



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

Application au Causse Rouge et à l'aire d'alimentation de la source de Mère de Dieu

Commune de Millau

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

Janvier 2014

Sommaire

1.	Contexte et objectifs	3
2.	Protocole mis en place	3
2.1.	Sélection du point d'injection	3
2.2.	Sélection des points de suivi	5
2.3.	Sélection du traceur et technique d'injection	5
3.	Injections et suivi de la restitution	6
3.1.	Injections	6
3.1.1.	Bassin de rétention A24	6
3.2.	Suivis	7
3.3.	Analyses	8
4.	Restitutions et interprétations	8
4.1.	Bousterjack, Fontliane	8
4.2.	Les Douzes	8
4.3.	Ferme des Vals	8
4.4.	Captage de Peyre (forage)	9
4.5.	Mère de Dieu	9
4.6.	Synthèse restitution	11
5.	Conclusion	13
	ANNEXES I	14

1. Contexte et objectifs

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

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

La source étudiée, Mère de Dieu, concerne la commune de Millau.

2. Protocole mis en place

2.1. Sélection du point d'injection

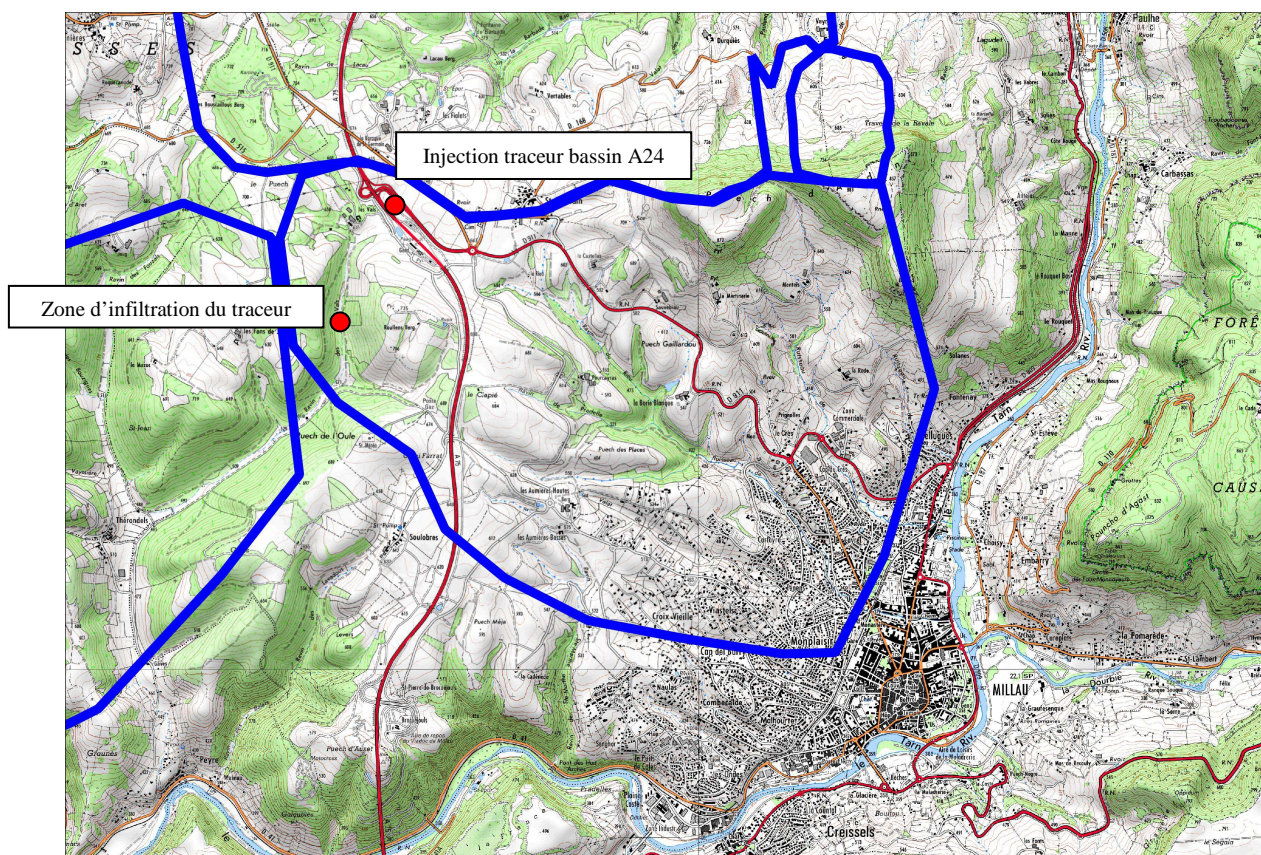
En accord avec la DIR, un bassin de rétention des eaux de pluie de la plateforme autoroutière a été sélectionné pour réaliser l'injection du traceur. Il s'agit du bassin A24 qui est situé à proximité de la barrière de péage. Il concerne, a priori, le bassin d'alimentation de la source de Mère de Dieu, commune de Millau. Actuellement cette source n'est plus utilisée pour l'alimentation en eau potable.

L'emplacement du bassin A24 présente plusieurs intérêts :

- Il est situé en limite Nord-Ouest du bassin d'alimentation de la source de Mère de Dieu, le traçage permettra ainsi d'ajuster au plus près ce bassin d'alimentation ;
- la vidange des bassins autoroutiers s'effectue en général dans des zones d'infiltration préférentielle, garantissant une bonne diffusion du colorant dans le milieu ;
- l'injection dans le bassin permet de simuler une éventuelle pollution depuis l'autoroute A75 via le bassin de rétention.

	x	z	z
Bassin A24	701 801,95	6 337 603,79	640
Zone d'infiltration A24	701 343,18	6 336 581,56	596

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



Carte 1 - Localisation du bassin de rétention A24 et de la zone d'infiltration des eaux du bassin

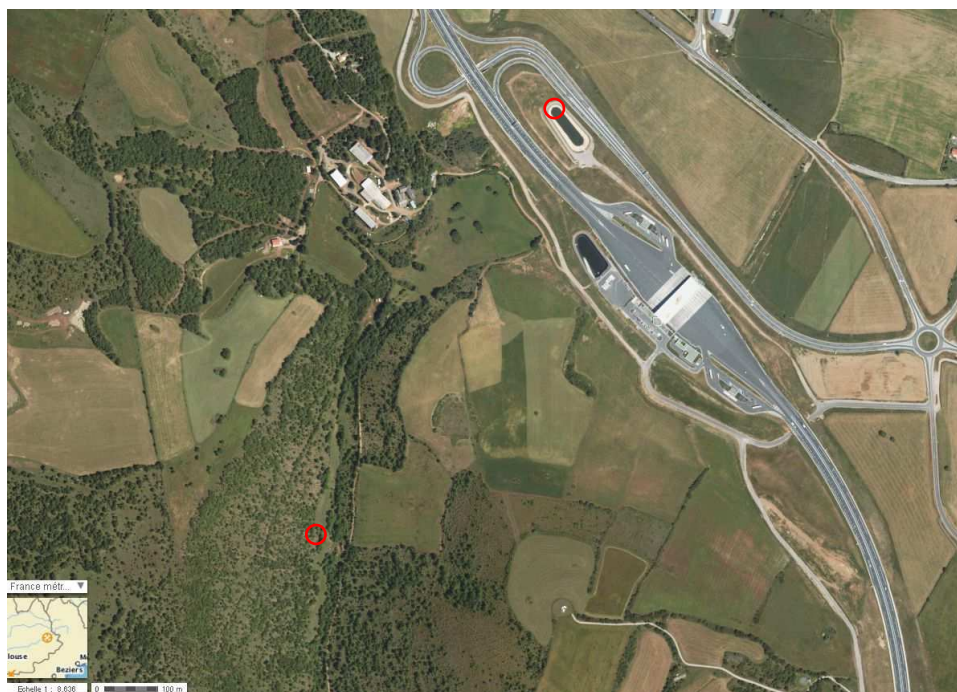


Photo 1 – Bassin A 24 et zone d'injection dans le trop plein (rond rouge) ainsi que zone d'infiltration du trop plein (autre rond rouge)

2.2. Sélection des points de suivi

En sus de la source visée, Mère de Dieu, les sources dont les bassins d'alimentation sont directement mitoyens ou proches de celui de Mère de Dieu ont fait l'objet d'un suivi. Il s'agit des sources de Bousterjack, Fontliane et les Douzes. Le tableau ci-dessous dresse le récapitulatif du suivi.

Sur ces 4 sources, 2 font l'objet d'un suivi quantitatif en continu par les services du Parc Naturel Régional des Grands Causses.

Point d'injection	Source Visé	Source suivies	distance en Km point injection	distance en Km point infiltration	Mesure Débit	Usage AEP	masse traceur en kg
bassin A24	Mère de Dieu	Mère de Dieu	5340	5092	Non	Non	6
		Les Douzes	5934	4845	Oui	Oui (privée)	
		Bousterjack	4150	4990	Oui	Non	
		Fontliane	4330	5240	Non	Non	

Tableau 2 – Récapitulatif du suivi du traçage

En complément du suivi en continu de la restitution du traceur, des prélèvements manuels ont été effectués au captage de Peyre et à la ferme des Vals.

2.3. Sélection du traceur et technique d'injection

Dans un souci d'optimisation de la restitution du traceur, le Parc a utilisé de la fluorescéine en raison de ses caractéristiques intrinsèques qui en fait le colorant le plus performant pour ce genre d'essai.

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

L'injection s'est effectuée de manière instantanée (quelques minutes à quelques dizaines de minutes) afin de simuler une réponse impulsionnelle de type "impulsion de Dirac".

Au préalable, la fluorescéine aura été mélangée dans de l'eau afin d'éviter tout effet de paquet et améliorer la diffusion dans le milieu.

Une mise en eau du système karstique avant injection et après injection (pour pousser le colorant) a été nécessaire. De l'eau stockée au préalable dans les bassins de rétention a permis d'effectuer cette mise en eau.

3. Injections et suivi de la restitution

3.1. Injections

3.1.1. Bassin de rétention A24

Au début du mois d'avril, un épisode pluvieux a eu lieu. Au préalable, les services de la DIR avaient fermé la vanne de trop plein du bassin afin de stocker un grand volume d'eau pour le traçage.

L'injection a eu lieu le 18/04/2012 entre 15h20 et 17h. Environ 36 m³ d'eau ont été injectés avant le traceur pour remettre en eau le système. Après l'injection, le bassin a été laissé ouvert pour pousser le traceur dans la partie noyée de l'aquifère avec environ 280 m³ d'eau.

La situation hydrologique à cette période s'apparente à un étiage hivernal.



Photo 2 – injection de 6kg de fluorescéine dans le trop plein du bassin A24



Photo 3 – infiltration de la fluorescéine en aval du trop plein

3.2. Suivis

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

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

Tableau 3 : protocole de suivi des points contrôlés



Photo 4 – Exemple de préleveur automatique

3.3. Analyses

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

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

4. Restitutions et interprétations

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

4.1. Bousterjack, Fontliane

Aucune restitution n'est constatée.

Pourtant, quelques valeurs observées, couplées à des réponses positives des spectres d'émission et d'excitation, confirment bien la présence de fluorescéine. Cependant, plusieurs paramètres nous permettent de penser qu'il s'agit là d'une pollution des échantillons :

- Les concentrations sont très faibles (quelques nano grammes/mL)
- La restitution ne présente pas une forme structurée.

Une contamination des préleveurs par de la fluorescéine en poudre, très volatile, a pu se produire lors de la préparation du traceur.

Autre hypothèse : une matière naturellement fluorescente est présente dans l'eau et le signal observé est un bruit de fond.

4.2. Les Douzes

Aucune restitution n'est constatée.

4.3. Ferme des Vals

La vidange du bassin A24 s'effectue à proximité de la source des Vals, mais légèrement en aval de celle-ci. Aucun lien hydraulique n'est envisageable mais un suivi a tout de même été mis en place pour s'assurer du bon état du réseau pluvial et de la protection de cette ressource qui est utilisée pour l'alimentation du bétail.

Aucune restitution n'est constatée.

4.4. Captage de Peyre (forage)

Aucune restitution n'est constatée.

4.5. Mère de Dieu

Le 23 avril 2012, le colorant est visible à la source. L'observation est faite par plusieurs personnes et constatée le jour même par les services du Parc. La nature de la coloration ne fait aucun doute. La coloration perdure sur environ 4 jours jusqu'à la confluence avec le Tarn.



Photo 5 – Source de Mère de Dieu le 23/04/2012

La courbe de restitution du traceur est "classique" (cf. figure suivante). On observe le début de la restitution le 21/04/2012 12 :00, soit 3 jours après l'injection. La distance apparente est de 5 km.

La fin de la restitution s'effectue le 09/05/2012 20 :00, 18 jours après la première arrivée du traceur.

Deux pics apparaissent en début de restitution mais qui n'ont pas de réalité physique. Il s'agit soit d'une contamination des échantillons, soit d'une fluorescence naturelle importante des eaux,

soit d'un problème analytique. Une courbe de restitution corrigée est proposée (cf. figure suivante).

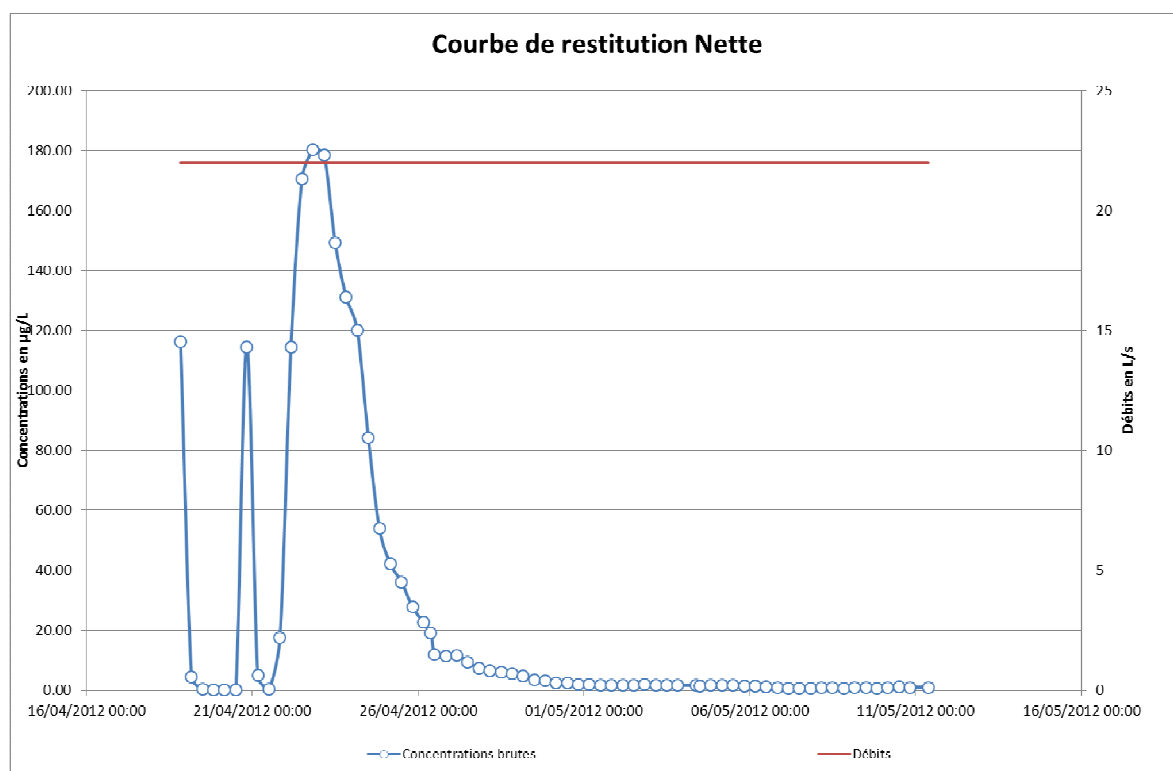


Figure 4 - Courbe de restitution de la fluorescéine à la source de Mère de Dieu

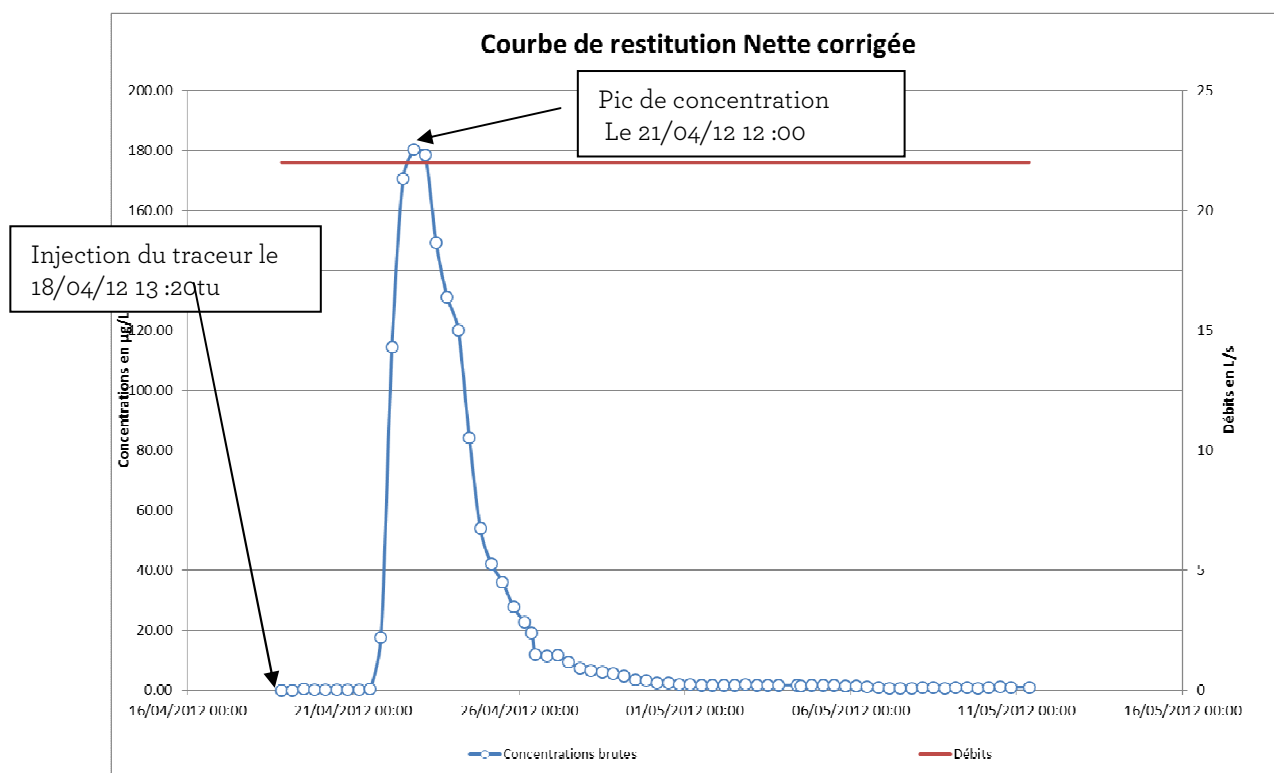


Figure 5 - Courbe de restitution corrigée de la fluorescéine à la source de Mère de Dieu

La vitesse d'apparition du traceur est de 72 m/h et la vitesse moyenne est de 42.44 m/h, ce qui correspond à des circulations que l'on peut qualifier de moyenne au sein de l'aquifère.

La Distribution du Temps de Séjour maximale (entendue comme une approche statistique du temps de transfert le plus court qui a le plus de probabilité de se répéter) est de 4.2 jours.

Sur 6 kg de traceur injecté, 0.923 kg ont été restitués, ce qui correspond à un taux de restitution de 15.4 %, taux plutôt bas mais ne laissant aucun doute sur les résultats.

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

La concentration maximale de traceur restituée à la source de Mère de Dieu est de 180 ng/mL.

La dilution minimale (Rapport entre la concentration maximale du traceur identifié au captage, 0.180 mg/L, et sa concentration initiale dans les 280 m³ d'eau injectés : 21 mg/l) calculée est arrondi à 1/117. Une charge polluante injectée au même endroit, dans les mêmes conditions hydrologiques verra sa concentration diminuer d'un facteur 117. La valeur de dilution minimale peut être qualifiée d'assez moyenne.

La dilution unitaire (Rapport entre la concentration maximale du traceur mesurée au captage et la masse initiale injectée. L'inverse de sa valeur donne le volume d'eau mis en jeu dans la dilution) calculée est de 1/34 000 000 l⁻¹. La masse de traceur injectée (6 kg) a vraisemblablement été diluée dans un volume de 34 000 000 L d'eau (34 000m³) pour expliquer sa concentration en restitution.

4.6. Synthèse restitution

Source de Mère de Dieu	
Injection le	18/04/12 13 :20Tu
Lieu d'injection	Bassin A24
Traceur	Fluorescéine
Restitution	source de Mère de Dieu
Distance apparente	5. km
Masse injectée en g	6000
Masse restituée en g	923
Taux de restitution	15.38 %

Temps	
Apparition traceur	21/04/2012 12 :00
Disparition traceur	09/05/2012 20 :00
Temps modal	4.2 jrs
Durée de restitution	18.3 jrs

Temps moyen de séjour	5.5 jrs
D.T.S max	4.3 jrs

Vitesse	
Vitesse d'apparition	72.06 m/h
Vitesse moyenne	42.44 m/h
Vitesse modale	49.6 m/h
Vitesse apparente	38.42m/h

Concentration et dilution	
Concentration maxi	180 ng/mL
Dilution unitaire	$33 \cdot 10^{-6} \text{ L}^{-1}$
Volume de Allen	$10\,498 \text{ m}^3$

5. Conclusion

La réalisation de ce traçage a permis d'améliorer la connaissance du bassin d'alimentation de la source de Mère de dieu et du Causse Rouge en général.

La restitution est très nette sur la source karstique visée au départ. En effet, le traceur injecté à partir du bassin A24 est arrivé à la source de Mère de Dieu.

La limite proposée par le Parc du bassin d'alimentation de Mère de Dieu n'est donc pas remise en cause par ce traçage.

Le taux de restitution est assez bas, mais cependant suffisant pour valider l'essai.

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

Exemple de calcul pour le bassin A 24 (source captée de Mère de dieu) :

Le taux de dilution unitaire de $34 \cdot 10^{-6} \text{ l}^{-1}$ permet de calculer la concentration maximale prévisible en cas de pollution par un produit dont les caractéristiques seraient semblables au traceur utilisé. Ainsi pour 1 kg de substance déversée, les teneurs maximales attendues au captage de Mère de Dieu seraient de l'ordre de $30 \text{ } \mu\text{g/l}$ pour des conditions hydrologiques identiques.

Pour 1000 kg, les teneurs maximales attendues au captage du Boundoulaou seraient de l'ordre de 30 mg/l pour des conditions hydrologiques identiques.

Il faut tout de même moduler par la capacité totale du bassin A24 qui est d'environ 300 m^3 et sur le fait qu'une pollution ne peut se produire qu'en amont de ce bassin.

Sachant que les normes de potabilité sont de $0.1 \text{ } \mu\text{g/l}$ pour les molécules liées aux phytosanitaires, il est important d'éviter le départ de plus de 4 g de produits toxiques à la sortie du bassin pour ne pas dépasser cette norme.

Le pollutogramme réalisé a permis de définir les seuils de concentration qu'il ne faut pas dépasser afin de ne pas contaminer la ressource en eau captée en aval. Ce pollutogramme a été réalisé en condition de basses eaux (A24). Dans des conditions hydrologiques différentes, les pollutogrammes peuvent évoluer. C'est pourquoi, la gestion du risque passe idéalement par la réalisation de traçages en hautes eaux et en basses eaux.

ANNEXES I
Analyses bassin A24