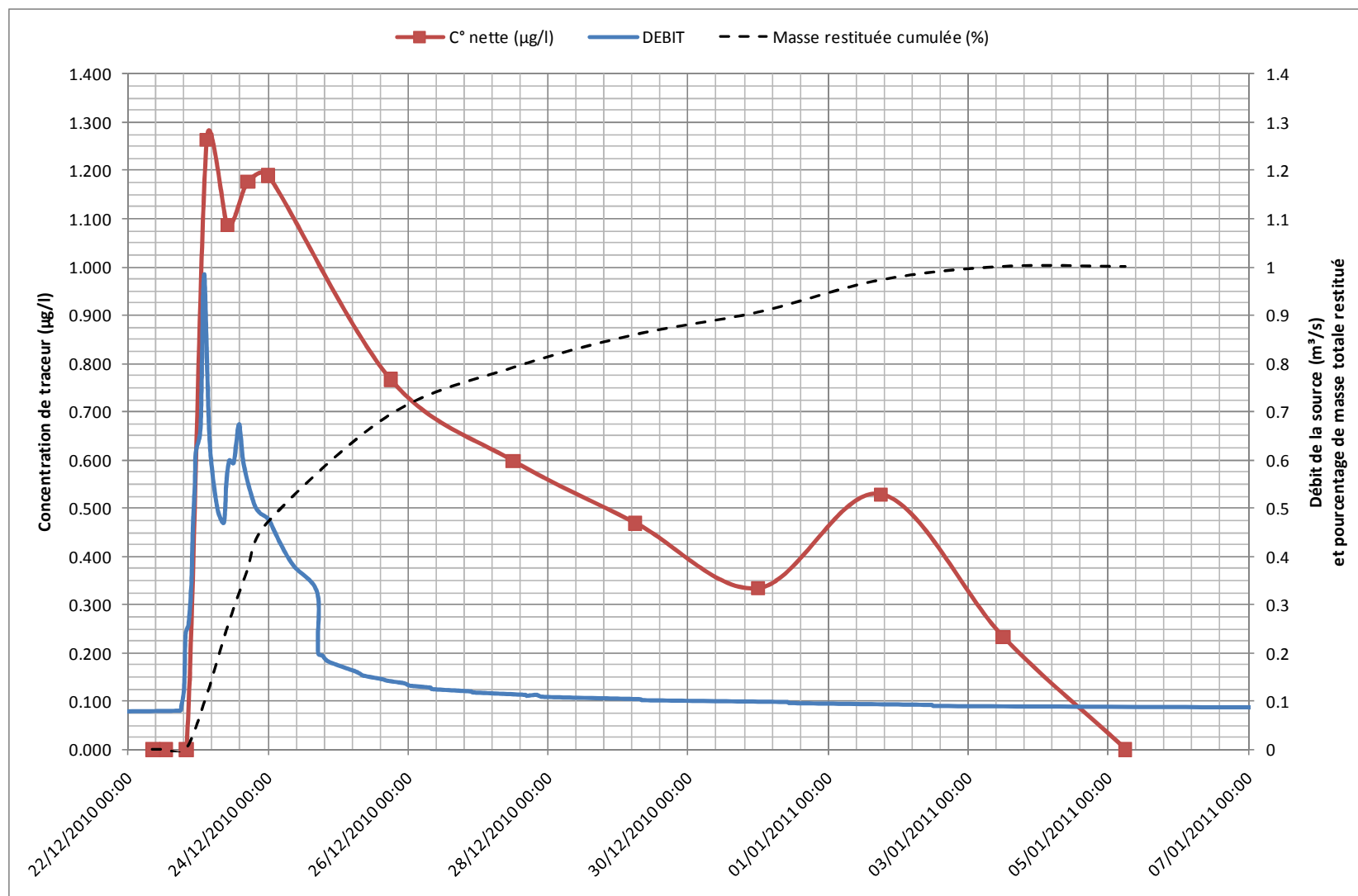
Le traçage au Naphtionate a été effectué le 22/12/2010 à 8h30 dans la perte du Poux. La restitution du traceur a débuté dès le lendemain, le 23/12/2010 pendant la nuit au niveau des sources du Cernon. Le Tableau 12 synthétise les caractéristiques de ce traçage et certains résultats obtenus.

**Tableau 12 : Traçage au Naphtionate : Synthèse et résultats**

Source du Cernon		
Condition d'injection	Date d'injection	22/12/2010 08:30
	Lieu d'injection	Perte du Poux
	Distance à la source	4300 m
	pente géographique	3 %
	Traceur	Naphtionate
	Masse injecté	15000 g
Restitution	Date de première arrivée	23/12/2010 03:00
	Masse restituée	154 g
	Taux de restitution	1 %
	Débit moyen tracé	0.189 m³/s
Analyse de restitution	Temps de séjour moyen	3.7 j
	Facteur de dilution	2E-06
	Taux de dilution unitaire	8E-11 l-1
	DTS max	8E-06 s-1
	Vitesse max	232 m/h
	Vitesse modale	232 m/h
	Vitesse moyenne	125 m/h

Sur les 15 kg de traceur dilué et injecté dans la perte, seulement 154 g ont été restitués aux sources du Cernon. La Figure 7 présente la courbe de restitution du traceur en parallèle de la chronique de débit prise en compte. La courbe en points-tillé présente le cumul de la masse totale restituée.

Figure 7 : Courbe de restitution du Naphtionate au niveau de la source du Cernon





## 6.2.2 – Discussion

Le pic de restitution a eu lieu le 23/12/2010 à 3h00 du matin, simultanément au pic de crue de la source. La restitution à elle même commencée avec la crue de la source. Un deuxième pic de concentration est observé dans la journée du 23 décembre, parallèlement à un 2<sup>ème</sup> pic de crue. Ensuite, la concentration en traceur diminue jusqu'au 31 décembre. Un dernier pic de restitution a lieu entre le 1<sup>er</sup> et le 2 janvier.

Du point de vue du flux massique, les arrivées sont concentrées sur les 4 premiers jours, simultanément à la crue où 75% du traceur est restitué. La restitution se poursuit ensuite pendant 9 jours mais avec un faible flux.

Le taux de restitution global est seulement de 1% :

- c'est un résultat très faible qui s'oppose aux vitesses rapides qui ont été mises en jeu pour l'arrivée du traceur.
- comment expliquer le manque de restitution :
  - Le traceur utilisé, le naphthionate, présente généralement de faibles taux de restitution. Son seuil de détection de 0,1 µg/l est 100 fois plus élevé que celui des autres traceurs.
  - une concentration faible du traceur durant la restitution. Ces faibles concentrations sont la conséquence d'une forte dilution du traceur dans la zone noyée ou lors de la crue dans le flux d'eaux météoriques.
  - Une partie du traceur peut avoir été retenu dans des poches d'argiles.
  - Une partie du traceur peut être resté piégé dans les SAD. L'injection peut avoir été réalisée dans un de ces SAD ou le phénomène de crue du système peut avoir conduit à un stockage d'eau dans les SAD. Il peut en résulter deux phénomènes :
    - Dilution importante du traceur pouvant conduire à une concentration inférieure au seuil de détection de l'analyse en laboratoire.
    - Piégeage et restitution sur le long terme du traceur.

Ces deux hypothèses restent peu probables, car la restitution est courte, concentrée sur 10 jours.

- Le traceur a pu être restitué en d'autres exutoires, ou avoir été transféré vers une autre masse d'eau. L'hypothèse est ici peut probable, considérant que la station hydrométrique du PNR des Grands Causses mesure les débits de l'ensemble de la tête de bassin versant du Cernon.

Les vitesses de transit sont très rapides (vitesse maximum de 232 m/h), ce qui témoigne d'un système bien karstifié présentant des transferts rapides en crue. Il ne semble pas y avoir eu de stockage dans les SAD. Cependant, le taux de restitution est très faible. Il est probable que la dilution du traceur et les méthodes de dosage du naphthionate ne permettent de bons taux de restitution.

Nb : les vitesses trouvées dans ce traçage sont bien supérieures (5 fois plus rapide) que celle déterminée lors du traçage de l'Aven du Rouquet en décembre 1995 (Ricard & Bakalowicz, 1996, BRGM R38953).

Le taux de dilution minimal calculé est de  $2 \cdot 10^{-6}$ , ce qui implique que 1 litre de solution initiale a été dilué dans 500 m<sup>3</sup> d'eau. Soit pour 20 000 litres injectés, un volume diluant de 10 millions de mètres cubes d'eau.

D'une manière plus claire, le taux de dilution unitaire indique la concentration que peut atteindre un polluant à la source en fonction de la masse déversée de ce polluant. Ici, ce taux est de  $8.10^{-11} \text{ l}^{-1}$ . Ainsi, pour 1kg de produit phytosanitaire déversé dans la perte du Poux, la concentration à l'exutoire serait de 0,08 µg/l. Dans ces conditions « optimale » de déversement, cette concentration ne dépasse pas le seuil de potabilité de 0,1 µg/l. Dans ces conditions les sources du Cernon présenteraient une faible vulnérabilité.

## 6.3 – INJECTION DE FLUORESCÉINE DANS L'AVEN DE LA GRUELLE

### 6.3.1 – Résultats

Le traçage à la Fluorescéine a été effectué le 16/12/2010 à 9h00 dans l'aven de la Gruelle. La restitution du traceur s'est effectuée au niveau de deux sources suivies :

- La Gloriette, 7 heures après l'injection, restitution très faibles et très courte.
- Le Durzon, 5 jours après l'injection, restitution assez importante, sur 1 mois plein.

Les tableaux 13a et 13b résument les caractéristiques de ces restitutions.

Nb : A la suite d'une erreur technique, une série d'échantillon n'a pas été prélevée au niveau de la source de la Gloriette. Après analyse, ces échantillons devaient contenir de la fluorescéine. Les valeurs manquantes ont été interpolées entre les deux valeurs connues. Les valeurs interpolées sont reconnaissables sur la Figure 8.

Sur les 16 kg de fluorescéine injectés, une très faible portion a été restituée au niveau de la source de la Gloriette. Et 834 grammes ont été restitués au niveau de la source du Durzon.

**Tableau 13 : Traçage à la Fluorescéine : a) restitution à la Gloriette, b) restitution à la source du Durzon**

a) Source de la Gloriette		
Condition d'injection	Date d'injection	16/12/2010 09:00
	Lieu d'injection	Aven de la Gruelle
	Distance à la source	3800 m
	pente géographique	0 %
	Traceur	Fluorescéine
	Masse injecté	16000 g
Restitution	Date de première arrivée	16/12/2010 16:10
	Masse restituée	22 g
	Taux de restitution	0,14 %
	Débit moyen tracé	0.165 m³/s
Analyse de restitution	Temps de séjour moyen	7.6 j
	Facteur de dilution	2E-07
	Taux de dilution unitaire	1E-11 l-1
	DTS max	4E-06 s-1
	Vitesse max	530 m/h
	Vitesse modale	17 m/h
	Vitesse moyenne	22 m/h

<b>b) Source du Durzon</b>		
Condition d'injection	Date d'injection	16/12/2010 09:00
	Lieu d'injection	Aven de la Gruelle
	Distance à la source	7900 m
	pente géographique	2 %
	Traceur	Fluorescéine
	Masse injecté	16000 g
Restitution	Date de première arrivée	22/12/2010 00:00
	Masse restituée	834 g
	Taux de restitution	5 %
	Débit moyen tracé	1.052 m³/s
Analyse de restitution	Temps de séjour moyen	22.6 j
	Facteur de dilution	5E-07
	Taux de dilution unitaire	2E-11 l-1
	DTS max	5E-07 s-1
	Vitesse max	59 m/h
	Vitesse modale	21 m/h
	Vitesse moyenne	17 m/h



Figure 8 : Courbe de restitution de la Fluorescéine au niveau de la source de la Gloriette

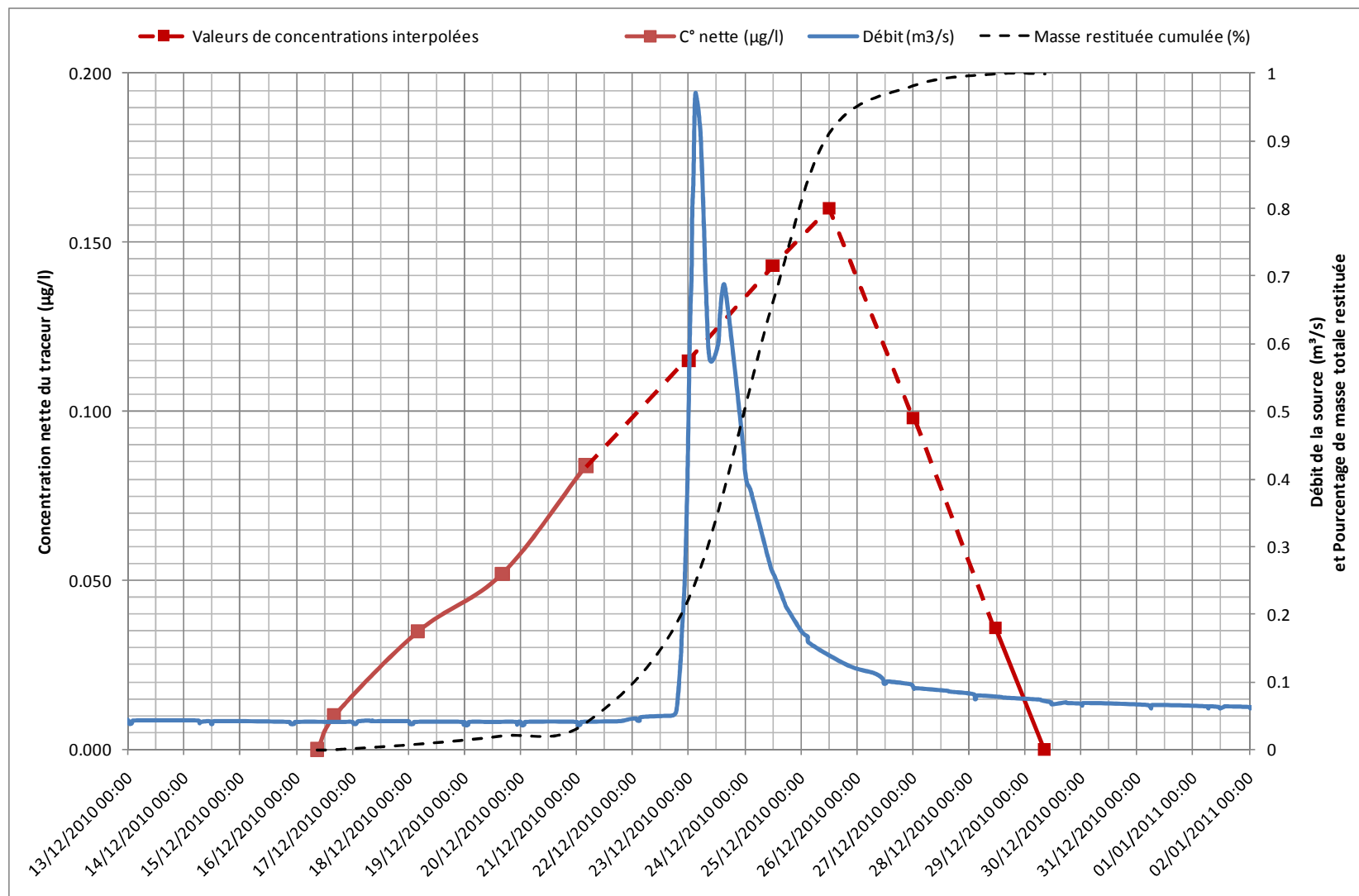
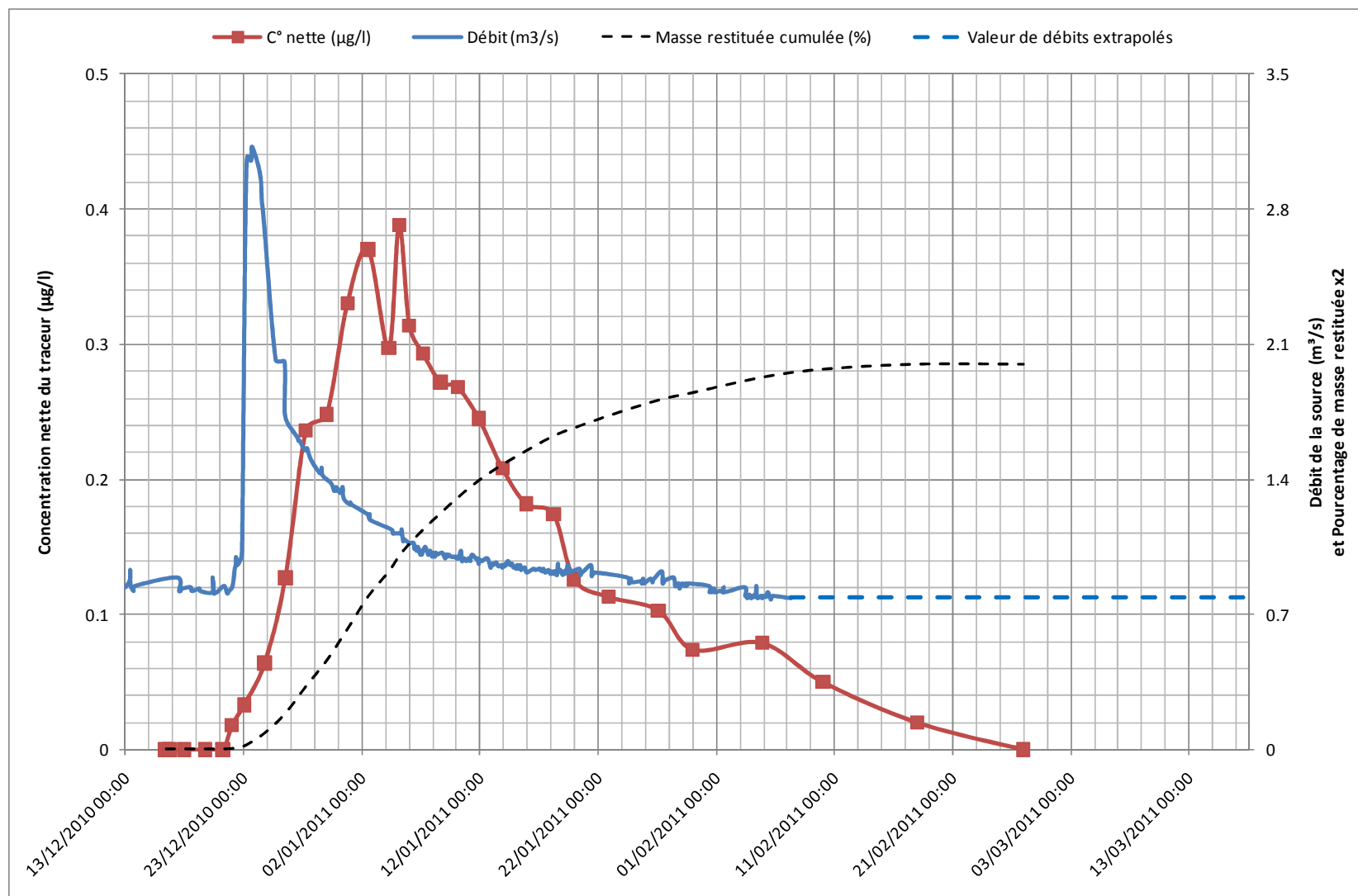


Figure 9 : Courbe de restitution de la Fluorescéine au niveau de la source du Durzon



### 6.3.2 – Discussion

#### **A - Restitution de fluorescéine à la source de la Gloriette**

La fluorescéine a débuté sa restitution le 16/12/2010 vers 16 heures, soit 7 heures après l'injection. Ce transfert est extrêmement rapide et donne une vitesse maximum de plus de 500 m/h. La restitution est mesurée croissante sur les 5 journées suivantes. Le préleveur automatique n'a pas fonctionné pour la série d'échantillon suivante. Une lacune de 7 jours conduit à mesurer un échantillon positif mais de teneur moins élevée que la dernière mesure. La présence de la crue de la source entre temps conduit à penser qu'un pic de restitution a eu lieu durant ces 7 jours de lacunes.

L'extrapolation des pentes du début et de la fin de la restitution donnent la pointe de la restitution le 25/12/2010 à 12h. La vitesse modale est alors estimée à 17 m/h et une vitesse moyenne de 22 m/h.

La restitution au niveau de la gloriette a débuté rapidement, mais avec une pente faible. De même, les concentrations mesurées sont restées faibles ( $<0,1 \mu\text{g/l}$ ). En ajoutant le fait que la période de restitution a été de courte durée (moins de 15 jours), on comprend que la masse totale restituée soit restée faible (22 grammes) et ait donné un taux de restitution peu significatif de 0,14%.

Il semblerait qu'il existe une connexion directe entre cet aven et la source, ce qui expliquerait les fortes vitesses de première arrivée. Cependant, les faibles concentrations et le faible taux de restitution trouvés semblent montrer que cette liaison est peu efficace (stockage et diffusion lente du traceur).

#### **B - Restitution de la fluorescéine à la source du Durzon**

La restitution majoritaire de la fluorescéine a eu lieu au niveau de la source du Durzon. La distance parcourue est importante (7,9 km). La restitution totalise 834 grammes, soit un taux de 5%.

La restitution a débutée le 22/12/2010 00:00, soit 8 jours après l'injection. La vitesse maximale de 59 m/h est médiane comparée aux traçages réalisés en octobre 94 et mars 95 (**C Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

La comparaison des vitesses moyennes est très proche des résultats obtenues avec le traçage de l'aven des places (24 m/h en 1995, contre 21 m/h pour notre traçage).

La forme de la restitution est assez étalée. Le pic est arrivé 16 jours après le début de restitution et 8 jours après le pic de crue. Le traceur ne semble donc pas avoir été directement entraîné par l'onde de crue. Il arrive de manière retardée comme s'il avait été stocké dans un système annexe puis restitué en faible concentration au moment de la décrue.

Le taux de dilution unitaire permet de rendre compte de la concentration attendue à la source d'un polluant injecté dans les mêmes conditions. Sur la source du Durzon, 1kg de polluant injecté dans l'aven de la Gruelle pourrait entraîner une concentration de  $0,02 \mu\text{g/l}$  à la source. S'il s'agit de produits phytosanitaires, la limite de potabilité de  $0,1 \mu\text{g/l}$  ne serait donc pas atteinte.



## 6.4 – INJECTION DE SULPHORHODAMINE B DANS L'AVEN DES CREDES

Tableau 14 : Traçage à la Suforhodamine B

Pas de restitution		
Condition d'injection	Date d'injection	15/12/2010 15:40
	Lieu d'injection	Aven des Crèdes
	Traceur	Sulforhodamine B
	Masse injecté	10000 g

L'injection de la Sulforhodamine B a été réalisée dans l'après midi du 15 décembre 2010. Les 10 kilogrammes de traceur ont été dilués dans deux poubelles de 70 litres. Ce mélange très concentré est déversé au travers d'une gaine plastique en Ø100 mm et d'une longueur de 60 mètres qui a été préalablement descendu et placé au point le plus profond de l'aven. Suite à l'injection, le traceur est poussé par l'injection de deux citernes d'eau de 10 m³.

L'injection d'eau a montré au départ une bonne infiltration, puis le fond de la cavité a commencé à se mettre en charge. La deuxième citerne d'eau a été injectée dans l'aven, créant une mise en charge supplémentaire.

L'infiltration au fond de l'aven des Crèdes est mauvaise. Cet aven semble correspondre à une diaclase élargie, montrant cependant des traces d'anciennes activités (concrétions calcaires, trace d'érosion).

Il est probable que le traceur est été bloqué dans cet aven et que l'infiltration vers la zone noyée ce soit faite très lentement. Dans ces conditions, deux phénomènes ont pu être la cause de l'échec de ce traçage :

- Adsorption forte du traceur dans les argiles et les zones sèches de la zone non saturée,
- Infiltration lente et très forte dilution dans la zone noyée, au point que les teneurs en traceur aient été inférieures au seuil de détection en laboratoire.

## 6.5 – INJECTION DE DUAZINE DANS L'AVEN DU BOIS DE CABASSUDES

Tableau 15 : Traçage à la Duazine

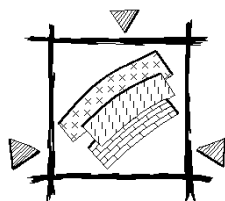
Pas de restitution		
Condition d'injection	Date d'injection	16/12/2010 16:00
	Lieu d'injection	Aven du bois de Cabassudes
	Traceur	Duazine (33%)
	Masse injecté	36000 g

Le protocole d'injection fut le même que pour les autres points. La Duazine a été préalablement versé au travers de la gaine placée au fond de l'aven. Une citerne d'eau de 10 m³ a ensuite été déversée au travers de la gaine pour pousser le traceur. La deuxième citerne n'a pu être injectée car les conditions météorologiques se sont fortement dégradées.

Le lendemain, il a pu être vérifié que les 10 000 litres injectés se sont infiltrés au-delà de la partie pénétrable de la cavité. Ce traçage n'a pourtant pas fonctionné. Cette cavité semble

correspondre a une fracture de surface (diacalse) ayant permit une ouverture visitable sur 20 mètres de profondeur. Les eaux se sont infiltré au-delà, mais rien ne nous dit que cette cavité ne soit pas colmatée ou se termine en biseau dans une zone légèrement plus profonde.

Le traceur aura certainement été bloqué dans cette cavité et il se sera fixé sur les parois ou aura rejoint la zone noyée de manière trop diffuse pour permettre la détection d'un signal à l'exutoire.



## 7 – BILAN ET PERSPECTIVES

### 7.1 – ANALYSE COMPAREE DES RESTITUTIONS

#### 7.1.1 – Synthèse globale

Globalement, les traçages réalisés ont donnés des résultats moyens. Seulement trois traceurs sur cinq ont été recueillis à la sortie. Lorsqu'il y a eu restitution, les taux se sont avérés faibles, 27% au maximum à la source de la Mouline et pas plus de 5% de restitution au niveau de la source du Durzon, moins encore au niveau des sources du Cernon.

Plusieurs facteurs peuvent être responsables de ces mauvaises restitutions :

- Mauvais choix des points d'injection : l'échec de l'injection de sulforhodamine B est lié à un mauvais choix de la cavité injectée. L'aven des Crèdes ne semble pas avoir permis une infiltration suffisante du traceur pour qu'il soit détecté à l'un des exutoires.
- Moindre efficacité de certains traceurs : Certains traceurs comme la fluorescéine, la sulforhodamine ou l'éosine sont couramment utilisés et considérés comme de bons traceurs. Leur fluorescence permet une détection à de très faibles concentrations (Cf. Tableau 1). Les traceurs comme le naphthionate ou la duazine sont plus difficiles à détecter. Ils présentent de bons résultats lorsqu'ils sont injectés dans une cavité active.

*Nb : Nous pensons que l'échec de l'injection de Duazine est liée à la fois à une cavité faiblement connectée et à un traceur qui est difficile à détecter lorsqu'il est fortement dilué.*

- Période d'injection non optimale : les injections ont été réalisées au début du mois de décembre 2010. Cette période fait suite à la période d'étiage des systèmes karstique. **Les réserves sont amenuisées et le système est dans une phase de renouvellement du stock.** Dans ces conditions, il est probable qu'une partie des traceurs injectés ait été déviée vers les systèmes annexes. Ces traceurs auront été fortement dilués ou piégés à long termes pour une restitution diffuse et beaucoup plus tardive.

Le retour d'expérience montre que les injections réalisées suite aux hautes eaux (de mai à juillet-août) présentent de meilleurs résultats. Dans ces conditions, le karst se « purge » et tout traceur atteignant la zone noyée aura le maximum de chance pour rejoindre l'exutoire.

*Nb : Il faut noter que les fortes pluies du 22 décembre ont eu à la fois un impact positif en activant le transit de certains traceurs (naphthionate vers le Cernon et certainement fluorescéine vers le Durzon), mais à aussi certainement conduit à un stockage important des eaux météoriques vers des systèmes annexes.*



Le Tableau 16 page suivante récapitule les paramètres des restitutions obtenues.

Le traçage le plus efficace aura été celui de la source de la Mouline à partir de l'Aven de Bengouzals. Le taux de restitution de 27% est correct et la vitesse moyenne du traceur (35 m/h) est en accord avec les vitesses obtenues sur le traçage de l'aven de la Clédelle en 1994 (Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Le traçage de l'aven de la Gruelle a montré une connexion probable avec la source de la Gloriette à Cornus. Cependant, le gros du traceur semble avoir rejoint le système de la source du Durzon. Le taux de restitution est faible (5%) mais présente un profil de restitution étalé et des vitesses cohérentes avec les traçages réalisés antérieurement (Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

La restitution de naphthionate observée au niveau de la source du Cernon présente des caractéristiques surprenantes. L'injection a été faite quelques heures avant le début des intempéries. Ils emblerait que celles-ci aient conduit à des vitesses de transit extrêmement rapides et a première vue peu cohérentes avec les vitesses de traçages obtenues précédemment (Cf. **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Au terme de ce prompt épisode, le taux de restitution global est lui très faible (1%). Une grande partie du traceur n'a pas été détectée. A-t-il été stocké dans des systèmes annexes ? A-t-il été restitué ailleurs ? Ou a-t-il été si fortement dilué que l'analyse n'a pas permis sa mesure ?

Sur ces quatre sources tracées, celles du Cernon, celle de la Gloriette et celle du Durzon présentent des taux de dilution unitaire de l'ordre de  $10^{-11} \text{ l}^{-1}$ . La source de la Mouline quand présente une plus faible dilution. On pourrait donc conclure qu'en cas de pollution, la source de la Mouline est plus vulnérable que les trois autres sources et que son réseau noyée est de moindre volume. Cependant, il faut ici remarquer que la restitution du traceur à la Mouline n'a pas été affectée par l'épisode de crue qui est arrivé après. Ainsi, les conditions de dilution du traceur n'ont pas été identiques d'une source à l'autre.

Tableau 16 : Synthèse des résultats de restitution

Condition d'injection	Lieu d'injection		Aven de Bengouzal	Perte du Poux	Aven de la Gruelle	
	Date d'injection		15/12/2010 09:30	22/12/2010 08:30	16/12/2010 09:00	
	Lieu de la restitution		Source de la Mouline	Source du Cernon	Source de la Gloriette	Source du Durzon
	Distance à la source	m	5400	4300	3800	7900
	pente géographique	%	6	3	0	2
	Traceur		Eosine	Naphtionate	Fluorescéine	Fluorescéine
	Masse injecté	g	9500	15000	16000	16000
Restitution	Date de première arrivée		19/12/2010 14:00	23/12/2010 03:00	16/12/2010 16:10	22/12/2010 00:00
	Masse restituée	g	2560	154	22	834
	<b>Taux de restitution</b>	%	<b>27</b>	<b>1</b>	<b>0.14</b>	<b>5</b>
	Débit moyen tracé	m³/s	0.392	0.189	0.165	1.052
Analyse de restitution	Temps de séjour moyen	j	12.2	3.7	7.6	22.6
	Facteur de dilution		4E-05	2E-06	2E-07	5E-07
	<b>Taux de dilution unitaire</b>	<b>I-1</b>	<b>2E-09</b>	<b>8E-11</b>	<b>1E-11</b>	<b>2E-11</b>
	DTS max	s-1	3E-06	8E-06	4E-06	5E-07
	Vitesse max	m/h	54	232	530	59
	Vitesse modale	m/h	46	232	17	21
	<b>Vitesse moyenne</b>	<b>m/h</b>	<b>35</b>	<b>125</b>	<b>22</b>	<b>17</b>

### 7.1.2 – Analyse des courbes de DTS

Reconsidérons l'interprétation des débits de crues, apportée au chapitre 5.2 – . Nous avons conclu à trois types de sources :

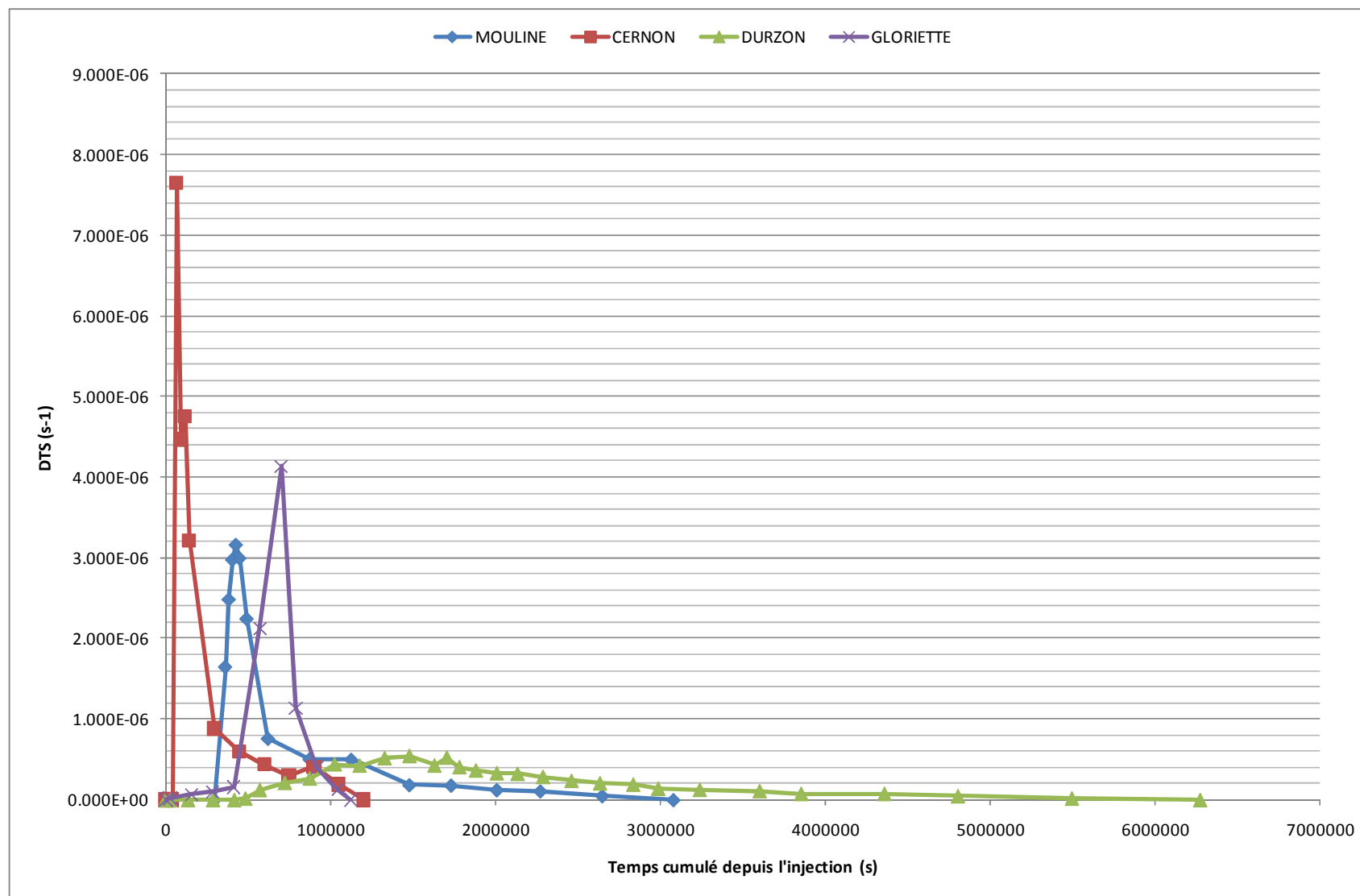
- La source du Durzon possédant un fort volume tampon et une grande capacité de réserve permettant une restitution lente des eaux de la crue.
- Les sources du Cernon et de la Mouline, ayant les mêmes caractéristiques, mais moins développées.
- La source de la Gloriette ayant peu de capacité tampon liée à son volume noyé et certainement peu de capacité de stockage.

La Figure 10 propose l'analyse comparée des courbes de DTS (distribution des temps de séjour) pour cette campagne de traçage. La courbe de DTS est affranchie des masses restituée et rend purement compte du type de restitution observé. On distinguera ici 3 type de comportement :

- La source du Durzon présente une restitution très étalée et avec peu d'amplitude. Ceci semble caractéristique d'une injection dans un système annexe qui restituerait petit à petit la masse de traceur injecté. La faible amplitude serait liée à la diffusion du traceur vers différentes masses d'eau atteignant la sortie. **Ceci corrobore les observations précédentes et fait du Durzon la source la plus puissante et présentant le réseau de drainage le plus développé des quatre étudiées.**
- A l'opposé, les sources du Cernon et celle de la Gloriette présentent des courbes très intenses, mais de courtes durées. Ces deux restitutions ont eu lieu simultanément à la crue, le traceur étant disponible pour être restitué intensément et rapidement à la source. Il s'agirait de systèmes bien karstifiés et ne présentant peu de capacité de stockage, entraînant des effets retards. Ceci correspond à la définition faite de la source de la Gloriette.  
Cependant, dans le cas où l'injection aurait eu lieu dans un drain ou proche d'un drain principal du système karstique, ce type de transfert aurait tout lieu d'être. Il est probable que ce soit le cas de l'injection dans **la perte du Poux, qui se trouverait proche d'un drain du système des sources du Cernon.**
- La source de la Mouline présenterait des caractéristiques médianes comparées à ces dernières. La restitution fut allongée, caractérisant une certaine capacité de stockage/restitution. L'injection dans l'aven de Bengouzs aura certainement atteint un système annexe. Par contre, l'intensité de la restitution présage d'une faible diffusion du traceur. **Le système de la Mouline semble donc être bien karstifié, présentant une capacité stockage intéressante (ceci expliquerait le fort débit moyen de cette source), mais dont les masses d'eau se concentrent vers un seul et même exutoire majoritaire.**



Figure 10 : Analyse comparée des courbes de DTS



## 7.2 – APPORT DES TRAÇAGES DANS LA DEFINITION DES BASSIN D'ALIMENTATION DES SOURCES

La campagne de traçage réalisée a permis de relier trois points d'injection à au moins trois sources différentes :

- L'aven de Bengouzals est lié à la source de la Mouline. Cet aven semble bel et bien réaliser la frontière entre le système de la Mouline à l'Ouest et le système du Cernon à l'Est. Il appartient maintenant et avec certitude au BA de la Mouline.
- L'aven de la Gruelle est lié à deux sources :
  - La restitution à la source de la Gloriette est peu représentative, mais a néanmoins été mesurée en laboratoire. Celle-ci modifierait le bassin d'alimentation de cette source et l'étendrait fortement vers le Nord.
  - La liaison avec la source du Durzon est bien valide. Elle ne remet pas en cause les limites du bassin d'alimentation établit pour le Durzon.
- La perte du Poux serait liée aux sources du Cernon. Cette liaison remet en cause le dessin actuel des limites de son bassin d'alimentation. En effet, le territoire de Mas trinquet appartenait au bassin d'alimentation de la source du Durzon. Une nouvelle frontière Est/Ouest est à définir entre les systèmes du Cernon et du Durzon.
- Les deux autres traçages réalisés auraient pu permettre de conforté la délimitation du bassin d'alimentation des sources du Cernon. Cependant, leur échec ne permet pas de statuer avec précision sur les limites Est/Ouest et Nord/Sud du bassin d'alimentation de ces sources.

La Carte 1 présentait un état des lieux des traçages déjà réalisés. Sur cette base, des limites de bassin d'alimentation avaient été proposées. Les traçages réalisés remettent en cause certains de ces bassins d'alimentation, notamment la frontière Est/Ouest entre le BA Durzon et le BA Cernon, ainsi que la limite Sud du BA Durzon.

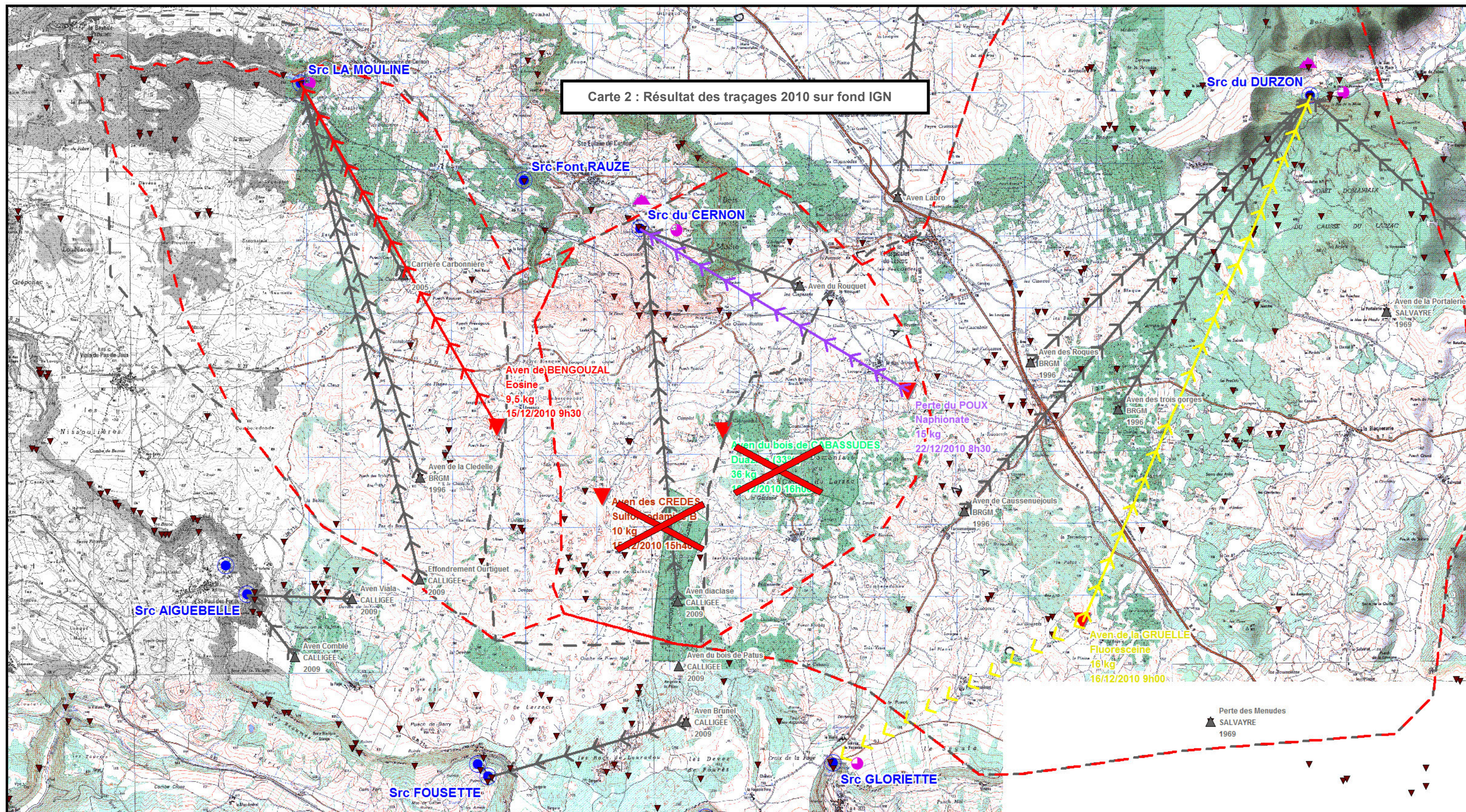
Les Carte 2 et 3 présentent respectivement les résultats de la campagne de traçage 2010 sur fond IGN et sur fond de carte géologique.

En pointillés rouge est proposé un nouveau tracé des limites de bassin d'alimentation :

- Le bassin d'alimentation des sources du Cernon s'étendrait plus à l'Est, du fait du traçage positif de la perte du Poux. En contrepartie et afin de respecter les surfaces efficaces d'alimentation, la frontière Ouest doit elle aussi être décalée.
- Pour les même raison, le bassin d'alimentation de la Mouline est légèrement redessiné, obtenant plus de territoire vers l'Est.
- La limite sud du bassin d'alimentation du Durzon n'a pas été redessinée. En effet, on considère que le traçage positif de la source de la Gloriette est peu représentatif devant la restitution avérée au niveau de la source du Durzon.



Carte 2 : Résultat des traçages 2010 sur fond IGN



### Légende

#### Traçage 2010

- Source suivie
- Point d'injection (Calligée, 2010)
- Prélèveur automatique
- Fluorimètre

#### Autres injections

- Inventaire des cavités naturelles (BRGM)
- Ancien point d'injection
- Trace validée
- Bassin d'alimentation présumé

#### Traçages - Calligée 2010

- Traçage Eosine validé
- Traçage Naphionate validé
- Traçage Fluoresceine validé
- Traçage Fluoresceine incertain
- Traçage non réussi
- Proposition - Nouvelles limites de bassin d'alimentation présumé

0 1000 2000 m



## Mise en conformité des sources du Cernon

### Localisation des points d'injection (Calligée, Décembre 2010)

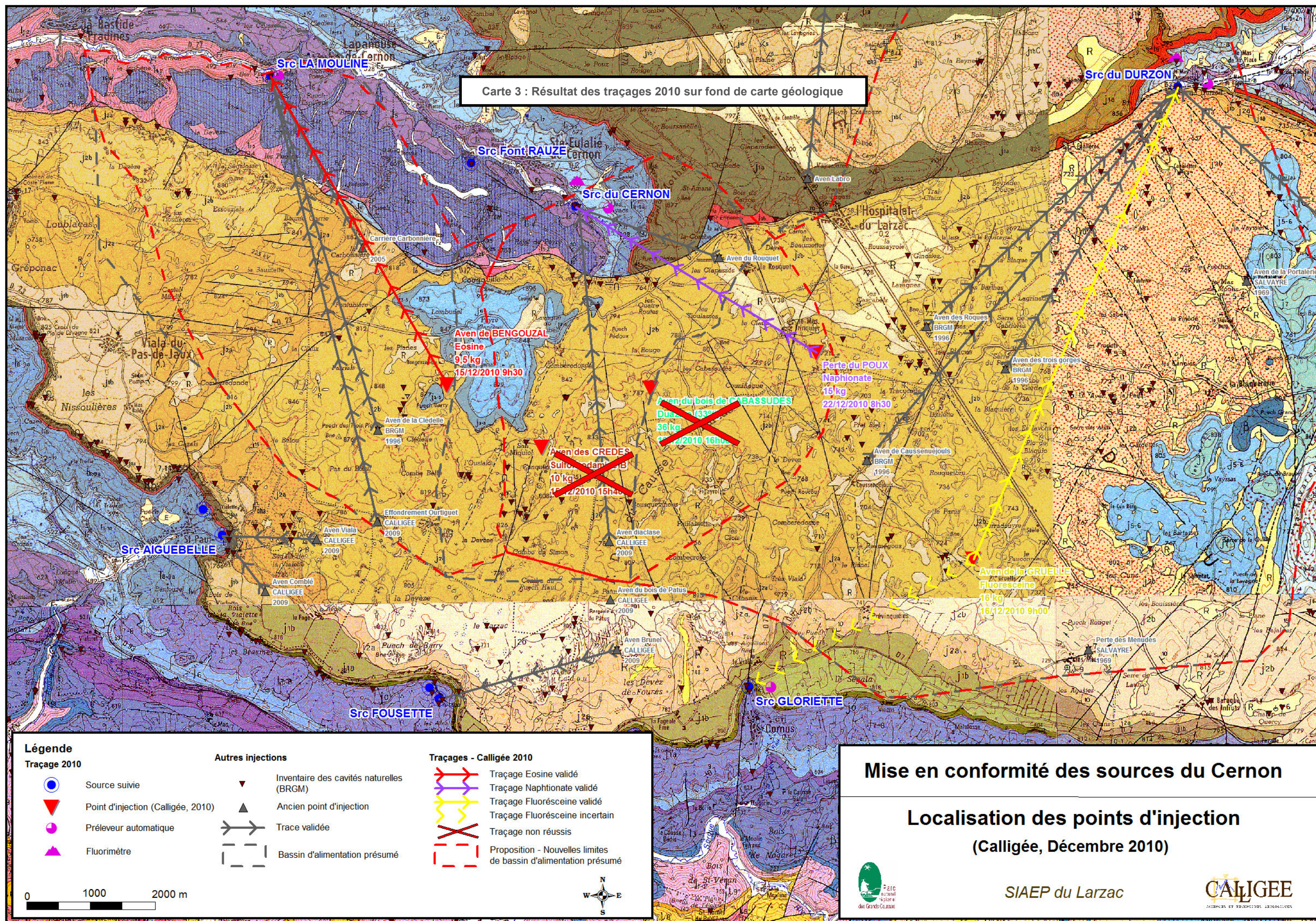


SIAEP du Larzac





Carte 3 : Résultat des traçages 2010 sur fond de carte géologique





### 7.3 – PERSPECTIVES

La campagne de traçage a permis de valider les relations hydrogéologiques existantes entre 3 avens et 3 sources distinctes. Certaines limites d'alimentation établies jusqu'à lors ont été renforcées, notamment la limite Est du bassin d'alimentation de la Mouline qui a été validée et qui pourrait même être repoussée encore plus à l'Est. Concernant la frontière Durzon/Cernon, le traçage de la perte du Poux a remise en cause la position de la frontière NE.

Sur les cinq injections réalisées, deux ont échouées et n'ont pas permises de confirmer l'extension vers le Sud du bassin d'alimentation des sources du Cernon. Les raisons de cet échec peuvent être liées à la fois aux conditions hydrologiques des traçages, comme à des erreurs commises dans le choix des points d'injection et de certains traceurs.

Ainsi, de nombreuses zones d'ombres persistent pour comprendre l'alimentation des sources. Dans ce secteur, le système du Cernon est central et il est primordial de délimiter son bassin d'alimentation avec précision, notamment :

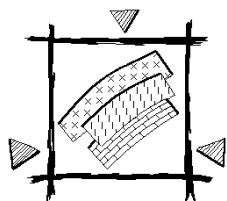
- la limite Nord-ouest/Sud-est entre le Cernon et le Durzon,
- et son expansion au Sud-sud-ouest.

Nous préconisons la reconduite de trois traçages supplémentaires qui pourraient être localisés dans les secteurs suivants :

- Test de la limite SO par un traçage depuis le secteur faillé et accidenté des « conques de Guinou », au sud de l'aven des Crèdes.
- Test de la limite NO/SE par une deuxième tentative de traçage depuis le secteur de « Figayrol ».
- Enfin, la frontière Est/Ouest avec le système Durzon étant de la plus grande importance, un nouveau traçage situées au SE du « Mas Trinquier ».

Afin d'apprendre de nos erreurs, la prochaine campagne de traçage devrait considérer les points suivant :

- Nécessité d'un période hydrologique favorable, de tarissement du système. Les mois de mai et juin offrent généralement de bonnes conditions, où le système entame sa vidange (Cf. Annexe 1) et où de fortes pluies peuvent permettre au traceur d'être évacué plus efficacement vers les exutoires.
- Limiter le nombre d'injection à trois simultanées, afin de n'utiliser que les traceurs les plus efficaces en fluorescence (fluorescéine, éosine et sulforhodamine).
- Ne pas forcément injecter une cavité naturelle dont on n'est pas sûr de ses capacités à l'infiltration. De très bon résultats ont été obtenues en injectant le traceur dans une fausse creusée en fond de doline. Cette technique permet en outre d'effectuer un test d'infiltration avant l'injection et de se rabattre le cas échéant sur un autre point d'injection.



## ANNEXES

Annexe 1 : Etat du régime hydrique des sources suivies.....	55
---	----

## **ANNEXE 1 : ETAT DU REGIME HYDRIQUE DES SOURCES SUIVIES**

