

## **VECTRA Opération de multi-traçage**

# **OPERATIONS DE MULTI-TRACAGES ENTRE DES GOUFFRES ET LES CAPTAGES DE LA SOURCE ET DE LA GARE**



Aff. 22515

Dev. 22515

**ETUDE PREALABLE A LA DEFINITION DE PERIMETRES DE  
PROTECTION POUR LES CAPTAGES DU SYNDICAT D'EAU DE  
FONTGOMBAULT**

**OPERATIONS DE MULTI-TRACAGES ENTRE DES GOUFFRES  
ET LES CAPTAGES DE LA SOURCE ET DE LA GARE**

**RAPPORT DEFINITIF**

Février 2004

SOMMAIRE

|  |           |
|--|-----------|
| <i>I- Objectifs de l'étude.....</i>  | <i>2</i>  |
| <i>II. Présentation du traçage.....</i>  | <i>2</i>  |
| II.1. Choix des lieux d'injection.....   | 2         |
| II.1.1. La perte du Bois de Chambrier (perte du Suin).....   | 3         |
| II.1.2. Le gouffre du Rafou .....  | 5         |
| II.1.3. La perte de l'étang Gousseau.....  | 6         |
| II.1.4. La perte de la Poirelle.....   | 8         |
| II.2. Les autres gouffres dans le talweg piézométrique situé entre le Suin et la rivière de la Creuse..... | 9         |
| II.2.1. Le gouffre du Salvart : .....  | 9         |
| II.2.2. L'aven de Merlangeon : .....   | 10        |
| II.2.3. Le gouffre du petit Boussais : .....   | 10        |
| II.2.4. La Grotte de la Chaume : .....   | 11        |
| II.2.5. Le grand aven de Fontgombault : .....  | 11        |
| II.2.6. Les Grottes des Roches : .....   | 12        |
| II.3. Choix des traceurs et moyens de détection de la restitution.....                                     | 13        |
| II.3.1. Choix des traceurs .....   | 13        |
| II.3.2. Outils utilisés pour le suivi de la restitution .....  | 13        |
| II.3.3. Répartition des traceurs sur les sites d'injection .....   | 14        |
| II.3.4. Choix de la période d'injection .....  | 14        |
| II.3.5. Préparations préalables du fluorimètre .....   | 15        |
| <i>III. Réalisation du multi-traçage.....</i>  | <i>15</i> |
| III.1. Mise en œuvre des opérations .....  | 15        |
| III.2. Réalisation des injections .....  | 16        |
| III.2.1 Perte du Bois Chambrier (perte du Suin) .....  | 17        |
| III.2.2. Perte du Rafou.....   | 18        |
| III.2.3. Perte de la Poirelle.....   | 18        |
| III.2.4. Perte de l'étang Gousseau .....   | 19        |
| <i>IV- Résultats obtenus.....</i>  | <i>21</i> |
| IV.1. Résultats obtenus des analyses par spectrophotomètre UV .....  | 21        |
| IV.1.1. Captage de la Source.....  | 21        |
| IV.1.2. Captage de la Gare .....   | 25        |
| IV.2. Résultats des analyses physico-chimiques.....  | 25        |
| IV.3. Résultats obtenus des suivis par le fluorimètre de terrain.....                                      | 26        |
| IV.5. Bilan de restitution .....   | 27        |
| <i>V- Conclusion.....</i>  | <i>28</i> |
| <i>Bibliographie.....</i>  | <i>29</i> |

## I- Objectifs de l'étude

Le syndicat intercommunal de la région de Fontgombault a confié à Vectra, la réalisation d'une étude de multi-traçage sur deux de ses captages utilisés pour l'alimentation en eau potable : le captage de la Source exploitant la source de Gombault (commune de Fontgombault) et le captage de la Gare (commune de Fontgombault), exploitant la nappe des calcaires du Rauracien.

Cette étude fait suite aux rapports relatifs à l'étude préalable à la définition de périmètres de protection des captages de la Source et de la Gare, et référencés Aff. 20 504.

Elle constitue une étude complémentaire relative à ces deux captages, et nécessaire à l'établissement de leurs périmètres de protection.

Elle consiste en la réalisation de multi-traçages, par injection de colorants sur les bassins versants reconnus ou supposés des captages. Elle présente les objectifs suivants :

- Le premier est de préciser et confirmer l'aire d'alimentation définie dans l'étude précédente (référéncée Aff. 20 504) : l'aire située en rive droite de la Creuse et délimitant un talweg piézométrique dirigé vers la Creuse.
- Le deuxième objectif est d'obtenir des informations quantitatives sur les modalités de transit des traceurs, simulant le comportement d'un polluant au sein de l'aquifère. Il s'agit plus précisément de réaliser un bilan de restitution en fournissant :
  - des données sur le délai nécessaire à la restitution d'un traceur dans un captage, après son injection sur un point du bassin d'alimentation ;
  - des données sur les quantités restituées.

## II. Présentation du traçage

### II.1. Choix des lieux d'injection

La localisation des lieux d'injection a fait l'objet d'une concertation avec l'hydrogéologue agréé, chargé de l'établissement des périmètres de protection sur ces deux captages.

Sa demande portait sur l'utilisation de 4 points d'injection :

- la perte du Bois de Chambrier, située dans le lit de la rivière le Suin. Ce cours d'eau se trouve en rive droite de la Creuse et sa perte contribue largement à l'absorption de la totalité de l'eau du Suin sur une grande partie de l'année ;
- le gouffre du Rafou, situé en rive droite de la Creuse ;

- un point d'injection à choisir dans la vallée de l'étang Gousseau et situé en rive droite de la Creuse ;

- le gouffre du ru des Berthommières, situé en rive gauche de la Creuse.

A sa demande, ce dernier point d'injection a ensuite été remplacé par le gouffre de la Poirelle. Ce gouffre est situé sur la commune de Mérigny.

### II.1.1. La perte du Bois de Chambrier (perte du Suin)

#### *Localisation :*

Il est situé sur le lit de la rivière du Suin, à 1 800 m environ à l'ouest du bourg Douadic.

Il se trouve à une distance de 9 100 m environ de la résurgence de la source de Fontgombault.

Il peut être localisé par les coordonnées Lambert suivantes :

X = 504.5 m ;

Y = 2 190,25 m ;

Z = 87 m environ.

Il est localisé en annexe 1, sur fond de carte IGN.

#### *Description de la perte :*

Elle donne sur les calcaires du Rauracien. Elle se présente sous la forme de deux petits gouffres situés côte à côte, dans le lit du Suin.

#### *Raisons ayant motivé son choix :*

La carte piézométrique établie avril 2 000 (c.f. rapports référencés Aff. 20 504), montre que le talweg piézométrique dirigé vers la rivière de la Creuse, passe au droit de ce gouffre.

Il est de plus décrit comme très absorbant par les habitants locaux, car il contribue largement à l'absorption de l'eau de la rivière le Suin, constaté sur une grande partie de l'année.

De plus, les exploitants du captage de la Source ont constaté que chaque vidange annuelle de l'étang de la Mer Rouge, menée sur le Suin, en amont de la perte, engendre systématiquement et dans les jours qui suivent, un accroissement brutal de la turbidité de l'eau de la source.

Une relation entre l'absorption de l'eau du Suin par la perte du Bois de Chambrier, et la source, semble donc intéressante à établir.

*Suivi des débits de la rivière le Suin*

Au droit de la perte du Bois de Chambrier, le comportement de la rivière le Suin est entièrement modelé par les vidanges des étangs se trouvant en amont, l'étang le plus important étant celui de la Mer Rouge.

En période de vidange des étangs (débutant au mois d'octobre), le Suin est en eau, et débordant de la perte du Bois de Chambrier. Des évènements pluvieux importants peuvent prolonger cette mise en eau.

En dehors de ces périodes, seuls des évènements pluvieux engendrant des surverses notables sur les étangs, peuvent engendrer des mises en eau de la rivière, au droit et à l'aval de la perte. Un suivi annuel de l'état de la rivière a été réalisé sur l'année 2003, il est proposé dans le tableau suivant.

| <b>Date</b>            | <b>Observation du Suin</b>                | <b>Mesure de débit éventuel eu droit du pont</b> |
|------------------------|---|--|
| 23/07/2002             | Rivière à sec                             | -  |
| 22/08/2002             | Rivière à sec                             | -  |
| 23/10/2002             | Rivière débordante de la perte            | 1.4 m <sup>3</sup> /s                            |
| 08/11/2002             | Rivière débordante de la perte            | Estimé entre 1.5 et 2 m <sup>3</sup> /s          |
| 12/12/2002             | Rivière entièrement absorbée par la perte | 0.03 m <sup>3</sup> /s                           |
| 06/01/2003             | Rivière débordante de la perte            | Estimé entre 1.5 et 2 m <sup>3</sup> /s          |
| 30/01/2003             | Rivière débordante de la perte            | Estimé entre 1.5 et 2 m <sup>3</sup> /s          |
| 03/04/2003             | Rivière débordante vers l'aval            | 0.26 m <sup>3</sup> /s                           |
| 17/04/2003             | Rivière à sec                             | -  |
| 07/05/2003             | Rivière débordante de la perte            | 0.6 m <sup>3</sup> /s                            |
| 16/05/2003             | Rivière à sec                             | -  |
| Début juin 2003        | Rivière entièrement absorbée par la perte | Non mesuré                                       |
| Juin à mi-octobre 2003 | Rivière à sec                             | -  |
| 21/10/2003             | Rivière débordante de la perte            | Estimé à 2m <sup>3</sup> /s                      |

Les mesures de débit ont été réalisées à l'aide d'un micro-moulinet de type Beauvert, équipé d'une hélice de 4 pales.

En période de débordement de la rivière par rapport à la perte, les estimations de débit d'eau se perdant dans la perte du Bois de Chambrier sont impossibles à réaliser : la partie de la rivière débordante ne présente en effet pas de séparation avec la partie de la rivière se perdant dans le gouffre.

De plus, une mesure à l'aide du micro-moulinet n'est possible qu'en surface, la vitesse d'écoulement de la rivière ne permettant pas de maintenir la tige droite sur une profondeur

plus importante. Une mesure du débit total de la rivière n'a donc pu qu'être approchée dans cet état d'écoulement de la rivière.

Le débit d'absorption de la perte a été estimé à  $0.5 \text{ m}^3/\text{h}$  par Le Gall (1997).

#### *Etude pour la neutralisation du gouffre*

Un détournement des eaux du Suin engendrerait des travaux importants, de par les débits que peut atteindre cette rivière, en période de vidange des étangs notamment.

De plus, le détournement de la rivière devrait concerner une zone étendue, car d'autres gouffres sont décrits le long de la vallée du Suin (c.f. chapitre II.2.).

### II.1.2. Le gouffre du Rafou

#### *Localisation :*

Il est situé en rive droite de la Creuse, à 1 000 m environ au nord-est du bourg de Pouligny-Saint-Pierre.

Il se trouve à une distance de 6 000 m environ de la résurgence de la source de Fontgombault.

Il peut être trouvé aux coordonnées Lambert :

X = 501.9 m ;

Y = 2 187.9 m ;

Z = 117 m.

Il est localisé en annexe 1, sur fond de carte IGN.

#### *Description du gouffre :*

Le gouffre n'ayant pas fait l'objet d'une inspection spéléologique par nos soins, sa description est reprise d'observations déjà menée (Le Gall, 1997).

S'ouvrant sur les calcaires du Séquanien, il est décrit comme un puits de 12 m, donnant directement dans une grande salle en pente marquée. Au point bas de la salle, un ruisseau temporaire se perd dans une fissure partiellement colmatée.

La dénivellation entre la surface et la nappe est de 40 m environ, selon la carte piézométrique issue de la campagne d'avril 2000.

La cavité rentre en activité d'absorption d'eau en période de fortes pluies, à ce moment un ruisseau se forme, parcourt rapidement la salle et va se perdre dans un passage impénétrable pour l'homme.

*Raisons ayant motivé son choix :*

Il constitue l'un des gouffres les plus connus des spéléologues locaux, de part sa taille et sa profondeur.

Il constitue l'exutoire des fossés de drainage naturel des parcelles agricoles, car il se trouve en point bas par rapport à ces parcelles environnantes.

Il est situé presque au cœur de l'axe du talweg piézométrique de la nappe, dirigé vers la Creuse.

*Suivi des écoulements présents vers ce gouffre*

Le gouffre constitue le point bas du drainage superficiel des terres agricoles présentes aux alentours.

Les écoulements d'eau vers le gouffre ne sont donc pas systématiques et apparaissent à la suite de pluies importantes.

Les visites pratiquées sur le site ont permis d'observer un écoulement aux dates suivantes :

- 23/10/2002 ;
- 03/04/2003, avec uniquement des traces d'écoulements récents ;
- 07/05/2003.

Le débit estimé de ces écoulement est estimé à 0.1 l/s environ.

Il est fort probable que ce débit est plus élevé durant des épisodes pluvieux importants.

*Etude pour la neutralisation du gouffre*

Les rigoles réalisées par les agriculteurs permettent de canaliser directement les eaux de ruissellement vers le gouffre. La réalisation de nouvelles rigoles amenant les eaux de ruissellement vers un autre point, semble difficile à réaliser, de par la position topographique du gouffre (en point bas).

### II.1.3. La perte de l'étang Gousseau

*Localisation :*

Il est situé en rive droite de la Creuse, à 2 500 m environ au sud du bourg de Lureuil.

Il se trouve à une distance de 7 500 m environ de la résurgence de la source de Fontgombault.

Il peut être trouvé aux coordonnées Lambert :

X= 501.3 m ;

Y = 2 192.25 m ;

Z = 105 m.

Il est localisé en annexe 1, sur fond de carte IGN.

*Raisons ayant motivé son choix :*

Ce gouffre est décrit comme très absorbant, car il contribue à l'absorption totale de l'eau de vidange annuelle de l'étang Gousseau.

Il constitue également l'exutoire des eaux de drainage des parcelles agricoles voisines.

Il a été trouvé avec la collaboration du club spéléologique du Blanc.

*Suivi des écoulements présents vers cette perte*

Les écoulements d'eau présents au niveau de la perte, correspondent aux eaux de drainage souterrain agricole. Ils sont donc directement consécutifs d'une période pluvieuse.

Le débit maximum observé ne dépasse pas un ordre de 0.1l/s.

Les visites de terrain ont permis d'y observer un écoulement aux dates suivantes :

- 23/10/2003 (0.1 l/s environ) ;

- 03/04/2003 avec un écoulement très faible (0.05 l/s environ), mais continu ;

- 07/05/2003 avec un écoulement de l'ordre de 0.1 l/s ;

- 16/05/2003 avec un écoulement de l'ordre de 0.05 l/s.

Il est fort probable que ce débit est plus élevé au court d'épisodes pluvieux importants.

*Etude pour la neutralisation des pertes du ruisseau de l'étang Gousseau*

La perte étudiée sur le ruisseau de l'étang Gousseau semble être la seule faisant l'objet d'un exutoire des eaux de drainage. Elle semble être d'ailleurs la conséquence de l'installation dans le fossé, de la canalisation exutoire du drainage agricole.

Une tentative de neutralisation de la perte étudiée pourrait donc consister à rallonger la canalisation exutoire du drainage agricole, afin d'amener les eaux de drainage quelques mètres en aval de la perte. Il est cependant fort probable que ce rallongement provoquerait la formation d'une nouvelle petite perte du même style que celle qui est étudiée.

Cette neutralisation semble donc pour cette raison, relativement complexe à assurer.

D'autres sites d'infiltration sont présents dans toute la vallée de l'étang Gousseau et notamment au niveau de Bois Gerbault et des Vignes des Bruyères Tondues. Ils sont respectivement localisés par les numéros 1 et 2 sur fond de carte IGN en annexe 1.

Les gouffres de Bois-Gerbault sont en fait des micro-gouffres, apparaissant sur des prairies sous forme de petites cuvettes de quelques centimètres de diamètre. Le calcaire n'y est pas affleurant, et ces gouffres présentent un fond humide et une végétation prairiale humide. Aucun fossé ne rejoint ces gouffres, mais les eaux de ruissellement y convergent.

Ces gouffres semblent posséder un pouvoir d'infiltration plus limité que les précédents, puisque l'arrivée de fortes pluies provoque une inondation de la plaine dans laquelle ils se trouvent.

Les gouffres des Vignes des Bruyères Tondues sont également situés dans la plaine alluviale de la rivière de l'étang Gousseaux. Ils regroupent un gouffre principal et des micro-gouffres. Ces derniers se présentent sous la forme de petites cuvettes dans lesquelles le calcaire affleure rarement.

#### II.1.4. La perte de la Poirelle

##### *Localisation :*

Elle est située en rive gauche de la Creuse, à 600 m environ à l'est du bourg de Mérigny.

Elle se trouve à une distance de 5 500 m environ de la résurgence de la source de Fontgombault.

Elle peut être trouvée aux coordonnées Lambert suivantes :

X= 492.85 m ;

Y = 2 181.45 m ;

Z = 105 m.

Elle est localisée en annexe 1, sur fond de carte IGN.

##### *Description de la perte :*

La cavité se développe dans les calcaires de l'Oxfordien.

L'entrée se présente sous la forme d'un puits de 15 à 20 m de profondeur, donnant sur une importante circulation souterraine (Le Gall, 1997).

*Raisons ayant motivé son choix :*

Ce gouffre se situe dans la vallée de l'Anglin, il a déjà fait l'objet d'essais de traçage (BRGM, 1972) ayant montré une relation avec la résurgence de la Dube, située à 1100 m environ au Nord.

Cependant, des liaisons entre la Creuse et l'Anglin sont suspectées par certains auteurs ; il était donc nécessaire de rechercher une relation éventuelle entre le gouffre de la Poirelle et la source de Gombault, même s'ils font partie de deux bassins hydrogéologiques apparemment indépendants.

L'étude des niveaux topographiques permet de montrer que cette liaison n'est pas impossible : la perte de la Poirelle (108 m) est en effet topographiquement plus haute que la source de Gombault (80 m).

*Infiltrations d'eau :*

Cette perte ne fait jamais l'objet d'infiltration d'eau. La présence d'une plaque métallique de sécurité sur le gouffre, défavorise de plus, l'infiltration des eaux de ruissellement éventuelles passant au droit du site.

## II.2. Les autres gouffres dans le talweg piézométrique situé entre le Suin et la rivière de la Creuse

### II.2.1. Le gouffre du Salvert :

Il est situé en rive gauche du Suin, à 500 m environ à l'Ouest du bourg de Douadic.

Il peut être trouvé aux coordonnées Lambert :

$X = 505.6 \text{ m}$  ;

$Y = 2\,190.1 \text{ m}$  ;

$Z = 88 \text{ m}$ .

Il est localisé en annexe 1, sur fond de carte IGN (indexé n°3).

*Description du gouffre :*

Il est présenté sur la photo n°1 de l'annexe n°2.

Le Gouffre affleure dans les calcaires du Rauracien. Il s'agit d'un site imposant de plusieurs centaines de mètres carrés et recouverts d'une végétation boisée. Le fond plat du gouffre est entièrement tapissé d'alluvions limono-sableuses, ne laissant apparaître que quelques micro-cavités.

*Infiltrations d'eau :*

Plusieurs fossés aux marques de ruissellements intenses, dirigent les eaux de drainages des parcelles environnantes vers le gouffre. L'importante quantité d'eau reçue avant la visite sur le site, ne semble pas stagner dans le fond du gouffre, confirmant une très grande capacité d'absorption.

**II.2.2. L'aven de Merlangeon :**

Il est situé en rive droite du Suin, à 350 m environ au Sud du hameau de Brillebault.

Il peut être trouvé aux coordonnées Lambert :

X= 504.350 m ;

Y = 2 190.425 m ;

Z = 103 m.

Il est localisé en annexe 1, sur fond de carte IGN (indexé n° 4).

*Description du gouffre :*

Il est présenté sur la photo n°2 de l'annexe n°2

Le gouffre se développe dans les calcaires du Séquanien, pour rejoindre vers -15 m le Rauracien. La cavité se présente sous la forme d'une petite ouverture débouchant sur plus de 130 m de développement.

*Infiltrations d'eau :*

Aucune arrivée d'eau ne parvient directement à la cavité par ruissellement de surface.

**II.2.3. Le gouffre du petit Boussais :**

Il est situé à même le fond de la vallée du Suin, à 850 m environ au Sud-Est du hameau de la Boudinière.

Il peut être trouvé aux coordonnées Lambert :

X= 497.3 m ;

Y = 2 187.1 m ;

Z = 105 m.

Il est localisé par en annexe 1, sur fond de carte IGN (indexé numéro 5).

*Description du gouffre :*

Le gouffre s'ouvre dans les calcaires du Rauracien, il est très actif lors des fortes pluies ou de la vidange des étangs amonts. Toutefois, lors de crues importantes il se trouve complètement noyé.

*Infiltrations d'eau :*

Le gouffre se situe sur le cours du Suin et reçoit donc des quantités d'eau pouvant être très importantes.

**II.2.4. La Grotte de la Chaume :**

Elle est située en rive droite du Suin, à 750 m environ au Sud-Ouest du hameau de la Boudinière.

Elle peut être trouvée aux coordonnées Lambert :

X= 501.700 m ;

Y = 2 189.50 m ;

Z = 90 m.

Elle est localisée en annexe 1, sur fond de carte IGN (indexé n°6).

*Description de la Grotte :*

Elle est présentée sur la photo n°3 de l'annexe n°2.

La grotte se développe dans les calcaires du Rauracien affleurant sur les coteaux boisés en rive droite du Suin. On observe en fait deux petites ouvertures tapissées d'éboulis, débouchant sur d'autres ouvertures ne permettant pas le passage d'un homme.

*Infiltrations d'eau :*

Aucune arrivée d'eau ne parvient directement à la cavité par un ruissellement de surface.

**II.2.5. Le grand aven de Fontgombault :**

Il est situé sur la commune de Fontgombault, à 700 m au Nord-Est du bourg.

Il peut être trouvé aux coordonnées Lambert :

X= 497.3 m ;

Y = 2 187.1 m ;

Z = 105 m.

Il est localisé en annexe 1, sur fond de carte IGN (indexé n°7).

*Description de l'aven :*

Il est présenté sur la photo n°4 de l'annexe n°2.

L'aven se développe dans les calcaires du Rauracien. Il s'agit d'un puits unique dont le point bas se situe à – 24 m par rapport au sol naturel. Une pente d'éboulis converge vers le pied de la falaise pour s'ouvrir sur une large cavité plongeante.

*Infiltrations d'eau :*

Aucune arrivée d'eau ne parvient directement à la cavité par un ruissellement de surface.

### II.2.6. Les Grottes des Roches :

Un ensemble de 5 grottes très proches se développe dans les falaises calcaires de la vallée de la Creuse, juste en contrebas du hameau des Roches. L'accès à ces cavités se fait depuis la D 950.

Ces grottes peuvent être trouvées aux coordonnées Lambert :

X= de 498 à 498.8 m ;

Y = 2 86.4 m ;

Z = 78 à 100 m.

Elles sont localisées en annexe 1, sur fond de carte IGN. (indexées n°8).

*Description des grottes :*

Elles sont présentées sur la photo n°5 de l'annexe n°2.

Les cavités se développent dans les calcaires du Rauracien, dans lesquels on peut remarquer de fines couches de calcites dans les dépôts argileux. Plusieurs entrées donnent donc accès à des galeries pouvant atteindre un développement de plus de 500 m pour des dénivelés variant de quelques mètres à 20 ou 30 mètres.

*Infiltrations d'eau :*

Aucune arrivée d'eau ne parvient directement aux cavités par un ruissellement de surface. Seule la grotte dites des Roches N°1 ou Grotte Chabot, possède une circulation d'eau située sensiblement au niveau de la Creuse.

## II.3. Choix des traceurs et moyens de détection de la restitution

### II.3.1. Choix des traceurs

Les traceurs retenus pour les injections sont des colorants.

L'opération réalisée étant un multi-traçage, quatre colorants différents ont été retenus dans le cahier des charges :

- l'uranine (ou fluorescéine) ;
- l'éosine ;
- la sulfo-rhodamine G ;
- l' amino-G acide.

Les rhodamines B et WT n'ont pas été retenues, car ils présentent, d'après certaines études récentes, un certain caractère toxique (P. Meus, CNRS).

### II.3.2. Outils utilisés pour le suivi de la restitution

Les outils utilisés pour un suivi de la restitution sont les suivants :

- Un fluorimètre de terrain a été installé sur le site, afin de suivre en continu la restitution de deux des colorants : l'uranine et l' amino-G acide (une présentation de l'appareil est proposée en annexe n°3).

Il a été utilisé afin de détecter en temps réel, les traceurs ayant la probabilité la plus forte d'être reçus en restitution.

Les restitutions les plus attendues en début d'étude étaient celles obtenues sur la source de Gombault et issues des deux points d'injection suivants : la perte du Bois Chambrier (perte du Suin) et le gouffre du Rafou.

Ces deux gouffres se situent en effet au droit même du talweg piézométrique de la nappe situé en rive droite de la Creuse et en direction de la source.

Le captage de la Gare, étant lui, un peu plus décalé par rapport à cet axe, les probabilités de restitutions ont été considérées comme un peu moins élevées. Le fluorimètre a donc été installé au niveau du captage de la source.

- Un spectrofluorimètre de laboratoire, permettant de suivre la restitution des quatre traceurs, à partir d'échantillons d'eau prélevés sur chacun des deux captage suivis.

### II.3.3. Répartition des traceurs sur les sites d'injection

Les traceurs injectés dans la perte du Bois Chambrier (perte du Suin) et dans le gouffre du Rafou ont été choisis de manière à pouvoir être détectés par le fluorimètre de terrain, et à présenter le moins d'interférences possible entre eux.

Les deux traceurs obéissant le mieux à cette exigence sont l'uranine et l' amino-G acide. Une étude présentée en annexe n°4 en explique les raisons.

Afin de limiter au maximum toute interférence de l'uranine (dont le rendement en fluorescence est très fort) sur l' amino-G acide, les masses retenues pour l'injection de l'uranine sont plus faibles que celles du deuxième traceur.

Le site retenu pour l'injection de l'uranine est donc celui présentant la meilleure chasse hydraulique. La perte du Bois Chambrier a été choisi, car situé dans le lit du Suin, elle bénéficie d'une chasse hydraulique naturelle très importante, limitant les stagnations du traceur au droit de la perte et assurant son départ efficace au sein de la nappe.

Le site choisi pour l'injection l' amino-G acide est donc le gouffre du Rafou.

Les deux traceurs restants ont ensuite été répartis comme suit :

- l'éosine au niveau de la perte de la Poirelle ;
- la pyranine au niveau de la perte de l'étang Gousseau.

Les quantités préparées pour les injections sont récapitulées dans le tableau suivant suivantes :

| Traceur       | Site d'injection          | Masse du traceur injecté | Volume injecté | Concentration injectée |
|---------------|---------------------------|--------------------------|----------------|------------------------|
| Uranine       | Perte du Suin             | 500 g                    | 5 litres       | 100 g/l                |
| Amino-G acide | Gouffre du Rafou          | 2 000 g                  | 20 litres      | 100 g/l                |
| Eosine        | Perte de la Poirelle      | 2 000 g                  | 20 litres      | 100 g/l                |
| Pyranine      | Perte de l'étang Gousseau | 2 000 g                  | 20 litres      | 100 g/l                |

Les quatre traceurs ont été préparés avant la date d'injection et conservés dans l'obscurité.

### II.3.4. Choix de la période d'injection

La période d'injection retenue correspond à la période du mois d'Octobre, elle est précisément ciblée sur la période de vidange de l'étang de la Mer Rouge dans le Suin. Cette

vidange permet en effet d'assurer la chasse annuelle la plus importante dans la perte du Bois de Chambrier.

Elle correspond de plus à une période de relatives basses eaux, limitant ainsi la dilution du traceur dans les eaux souterraines.

Elle présente cependant l'inconvénient d'être associée à une période de turbidité de l'eau de la source. Cette turbidité correspond à une remobilisation des matières en suspension dans la nappe, engendrée très certainement par les infiltrations massives dans l'aquifère, des eaux de vidanges des étangs.

### II.3.5. Préparations préalables du fluorimètre

Le fluorimètre GGUN-FL 39 a fait l'objet d'un étalonnage préalable dont la description précise fait l'objet de l'annexe n°5.

La précision de mesure de l'appareil est de  $10 \text{ E-}10 \text{ kg/l}$  pour l'uranine et de  $10 \text{ E-}8 \text{ kg/l}$  pour l'amino-G acide.

La période d'injection prévue étant celle de la vidange de l'étang de la Mer Rouge, une forte turbidité de l'eau de la source est attendue pour la restitution. Une étude de l'influence de la turbidité a donc été menée en laboratoire, elle est présentée en détail en annexe n°6.

Il faut noter que la turbidité a été créée artificiellement pour cette étude, à partir de formazine. Elle est donc d'origine différente de celle obtenue sur l'eau de restitution de la source (engendrée par des matières en suspension, constituées de particules argileuses remobilisées et de particules organiques).

Les conclusions de cette étude montrent que la turbidité créée à partir de formazine n'a pas d'influence directe sur les concentrations d'uranine et d'amino-G acide mesurées par le fluorimètre.

## III. Réalisation du multi-traçage

### III.1. Mise en œuvre des opérations

Le fluorimètre de terrain a été installé au niveau du captage de la source, quelques jours avant la réalisation des injections. La sonde de l'appareil a été immergée dans une zone de circulation en continu de l'eau de la source, située en bordure de la bêche de la station de pompage.

Un préleveur échantillonneur de 24 flacons a été installé sur chacune des deux stations de pompage, afin de collecter des échantillons d'eau de restitution.

Les fréquences de prélèvements utilisées sont présentées dans le tableau suivant :

| <b>Fréquence</b> | <b>Durée de prélèvement</b> |
|------------------|-----------------------------|
| 1 heure          | 3 jours                     |
| 2 heures         | 6 jours                     |
| 4 heures         | 12 jours                    |
| 8 heures         | 35 jours                    |

La durée totale du suivi de restitution est donc de 56 jours.

La présence du fluorimètre de terrain sur le site de la source permet un suivi très régulier de la restitution. Ce suivi est prévu lors de chaque visite sur le site, pour la collecte des échantillons sur les préleveurs échantillonneurs.

Les échantillons d'eau restitués par les préleveurs échantillonneurs sont régulièrement transférés pour analyses sur spectrophotomètre UV.

Il est également prévu un prélèvement d'eau sur la chasse hydraulique éventuellement présente sur chaque site d'injection. Chaque échantillon sera destiné à des analyses physico-chimiques, confiées au laboratoire départemental d'Orléans. Le transport des échantillons est prévu en milieu réfrigéré (glacière).

Les paramètres analysés sont les suivants :

- Turbidité, matières en suspension, conductivité, titre alcalimétrique complet, titre hydrotimétrique ;
- Anions et cations majeurs : ammonium, calcium, magnésium, sodium, sulfates, fer et manganèse ;
- SiO<sub>2</sub> ;
- Espèces azotées : ammonium (en NH<sub>4</sub>), nitrates, nitrites.

### III.2. Réalisation des injections

Les injections de traceurs ont été effectuées le 21 octobre 2003, quelques jours après la vidange de l'étang de la Mer Rouge.

Les conditions d'injection sont décrites ci-dessous.

### III.2.1 Perte du Bois Chambrier (perte du Suin)

L'injection de l'uranine a été réalisée à 11h15 du matin.

Elle a fait l'objet d'une chasse hydraulique naturelle, assurée par les eaux de vidange des étangs amont (notamment celui de la Mer Rouge).

Le Suin présentait une hauteur moyenne de 1.35 m, une largeur de 6 m et une vitesse en surface de 0.24 à 0.43 m/s (variant du centre aux bords de la rivière). Le Suin étant débordant de la perte le jour de l'injection, il n'a donc pas été possible d'estimer le débit de la chasse hydraulique dans cette perte.

Une valeur de 0.5 m<sup>3</sup>/h est donnée par Le Gall (1997), pour la capacité d'absorption du gouffre. Cette valeur sera retenue pour le débit de la chasse hydraulique.

La figure n°1 ci-dessous présente la réalisation sur le site, de l'injection. Elle montre une certaine stagnation apparente du traceur déversé, présentant néanmoins une disparition totale au bout d'une heure.

Un prélèvement d'eau a été effectué sur la rivière du Suin, afin d'y pratiquer des analyses.



Figure n°1. Injection de l'Uranine au droit de la perte du Suin

### III.2.2. Perte du Rafou

L'injection de l'acide aminé-G a été effectuée à 12h45 dans la perte du Rafou.

Les pluies précédant la période d'injection n'ont pas été suffisantes pour assurer un drainage des parcelles voisines dans le gouffre. Aucune chasse naturelle n'était donc présente lors de l'injection. La position du gouffre, situé au milieu d'un champ très embourbant, n'a pas permis d'apporter une citerne d'eau, pour assurer une chasse artificielle.

Afin d'assurer une injection la plus directe possible dans la chambre du gouffre, une descente a été faite sur une vingtaine de mètres de profondeur, avant l'injection du traceur.

### III.2.3. Perte de la Poirelle

L'injection de l'éosine a été réalisée à 10h45 dans le gouffre de la Poirelle.

Le gouffre, situé le coteau de la vallée de l'Anglin, ne constitue pas un exutoire d'eaux de drainage. Aucune chasse naturelle n'est donc jamais présente sur ce gouffre.

Les conditions d'accès au site (chemin étroit et très pentu), ne permettent pas l'amenée d'une citerne d'eau, pour assurer une chasse naturelle.

Cependant, la morphologie du gouffre permet de fournir de bonnes conditions d'injection : ses parois sont en effet exclusivement rocheuses et très abruptes.

La figure n°2 suivante présente une photographie de l'injection du traceur.



*Figure n°2. Injection du traceur sur le site de la perte de la Poirelle*

#### III.2.4. Perte de l'étang Gousseau

L'injection de la pyranine a été réalisée à 11h45 dans la perte de l'étang Gousseau.

Les pluies des jours précédents ont été suffisantes pour engendrer un drainage des champs environnants, dont l'exutoire se trouve au droit même de la perte.

Le débit de l'exutoire est cependant relativement faible, il a été estimé à moins de 0.1 l/s. Des prélèvements d'eau ont été réalisés sur cette chasse hydraulique, afin d'y effectuer des analyses.

La figure n°3 ci-dessous présente une photographie de l'injection du traceur.



*Figure n°3. Injection du traceur sur le site de la perte de l'étang Gousseau*

## IV- Résultats obtenus

Ce chapitre présente l'ensemble des résultats obtenus sur :

- les restitutions retrouvées par spectro-photomètre UV ;
- les résultats obtenus sur le fluorimètre de terrain ;
- les analyses physico-chimiques effectuées sur les échantillons d'eau, prélevés sur les chasses hydrauliques.

### IV.1. Résultats obtenus des analyses par spectrophotomètre UV

De manière générale, les résultats obtenus sont marqués d'une forte perturbation due à des interférences sur les signaux possibles des traceurs :

- de la turbidité de la nappe engendrée par les matières en suspension ;
- de l'uranine (sur les trois autres traceurs).

#### IV.1.1. Captage de la Source

##### *a- Restitution de l'uranine injectée à la perte de Bois Chambrier (perte du Suin)*

L'uranine injectée à la perte du Bois Chambrier a été retrouvée en restitution au captage de la Source.

La courbe de concentration nette de l'uranine montre un signal, présentant un pic, le 29/10/03 à 16 heure. Ce pic atteint une valeur de concentration de 1.29 ng/ml, puis chute rapidement pour atteindre une valeur de 0.186 ng/ml, le 02/11/03 à vers 20 h. Il présente ensuite une traîne de restitution jusqu'au 20/11/2003.

Cette courbe de restitution est présentée en figure n°4.

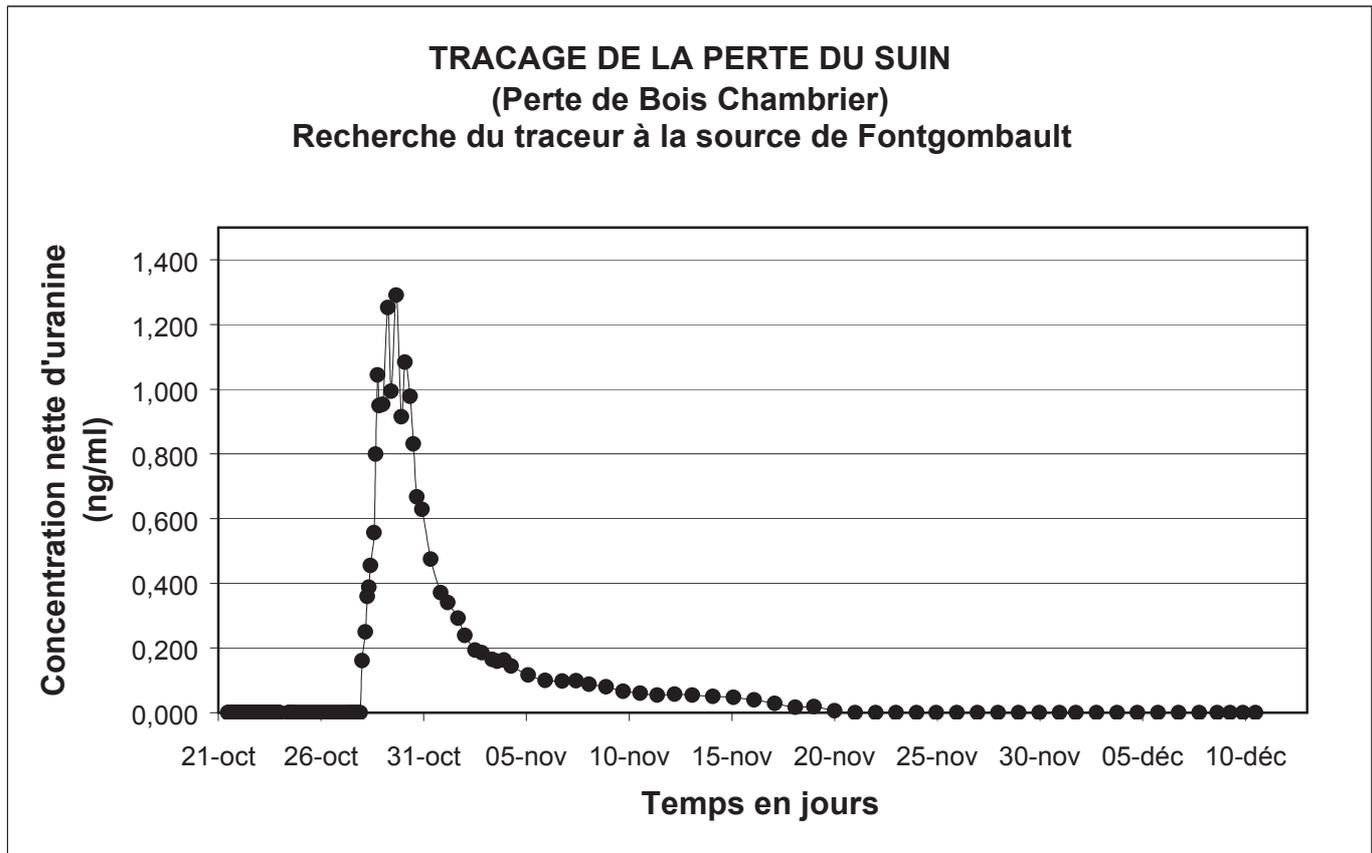


Figure n°4. Courbe de restitution de l'uranine au captage de la source

La courbe des signaux bruts (obtenue avant analyse des spectres) est présentée en annexe n°7. Elle montre, pour la période postérieure au 21 novembre, des signaux obtenus aux longueurs d'onde de l'uranine. L'analyse des spectres sur cette période, n'a pas confirmé la présence du traceur. Ces signaux, obtenus après le 5 novembre, proviennent donc d'une interférence avec les matières organiques et minérales constituant les matières en suspension.

On peut par ailleurs noter, par l'observation de la figure de l'annexe n°7, que l'allure de la courbe de l'uranine sur ces périodes décrites, est très similaire de celle des 3 autres courbes de signaux bruts, obtenues pour les trois autres traceurs.

Les paragraphes suivants vont confirmer pour les trois autres traceurs, cette interférence des matières organiques et minérales constituant les MES.

*b- Restitution de l' amino-G acide injecté au droit du gouffre du Rafou*

Les analyses au spectro-photomètre UV n'ont pas permis de retrouver l' amino-G acide dans le captage de la source.

Les signaux bruts obtenus de l'analyse par spectrophotomètre UV pour l'acide aminé-G sont présentés en annexe n°7. Ils montrent un fort signal de fluorescence naturelle, avec un premier pic très large, s'étalant du 28/10/03 au 03/11/03.

Les signaux de ce pic sont engendrés par la matière minérale et la matière organique de la turbidité, présente dans l'eau de la source, ainsi que par l'influence de l'uranine restituée sur cette période. Il n'est pas possible, après réalisation des spectres, de distinguer l'influence des matières en suspension et de l'uranine, d'un éventuel signal du traceur.

Seules des extractions sur cartouche, puis des analyses en chromatographie liquide haute pression des extraits, permettraient de mieux séparer le colorant éventuel de la matière en suspension et de vérifier ainsi la présence ou l'absence d'acide aminé-G. Ces extractions seraient à mener dans les échantillons offrant le signal le plus intense.

En dehors de ce pic et après le 5 novembre, l'allure de la courbe est similaire à celles des trois autres traceurs et ne montre pas de restitution de l'acide aminé-G.

#### *c- Restitution de la pyranine injectée au droit de la perte de l'étang Gousseau*

Les analyses au spectro-photomètre UV n'ont pas permis de retrouver de traces de la pyranine injectée au droit de la perte de l'étang Gousseau. La courbe des signaux bruts, obtenus de l'analyse par spectrophotomètre UV, pour la pyranine, est présentée en annexe n°7.

Elle montre un fort signal de fluorescence naturelle, avec notamment un pic présent pour la période du 29 et 30/10/03. Ces signaux, générés par l'influence de la matière en suspension et de l'uranine, étant très forts, il n'est pas possible, après réalisation des spectres, de distinguer l'influence de la matière en suspension, d'un éventuel signal du traceur. Seules des extractions sur cartouches permettraient de conclure à la présence ou l'absence de traceurs.

En dehors du pic et pour la période de restitution postérieure au 5 novembre, la courbe présente une allure similaire à celle des trois autres traceurs. Elle est marquée par l'influence seule de la matière en suspension.

*d- Restitution de l'éosine injectée dans la perte de la Poirelle*

L'éosine injectée dans la perte de la Poirelle n'a pas été retrouvée au captage de la source. La courbe des signaux bruts, obtenus de l'analyse par spectrophotomètre UV, pour l'éosine, est présentée en annexe n°7.

L'intensité des signaux est suffisamment faible, pour pouvoir conclure à l'absence du traceur.

Les signaux bruts obtenus sont donc engendrés :

- pour la période du 29 et 30/10/03, d'une interférence avec les matières en suspension et le pic de l'uranine ;
- pour la période postérieure au 05/11/03, d'une interférence avec les particules en suspension, constituant la turbidité de l'eau de la source.

*e- Estimation du débit de la source*

Une méthode proposée dans le cahier des charges a été étudiée pour estimer le débit de la source captée. Cette méthode est la suivante : l'eau de la source, en période d'exploitation par le syndicat des eaux, est envoyée par circulation continue, dans une bêche, située au sein de la station de pompage de la source. Un jeu de vannes équipe cette bêche, afin de lui assurer un volume d'eau suffisant pour le fonctionnement des pompes de refoulement vers les château d'eau.

La méthode propose de réaliser une mesure du temps nécessaire au remplissage de la bêche, par l'eau de la source, après manipulation des vannes.

Cette mesure a été considérée comme impossible par les fontainiers du syndicat des eaux, car le temps de remplissage de la bêche par l'eau de la source est très bref et inférieur au temps de manipulation de la vanne. Le dénivelé de l'eau entre les deux est de plus, très faible et ne pourrait donc pas donner une idée juste du débit capté de la source.

La seule méthode pour l'estimation du débit de la source reste donc la mise en place d'un traçage, à réaliser entre la zone captée de la source et l'arrivée de l'eau au sein de la station de pompage. Cet essai, nécessitant l'utilisation d'un traceur différent de ceux utilisés lors du multi-traçage, n'a pas pu être mis en œuvre durant la période de traçage, car la source était inondée et non accessible. Cet essai serait à tenter en période de basses eaux (période d'accès à la source), mais il ne pourrait donner qu'une valeur sous-estimée du débit obtenu durant les essais de traçage.

Des données de la littérature ont donc été utilisées pour la réalisation du bilan de restitution : elles indiquent une valeur de 300 m<sup>3</sup>/h, soit 83 l/s, pour le débit capté et dirigé vers la station de pompage. Les conditions de traçage étant des conditions de hautes eaux, une valeur de 100 l/s a été retenue pour les calculs.

Il faut noter que ces valeurs de débit ne concernent que la partie captée de la source. D'autres résurgences sont présentes, notamment dans le lit de la Creuse, mais elles n'ont pas pu faire l'objet d'un suivi de restitution, ni d'une estimation de débit.

#### IV.1.2. Captage de la Gare

Aucune présence de traceur n'a été retrouvée au niveau du captage de la Gare.

Seuls de très faibles signaux ont été notés en émission, aux longueurs d'onde de l'éosine. Mais ils sont dus à des substances naturelles émettant à la longueur d'onde d'émission de ce traceur.

#### IV.2. Résultats des analyses physico-chimiques

Les résultats des analyses physico-chimiques pratiquées sur les échantillons d'eau, prélevés sur les chasses hydrauliques de deux des points d'injection (la perte du Bois Chambrier et la perte de l'étang Gousseau), sont présentés dans le tableau suivant.

| <b>Paramètre</b>          | <b>Eau du Suin</b> | <b>Eau de drainage de la perte de l'étang Gousseau</b> | <b>Unités</b>         |
|---------------------------|--------------------|--|-----------------------|
| Conductivité              | 239                | 288  | µS/cm                 |
| MES                       | 47                 | 10   | mg/l                  |
| pH laboratoire            | 7.70               | 6.65   | Unité pH              |
| T° de mesure (pH/cond)    | 21                 | 20.9   | °C                    |
| Turbidité néphélométrique | 82                 | 20   | NTU                   |
| Ammonium                  | <0.05              | <0.05  | mg/l                  |
| Calcium                   | 31.4               | 25   | mg/l                  |
| Magnésium                 | 3.7                | 5.2  | mg/l                  |
| Nitrates                  | <2                 | 46.0   | mg/l                  |
| Nitrites                  | <0.02              | <0.02  | mg/l                  |
| Silicates                 | 21.6               | 29.1   | mg/l SiO <sub>2</sub> |
| Sodium                    | 7.5                | 17.5   | mg/l                  |
| Sulfates                  | 5.6                | 25.7   | mg/l                  |
| TAC                       | 9.1                | <2.0   | ° français            |
| Th                        | 9.4                | 8.4  | ° français            |
| Fer total                 | 1230               | 737  | µg/l                  |
| Manganèse total           | 175                | 19   | µg/l                  |

Ils montrent des teneurs plus élevées pour l'eau du Suin, en MES, turbidité, fer total et manganèse total et des valeurs plus fortes pour les eaux de la perte de l'étang Gousseau, en conductivité, nitrates et sulfates. Ces valeurs caractérisent véritablement :

- pour le Suin : une eau de vidange d'étang ;
- pour la perte de l'étang Gousseau : une eau de drainage agricole. Il faut noter que cette analyse a été menée en dehors d'une période de fertilisation ou d'épandages agricoles de pesticides.

#### IV.3. Résultats obtenus des suivis par le fluorimètre de terrain.

Les signaux obtenus du fluorimètre, pour la fluorescéine et l' amino-G acide, montrent de fortes interférences dues à la présence d'une turbidité importante, durant la période de restitution.

La courbe des signaux obtenus pour l'uranine, montre une forte disparité avec les résultats obtenus par le spectrophotomètre UV. Elle ne reproduit pas le pic de restitution reconnu par l'autre mesure. Cette courbe est présentée en annexe n°8.

La courbe des signaux obtenus pour l' amino-G acide montre un fort signal de fluorescence naturelle, engendré par la matière minérale et la matière organique de la turbidité. Cette fluorescence n'est pas distinguable d'un éventuel signal du traceur.

Les courbes de restitution obtenues du fluorimètre, n'ayant pas permis de repérer le maximum de concentration des traceurs suivis (c.f. chapitre IV.4), les restitutions n'ont pas pu être repéré en temps réel. Les prélèvements d'eau pour les analyses physico-chimiques sur le captage de la source (c.f. chapitre IV.4) n'ont donc pas pu être réalisées.

#### IV.5. Bilan de restitution

Ce bilan a été réalisé pour la restitution de l'uranine (injectée à la perte de Bois Chambrier) et obtenue sur le captage de la Source.

Les paramètres pouvant être déduits de ce traçage sont présentés dans le tableau ci-dessous.

| Paramètre   | Valeur               |
|---|----------------------|
| Durée avant restitution du traceur                                | 156.75 h (6.5 jours) |
| Temps modal de restitution  | 196.75 h (8.2 jours) |
| Durée totale de restitution                                       | 552 h (23 jours)     |
| Vitesse d'apparition du traceur                                   | 0.97 m/s             |
| Vitesse modale d'apparition du traceur                            | 0.77 m/s             |
| Temps moyen de séjour   | 268.9 h (4.5 jours)  |
| Vitesse moyenne apparente de restitution                          | 33.9 m/h             |
| Vitesse moyenne de transfert                                      | 38.4 m/h             |
| Masse totale restituée  | 40.19 g              |
| Pourcentage de restitution  | 8 %                  |
| Concentration maximale restituée                                  | 1.29 ng/ml           |
| Dilution minimale (concentration maximale/concentration initiale) | 1.29 E-8             |
| Dilution unitaire (concentration maximale / masse injectée)       | 2.58 E-9             |
| Section théorique du drain  | 10 m <sup>2</sup>    |

Les vitesses sont calculées sur la base d'une distance apparente de 9 110 m (entre la perte du Bois Chambrier et la source de Gombault).

Le temps moyen de séjour a été calculé à partir de l'allure générale de la courbe de restitution (fig. n°4).

La masse totale restituée est calculée sur la base d'un débit de 100 l/s (c.f. chapitre IV.3.1).

La section du drain, bien que théorique, correspond relativement bien aux dimensions des ouvertures karstiques observées sur le terrain.

## V- Conclusion

Les essais de multi-traçage réalisés par injection sur des gouffres du voisinage de la source de Gombault et par suivi de restitution sur les captages de la Source et de la Gare, ont montré la présence d'une relation entre l'une des pertes située en rive droite de la Creuse et le captage de la Source.

La perte ayant montré, sans doute possible, une alimentation de la source, est celle qui est la mieux alimentée en eau : il s'agit de la perte du Suin. A partir de cette perte, la circulation de l'eau souterraine suit un cheminement apparent de plus 9 km, le long d'un talweg piézométrique, mis en évidence lors de la campagne piézométrique d'avril 2000 (Rapport Vectra Réf. 20 504). La circulation souterraine passe ensuite sous la rivière de la Creuse, pour aller alimenter la source de Gombault.

La courbe de restitution du traceur, ainsi que le bilan de restitution montrent des teneurs relativement faibles du traceur restitué (8% en masse, seulement), mettant en évidence des phénomènes de rétention du traceur sur les argiles et les matières en suspension de l'eau souterraine. Les conditions de transfert d'un véritable polluant ne peuvent donc pas être considérées comme reproduites ici, avec les colorants de traçage.

## Bibliographie

**Le Gall Emmanuel** – 1997-98. Cavités karstiques et hydrogéologiques en Brenne- Mémoire de Maîtrise des Sciences de l’Environnement. Faculté de Tours – 28 p.

**Groupe suisse des hydrogéologues, groupe de travail « traceurs »**. Guide pratique pour l’usage des traceurs artificiels dans les eaux souterraines (extraits).

**Meus P.** Les traçages artificiels, outils de reconnaissance et d’étude des aquifères karstiques – CNRS - 8 p.

Annexe n°1. Carte de localisation des gouffres  
situés sur le talweg piézométrique entre le Suin et la Creuse



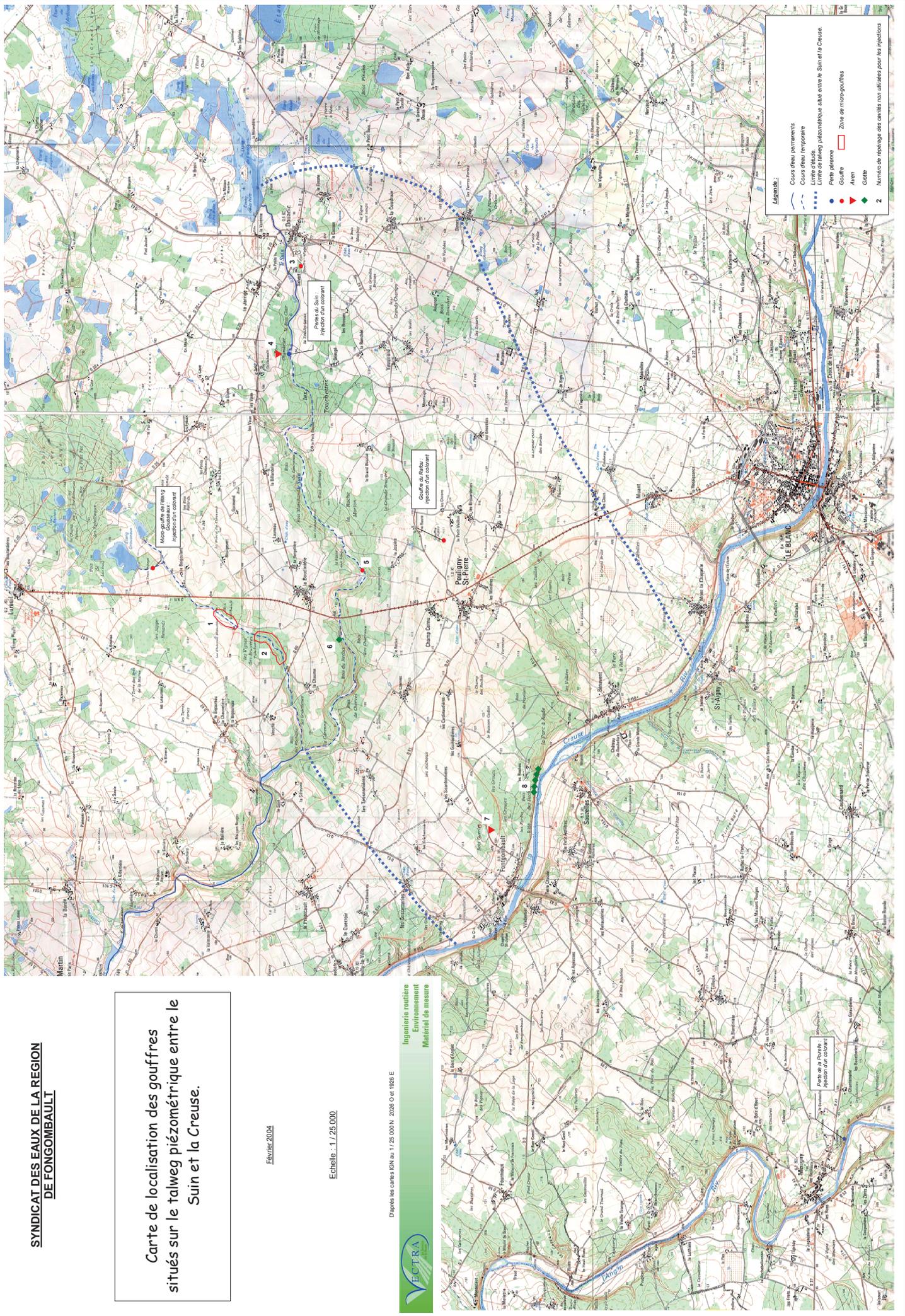
Carte de localisation des gouffres  
situés sur le talweg piézométrique entre le  
Suin et la Creuse.

Février 2004

Echelle : 1:725.000

D'après les cartes IGN au 1:25.000 N. 2038 O et 1925 E

Ingenierie routière  
Environnement  
Matériel de mesure





Annexe n°2. Planches photographiques des gouffres  
situés sur le talweg piézométrique entre le Suin et la Creuse  
(Hors sites d'injection)

*Photo n°1 : Gouffre de Salvert*



Photo n°2 : Aven de Merlangeon



Photo n°3 : Grotte de la Chaume



*Photo n°4 : Grand aven de Fontgombault*



*Photo n°5 : Grottes des Roches*





## Annexe n°3. Présentation du fluorimètre

**II - Description du fluorimètre**

Le fluorimètre est destiné à mesurer en continu la concentration de l'eau en uranine ou en sulforhodamine (autres traceurs en option). L'eau à analyser transite à l'intérieur de la chambre optique (tube de verre de section cylindrique). Le système optique se compose de deux lampes montées sur un axe, et de 2 photodiodes sur l'axe perpendiculaire. Des filtres d'excitation et de fluorescence différents équipent les 2 axes. Les lampes s'allument à tour de rôle, ce qui permet de mesurer 4 réponses indépendantes. Le cycle d'acquisition comprend également la mesure de la réponse des photodiodes en l'absence de lumière d'excitation, permettant une compensation du niveau zéro de celles-ci. Une troisième lampe (rouge) équipe les sondes de surface. Elle permet une détermination précise de la turbidité.

Le coffret de mesure est étanche aux projections d'eau. Il contient l'électronique d'acquisition et la batterie au plomb scellée. La conversion analogue-digital se fait à 16 bits. Les signaux analogiques amplifiés sortant des photodiodes sont disponibles sur les 2 sorties BNC. Ils sont utiles pour la mesure continue au moyen d'un voltmètre. Le signal varie entre 5 et 2500 mV, cette dernière valeur correspondant à une valeur digitale directe de  $2^{16}$ . La valeur minimum de 5 mV est en réalité un offset réglé intentionnellement, de façon à éviter des excursions négatives du signal.

### Annexe n°4. Influence de l'uranine sur l' amino-G acide

#### Influence d'un traceur sur l'autre :

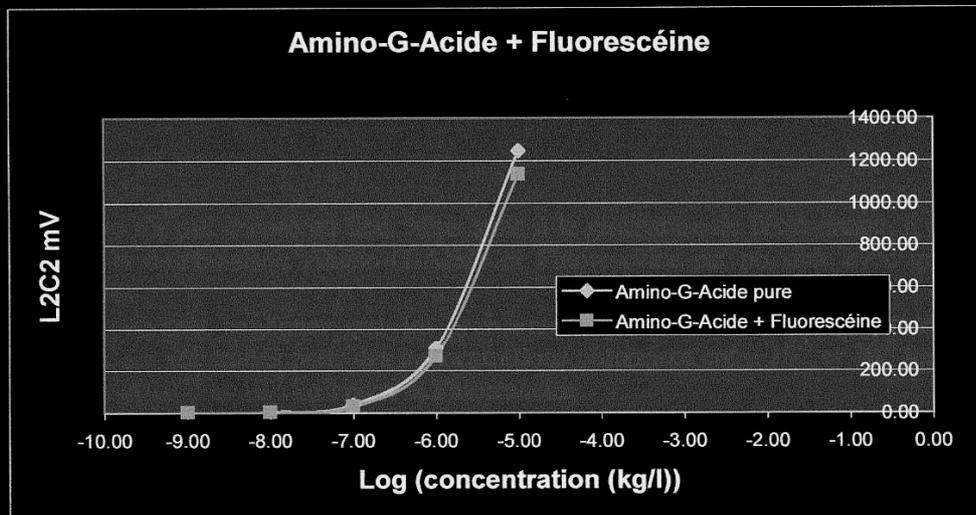
Pour être sûr que le traçage sera efficace, il faut vérifier que les traceurs n'interfèrent pas entre eux. Pour cela des échantillons ont été préparés avec les deux traceurs. La Fluorescéine étant détectable à des concentrations 100 fois plus faibles que pour l'Amino-G-Acide, nous avons réalisé des solutions avec un rapport de 100 entre les deux traceurs pour qu'ils aient une reconnaissance identique sur leur longueur d'onde respective.

Les résultats suivants ont été obtenus :

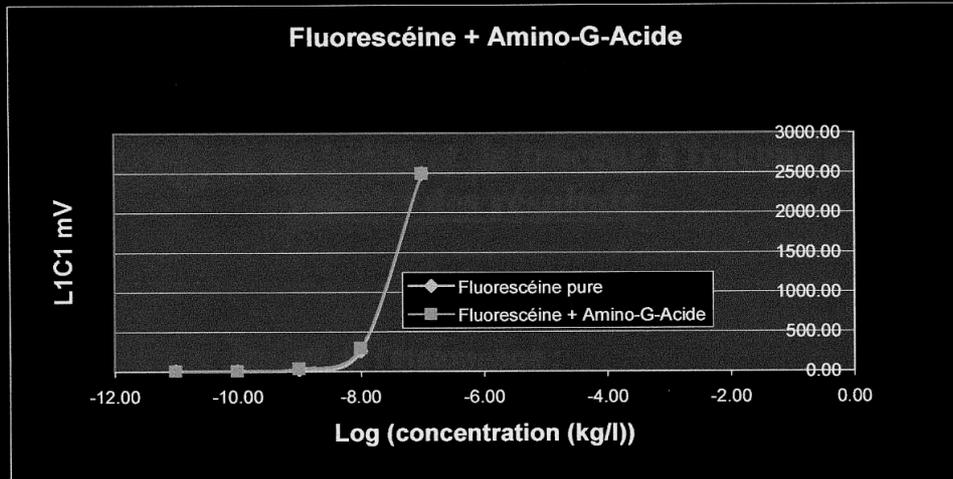
| Fluorescéine+AminoG  |                        |                        |                       |                       |                       |
|----------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| le 04-07-03          |                        |                        |                       |                       |                       |
| Concentration (kg/l) | $10^{-11}$ ; $10^{-9}$ | $10^{-10}$ ; $10^{-8}$ | $10^{-9}$ ; $10^{-7}$ | $10^{-8}$ ; $10^{-6}$ | $10^{-7}$ ; $10^{-5}$ |
| L1C1 (mV)            | 3.00                   | 4.30                   | 27.10                 | 256.00                | 2495.00               |
| L1C2 (mV)            | 15.00                  | 10.80                  | 29.00                 | 8.00                  | 12.50                 |
| L2C1 (mV)            | 0.10                   | 0.30                   | 5.50                  | 50.20                 | 274.00                |
| L2C2 (mV)            | 0.30                   | 3.20                   | 30.00                 | 269.00                | 1135.00               |

Tableau de correspondance entre le signal électrique et les concentrations en Amino-G-Acide et Fluorescéine.

Ces résultats nous donnent les courbes suivantes :



Courbe de correspondance entre le signal électrique et la concentration en Amino-G-Acide en solution avec de la Fluorescéine



Courbe de correspondance entre le signal électrique et la concentration en Fluorescéine en solution avec de l'Amino-G-Acide.

Ces résultats montrent que les deux traceurs n'agissent pas l'un sur l'autre puisqu'on retrouve les valeurs obtenues lorsqu'ils sont seuls en solution. On peut signaler une baisse de la valeur L2C2 avec la concentration de  $10^{-5}$  kg/l qui peut être perçue comme le même phénomène qu'avec la turbidité. Il serait de nouveau intéressant de continuer les essais avec d'autres combinaisons de concentrations de traceurs (les mêmes pour les deux par exemple).

### Conclusion

Le traçage n'a pas encore eu lieu. Mais suite à la réalisation de l'étalonnage, il est bon de signaler que la combinaison Amino-G-Acide et Fluorescéine est possible avec quelques petits changements.

Il faut également souligner que les problèmes d'influence n'ont pas été totalement étudiés puisqu'ils ont été traités pour des concentrations comprises entre  $10^{-5}$  et  $10^{-8}$  kg/l pour l'Amino-G-Acide et  $10^{-11}$  et  $10^{-7}$  kg/l pour la Fluorescéine.

De plus le fichier de calibrage n'a pas encore été testé avec des solutions de traceurs à concentrations connues.

## Annexe n°5. Etalonnage du fluorimètre

**Etalonnage du fluorimètre GG-FL 39 pour un traçage à la Fluorescéine et à l'Amino-G-Acide****Influence de la turbidité et de traceur à traceur sur la validité des résultats****Fonctionnement et objectif de l'étalonnage :**

Le fluorimètre GGUN-FL 39 est un appareil renfermant :

- 3 lampes émettrices de faisceaux lumineux ;
- 3 cellules réceptrices de faisceaux lumineux.

Chaque lampe envoie un faisceau adapté à l'élément qu'elle doit mesurer :

- la première lampe L0 émet un faisceau permettant de mesurer la turbidité de l'eau ;
- la deuxième L1 émet un faisceau lumineux à la longueur d'onde d'excitation du traceur auquel elle correspond, dans notre cas ce sera la Fluorescéine. Ce faisceau est réceptionné par la cellule réceptrice adaptée ;
- la troisième lampe L2 émet un faisceau excitateur du deuxième colorant, ici l'Amino-G-Acide, et réceptionné par la troisième cellule.

Les réceptions sur les cellules se traduisent par l'émission de signaux électriques, mesurés et fournis par l'appareil en millivolt. Quatre signaux sont en fait fournis par l'appareil, ils correspondent aux couples émission-réception suivants : L1C1, L1C2, L2C1, L2C2.

Dans notre cas, les signaux des couples L1C1 et L2C2 correspondent aux excitations respectives de la Fluorescéine et de l'Amino-G-Acide. L'intensité de ces signaux est directement dépendante de la concentration des colorants recherchés. Il est donc possible par un étalonnage de définir une corrélation entre la concentration du traceur et l'intensité du signal reçu. Cet étalonnage doit bien entendu être réalisé à partir d'échantillons de colorants de concentrations connues. Il sera mené pour chaque changement de lot de traceurs à détecter car les caractéristiques peuvent changer. Il faut également réaliser cet étalonnage lors de tout changement de lampe et cellule car l'ouverture de la sonde entraîne des modifications de positionnement des éléments optiques (lampe, tube de verre, cellule) qui entraînent des variations d'absorbance. La réalisation de l'étalonnage pour la Fluorescéine et l'Amino-G-Acide sera présentée dans un premier chapitre.

Avant la réalisation d'un traçage avec l'aide du fluorimètre, il faut s'assurer de la présence des lampes adaptées dans l'appareil. Dans notre cas, la Fluorescéine possède son propre système lampe-cellule réceptrice. Par contre, pour l'Amino-G-Acide, la lampe servant à la détection du colorant Tinopal a été utilisée. Les longueurs d'onde de fluorescence des deux colorants sont en effet suffisamment proches l'une de l'autre pour cela.

Le changement d'un couple lampe-cellule sera opéré de façon délicate, la longueur des fils de jonction avec l'appareil étant relativement juste.

Le filtre à installer a également une couleur adaptée au traceur à détecter.

L'appareil étant relié à une interface informatique, une modification sera ensuite menée dans le fichier informatique, calibrat.dat, permettant l'interprétation des résultats par le logiciel FLUO.EXE. C'est en effet dans ce fichier (dont il faut toujours garder le format) que les résultats de l'étalonnage devront être saisis pour obtenir une transformation correcte des intensités en concentrations.

De plus le traçage à réaliser se trouve dans une zone de vidange d'étangs qui apporte des matières en suspension et donc une turbidité plutôt importante. Nous devons donc tenir compte de ce fait et vérifier l'absence d'influence de celui-ci sur la détection des traceurs.

L'influence de la turbidité sur la détection de chaque traceur doit donc être étudiée. Elle fera l'objet d'un deuxième chapitre.

De la même façon, on devra vérifier l'influence des traceurs l'un sur l'autre, celle-ci sera traitée dans le troisième chapitre.

### Etalonnage

Ce chapitre présente les différents essais réalisés afin de mener les étalonnages nécessaires à l'utilisation de l'appareil. Ces informations sont saisies dans le fichier calibrat.dat.

#### *Les Traceurs*

La réalisation de l'étalonnage nécessite la préparation de plusieurs échantillons des deux traceurs, à des concentrations différentes. L'une de ces concentrations doit obligatoirement être de  $10^{-7}$  kg/l.

L'étalonnage réalisé le 23/05/03 et répété les 02/07/03 et 03/07/03 a permis de mettre en corrélation les concentrations des traceurs et les réponses par signaux électriques (mV) de l'appareil. Ces signaux sont à chaque fois relevés pour les quatre combinaisons de lampes et cellules réceptrices : L1C1, L1C2, L2C1, L2C2.

Les résultats obtenus sont présentés dans les deux tableaux suivants. Ces tableaux marquent la correspondance entre la concentration (en kg/l) du traceur étudié (Amino-G-Acide puis Fluorescéine) et le signal électrique (en mV) reçu des combinaisons lampes-cellules.

| Amino-G-Acide        |            |            |            |            |            |
|----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| le 23-05-03          |            |            |            |            |            |
| Concentration (kg/l) | $10^{-11}$ | $10^{-10}$ | $10^{-09}$ | $10^{-08}$ | $10^{-07}$ |
| L1C1 (mV)            | 0.90       | 1.10       | 1.10       | 0.95       | 1.30       |
| L1C2 (mV)            | 6.20       | 6.00       | 7.10       | 5.90       | 6.00       |
| L2C1 (mV)            | 0.20       | 0.30       | 0.20       | 0.70       | 5.50       |
| L2C2 (mV)            | 0.30       | 0.30       | 0.70       | 3.00       | 29.30      |
| le 02-07-03          |            |            |            |            |            |
| Concentration (kg/l) | $10^{-11}$ | $10^{-10}$ | $10^{-09}$ | $10^{-08}$ | $10^{-07}$ |
| L1C1 (mV)            | 1.30       | 1.10       | 1.00       | 0.80       | 1.10       |
| L1C2 (mV)            | 5.90       | 6.00       | 6.60       | 6.40       | 5.80       |
| L2C1 (mV)            | 0.20       | 0.30       | 0.30       | 0.50       | 6.40       |
| L2C2 (mV)            | 0.20       | 0.40       | 0.40       | 3.00       | 36.00      |

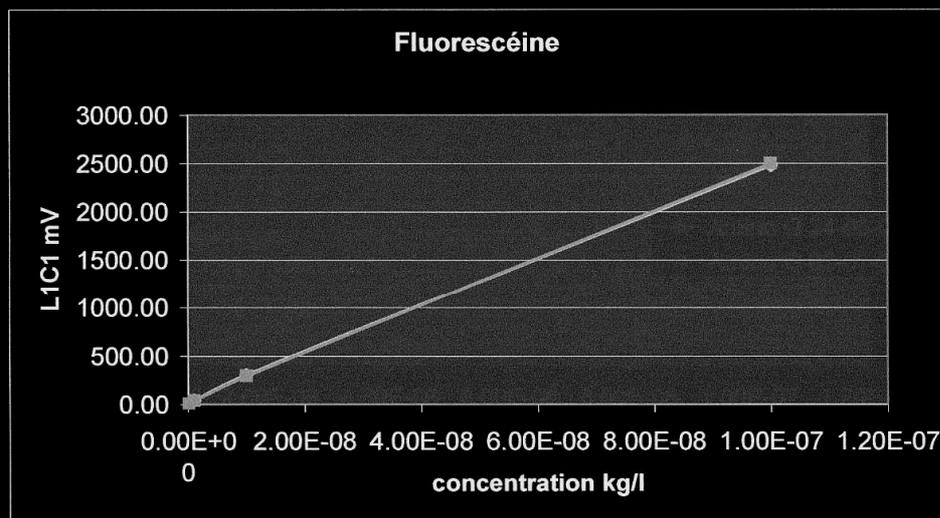
| Concentration (kg/l) | 10 <sup>-06</sup> | 10 <sup>-05</sup> | 10 <sup>-04</sup> | 10 <sup>-03</sup> |
|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| L1C1 (mV)            | 1.05              | 2.75              | 17.00             | 99.80             |
| L1C2 (mV)            | 5.90              | 5.80              | 5.50              | 6.20              |
| L2C1 (mV)            | 54.50             | 220.70            | 29.00             | 16.10             |
| L2C2 (mV)            | 306.40            | 1246.00           | 138.00            | 53.50             |

Tableau de correspondance entre la concentration en Amino-G-Acide et le signal électrique.(à lire sur L2C2).

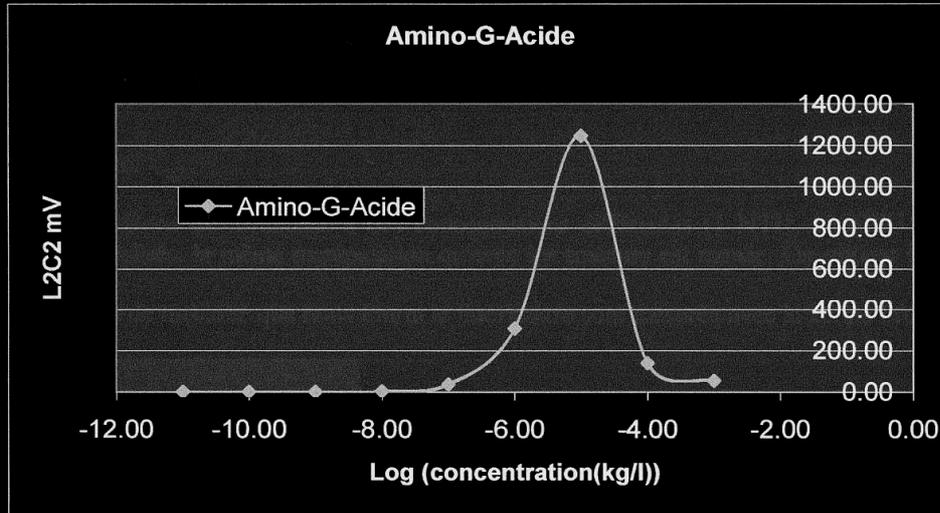
| Fluorescéine  |                   |                   |                   |                   |                   |
|---------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| le 23-05-03   |                   |                   |                   |                   |                   |
| concentration | 10 <sup>-11</sup> | 10 <sup>-10</sup> | 10 <sup>-09</sup> | 10 <sup>-08</sup> | 10 <sup>-07</sup> |
| L1C1 (mV)     | 2.10              | 4.10              | 34.80             | 302.50            | 2480.00           |
| L1C2 (mV)     | 6.00              | 5.70              | 5.60              | 5.70              | 5.80              |
| L2C1 (mV)     | 0.10              | 0.10              | 0.40              | 3.80              | 27.60             |
| L2C2 (mV)     | 0.10              | 0.10              | 0.30              | 1.50              | 13.70             |
| le 02-07-03   |                   |                   |                   |                   |                   |
| concentration | 10 <sup>-11</sup> | 10 <sup>-10</sup> | 10 <sup>-09</sup> | 10 <sup>-08</sup> | 10 <sup>-07</sup> |
| L1C1 (mV)     | 1.47              | 4.00              | 32.00             | 290.00            | 2495.00           |
| L1C2 (mV)     | 5.80              | 6.00              | 5.80              | 5.90              | 7.10              |
| L2C1 (mV)     | 0.00              | 0.20              | 0.50              | 3.80              | 32.00             |
| L2C2 (mV)     | 0.10              | 0.10              | 0.30              | 1.60              | 13.50             |

Tableau de correspondance entre la concentration en Fluorescéine et le signal électrique (à lire sur L1C1).

Ces résultats nous permettent de tracer les courbes d'étalonnage concentration-signal électrique relatives à chaque traceur. Ces courbes sont les suivantes :



Courbe d'étalonnage de la Fluorescéine.

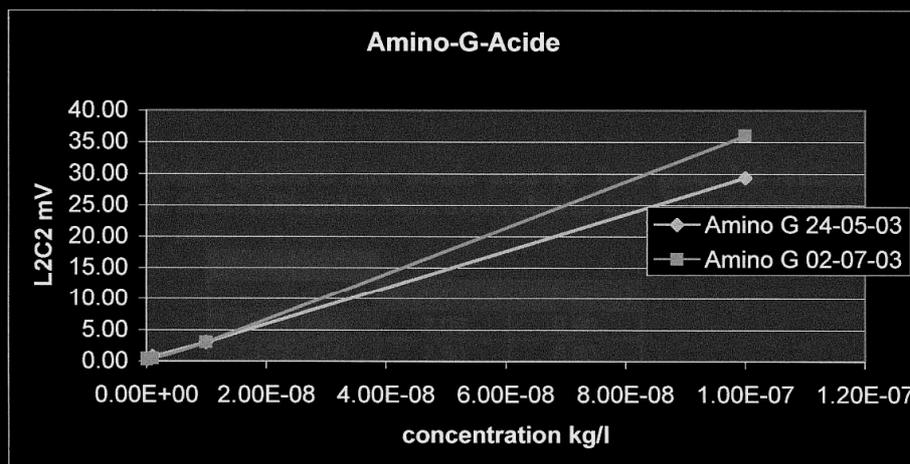


Courbe d'étalonnage de l'Amino-G-Acide.

On constate pour l'Amino-G-Acide que cette courbe n'est pas linéaire (attention à l'échelle des abscisses présentée en log). Cela rend plus difficile la détection car il faudra que l'Amino-G-Acide se trouve à la sortie du traçage avec une concentration supérieure à  $10^{-8}$  kg/l et si possible inférieure à  $10^{-5}$  kg/l, en effet dans cette plage de valeurs la courbe est linéaire.

On peut interpréter la non linéarité par un phénomène d'autoabsorbance ou de saturation de la cellule : l'excitation diminue avec la hausse de la concentration à partir de  $10^{-5}$  kg/l.

On obtient entre  $10^{-10}$  et  $10^{-7}$  kg/l, avec une échelle arithmétique, la droite suivante :



Détail de la courbe d'étalonnage l'Amino-G-Acide pour des concentrations comprises entre  $10^{-10}$  et  $10^{-7}$ .

Un constat important peut être déduit de ces résultats : la Fluorescéine est détectable pour des concentrations 100 à 1000 fois plus faible que celles de l'Amino-G-Acide ( $10^{-10}$  kg/l)

et  $10^{-8}$  kg/l respectivement) dans l'eau pure et non turbide. Bien que le traçage puisse être réalisé sans problème, il reste à savoir si en cas de faible concentration, l'Amino-G-Acide reste repérable dans un milieu turbide ou sous une présence importante de Fluorescéine.

## Annexe n°6. Etude de l'influence de la turbidité sur les résultats du fluorimètre

### *La Turbidité*

Des échantillons de formazine à des concentrations différentes (1 NTU, 10 NTU et 100 NTU) sont réalisés, la même manipulation qu'avec les traceurs est menée. On obtient les valeurs suivantes :

Les valeurs de turbidité que nous fournit le fluorimètre sont mesurées avec la lampe L0.

| Turbidité              |       |        |         |
|------------------------|-------|--------|---------|
| Le 06-06-03            |       |        |         |
| Turbidité en unité NTU | 1 NTU | 10 NTU | 100 NTU |
| L1C1 (mV)              | 0.90  | 1.60   | 6.00    |
| L1C2 (mV)              | 7.50  | 22.50  | 151.90  |
| L2C1 (mV)              | 0.00  | 0.10   | 0.20    |
| L2C2 (mV)              | 0.01  | 0.10   | 0.01    |
| Le 02-07-03            |       |        |         |
| Turbidité en unité NTU | 1 NTU | 10 NTU | 100 NTU |
| L1C1 (mV)              | 1.40  | 1.60   | 6.20    |
| L1C2 (mV)              | 7.30  | 21.00  | 151.30  |
| L2C1 (mV)              | 0.20  | 0.20   | 0.30    |
| L2C2 (mV)              | 0.20  | 0.20   | 0.30    |

Tableau de correspondance entre la turbidité et le signal électrique.

La turbidité a une influence sur la valeur L1C2. Ces données sont utilisées pour l'étalonnage du fluorimètre, elles doivent donc pour cette raison être considérées.

La turbidité ne montre pas une influence forte sur les valeurs L1C1 et L2C2. On peut supposer qu'elle n'aura pas non plus d'influence sur la détection des traceurs.

Les valeurs obtenues seront rentrées dans le fichier calibrat.dat, elles seront ainsi prises en compte dans l'interprétation par FLUO.EXE.

### *L'Eau*

Des essais doivent également être menés avec de l'eau pure, les résultats étant également saisis dans le fichier calibrat.dat. Nous avons obtenus les valeurs suivantes :

| Eau       |             |             |
|-----------|-------------|-------------|
|           | le 25-05-03 | le 06-06-03 |
| L1C1 (mV) | 2.00        | 0.90        |
| L1C2 (mV) | 7.50        | 6.80        |
| L2C1 (mV) | 0.30        | 0.10        |
| L2C2 (mV) | 0.40        | 0.10        |

Tableau de correspondance entre l'utilisation de l'eau pure et le signal électrique obtenu.

Les valeurs de détection dans l'eau sont fort heureusement très faibles ce qui montre que seuls les traceurs réagissent lors du passage des solutions.

### Influence de la turbidité

Pour connaître l'influence de la turbidité sur la détection des traceurs, on a réalisé par dissolutions, des échantillons de traceurs avec différents niveaux de turbidité (1 NTU, 10 NTU et 100 NTU). Ces solutions sont analysées par le fluorimètre et donnent les résultats suivants :

*L'Amino-G-Acide :*

| AminoG+Turb.         |  |                   |        |         |                   |         |         |
|----------------------|--|-------------------|--------|---------|-------------------|---------|---------|
| Le 02-07-03          |  |                   |        |         |                   |         |         |
| Concentration (kg/l) |  | 10 <sup>-09</sup> |        |         | 10 <sup>-08</sup> |         |         |
| Turb.                |  | 1 NTU             | 10 NTU | 100 NTU | 1 NTU             | 10 NTU  | 100 NTU |
| L1C1 (mV)            |  | 1.10              | 1.30   | 6.20    | 0.90              | 1.60    | 6.10    |
| L1C2 (mV)            |  | 7.30              | 20.40  | 155.00  | 7.70              | 20.40   | 151.00  |
| L2C1 (mV)            |  | 0.20              | 0.20   | 0.40    | 0.30              | 0.35    | 1.10    |
| L2C2 (mV)            |  | 0.70              | 0.70   | 1.00    | 4.80              | 4.40    | 4.50    |
| Concentration (kg/l) |  | 10 <sup>-07</sup> |        |         |                   |         |         |
| Turb.                |  | 1 NTU             | 10 NTU | 100 NTU |                   |         |         |
| L1C1 (mV)            |  | 1.10              | 1.70   | 6.00    |                   |         |         |
| L1C2 (mV)            |  | 7.80              | 21.80  | 157.00  |                   |         |         |
| L2C1 (mV)            |  | 6.90              | 7.70   | 6.00    |                   |         |         |
| L2C2 (mV)            |  | 37.00             | 37.80  | 32.80   |                   |         |         |
| AminoG+Turb.         |  |                   |        |         |                   |         |         |
| Le 03-07-03          |  |                   |        |         |                   |         |         |
| Concentration (kg/l) |  | 10 <sup>-06</sup> |        |         | 10 <sup>-05</sup> |         |         |
| Turb.                |  | 1 NTU             | 10 NTU | 100 NTU | 1 NTU             | 10 NTU  | 100 NTU |
| L1C1 (mV)            |  | 1.10              | 1.65   | 6.20    | 2.20              | 2.10    | 7.30    |
| L1C2 (mV)            |  | 7.20              | 21.00  | 159.30  | 7.65              | 6.80    | 162.10  |
| L2C1 (mV)            |  | 44.20             | 47.50  | 48.50   | 216.50            | 213.80  | 188.30  |
| L2C2 (mV)            |  | 255.00            | 265.00 | 267.40  | 1234.00           | 1215.00 | 1061.30 |

| Concentration (kg/l) | 10 <sup>-04</sup> |        |        |
|----------------------|-------------------|--------|--------|
|                      | Turb.             | 1 NTU  | 10 NTU |
| L1C1 (mV)            | 13.60             | 13.40  | 18.00  |
| L1C2 (mV)            | 8.30              | 7.90   | 160.00 |
| L2C1 (mV)            | 30.50             | 30.00  | 31.80  |
| L2C2 (mV)            | 142.30            | 142.50 | 167.00 |

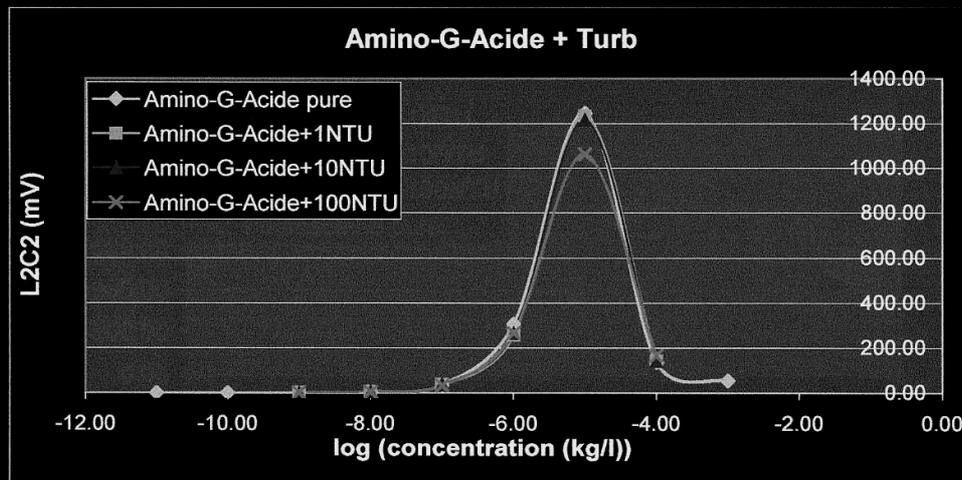
Tableau de correspondance entre l'Amino-G-Acide soumise à différentes turbidités et le signal électrique (mV).

En observant ces valeurs, on constate qu'elles ont le même ordre de grandeur que lorsque la turbidité est absente. En effet le signal électrique détecté sur L2C2 reste très stable lorsque l'on augmente la turbidité (il en est de même pour le signal détecté sur L2C1). Les résultats de l'étalonnage de la turbidité le laissaient prévoir et les mesures ci-dessus le confirment.

De plus sur la ligne L1C2, la solution donne les mêmes valeurs que pour la turbidité seule.

On peut conclure de l'ensemble de ces observations que la turbidité n'a pas d'influence sur la détection de l'Amino-G-Acide car elle agit uniquement sur la valeur L1C2.

La figure suivante présente l'évolution du signal électrique en fonction de la concentration en Amino-G-Acide, sous les trois valeurs de turbidité testées :



Courbes de correspondance du signal électrique-concentration en Amino-G-Acide sous différentes solutions de turbidité.

On constate donc bien une légère baisse (environ 10%) du signal à 10<sup>-5</sup> kg/l.

**La Fluorescéine :**

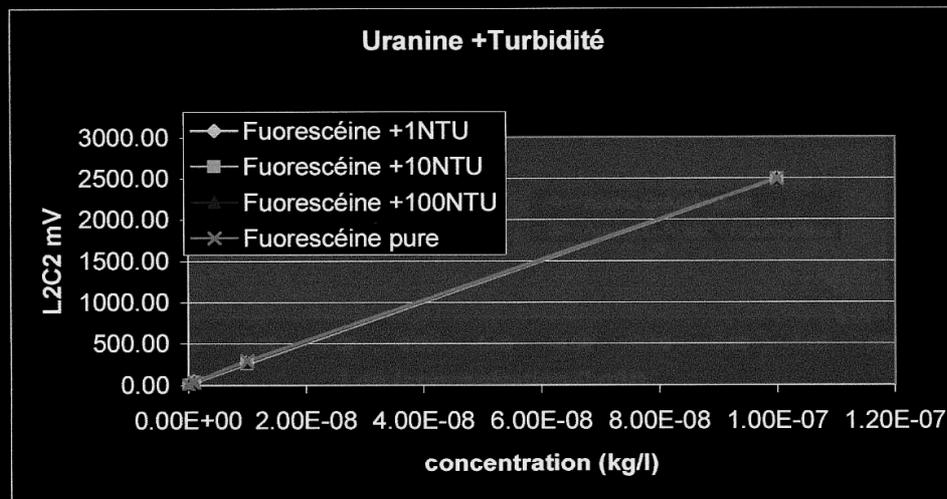
Des tests identiques ont été réalisés avec la Fluorescéine et les résultats sont présentés dans le tableau suivant et la courbe ci-dessous :

| Fluorescéine+Turb.   |                   |        |         |                   |         |         |
|----------------------|-------------------|--------|---------|-------------------|---------|---------|
| Le 03-07-03          |                   |        |         |                   |         |         |
| Concentration (kg/l) | 10 <sup>-10</sup> |        |         | 10 <sup>-09</sup> |         |         |
| Turb.                | 1 NTU             | 10 NTU | 100 NTU | 1 NTU             | 10 NTU  | 100 NTU |
| L1C1 (mV)            | 4.80              | 5.90   | 10.40   | 43.00             | 36.00   | 35.70   |
| L1C2 (mV)            | 12.10             | 21.90  | 160.70  | 8.30              | 21.20   | 158.50  |
| L2C1 (mV)            | 0.10              | 0.10   | 0.30    | 1.20              | 0.30    | 1.80    |
| L2C2 (mV)            | 0.20              | 0.10   | 0.20    | 3.50              | 1.30    | 7.20    |
| Le 03-07-03          |                   |        |         |                   |         |         |
| Concentration (kg/l) | 10 <sup>-08</sup> |        |         | 10 <sup>-07</sup> |         |         |
| Turb.                | 1 NTU             | 10 NTU | 100 NTU | 1 NTU             | 10 NTU  | 100 NTU |
| L1C1 (mV)            | 272.00            | 260.00 | 277.50  | 2495.50           | 2495.00 | 2496.00 |
| L1C2 (mV)            | 9.30              | 22.00  | 155.00  | 11.50             | 21.00   | 160.00  |
| L2C1 (mV)            | 3.20              | 2.50   | 2.90    | 29.00             | 30.00   | 27.00   |
| L2C2 (mV)            | 1.40              | 1.50   | 1.80    | 13.30             | 13.00   | 12.00   |

Tableau de correspondance entre la Fluorescéine à différentes turbidité et le signal électrique (mV).

On constate par rapport à la seule Fluorescéine que les résultats ne sont pas différents et qu'ils ne varient pas en fonction de la turbidité. Par contre la variation sur la ligne L1C2 est toujours présente et identique à celle constatée pour la turbidité seule. On pourrait donc connaître la turbidité avec cette valeur tout en repérant les traceurs.

Pour la Fluorescéine on obtient les courbes suivantes :



Courbes de correspondance signal électrique-concentration en Fluorescéine sous différentes solutions de turbidité et sans turbidité.

Ces résultats montrent que la turbidité n'a pas d'influence sur les traçages à la Fluorescéine.

En conclusion, on peut dire que la turbidité n'a pas d'influence directe sur la réussite du traçage, même s'il serait judicieux de continuer les essais avec des échantillons d'Amino-G-Acide associés à une turbidité plus importante. En effet on ne connaît pas précisément le comportement de ce traceur avec une forte turbidité. Le phénomène d'absorbance pourrait jouer un rôle important et modifier les résultats.

Annexe n°7. Courbes brutes de restitution obtenues  
au captage de la source avec le spectrofluorimètre U.V.

Annexe n°8. Courbes brutes de restitution obtenues du fluorimètre, pour la recherche de l'uranine et de l' amino-G acide sur le captage de la Source