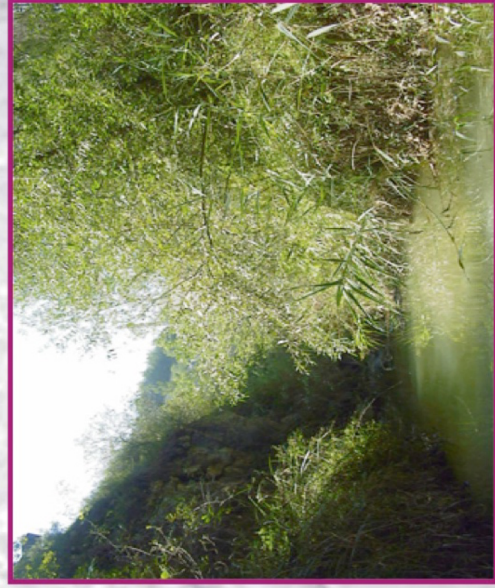




Relation entre les eaux superficielles de la Reppe et le captage en eau du puits de Pépiole



Spélé H₂O



Auteur du rapport : Thierry LAMARQUE

Spélé-H₂O c/o Philippe Maurel la florane bât 13, rue David 83200 Toulon
Tél : 06/15/19/61/03 Fax : 04/94/89/22/53

Spélé H₂O



Plan

Page

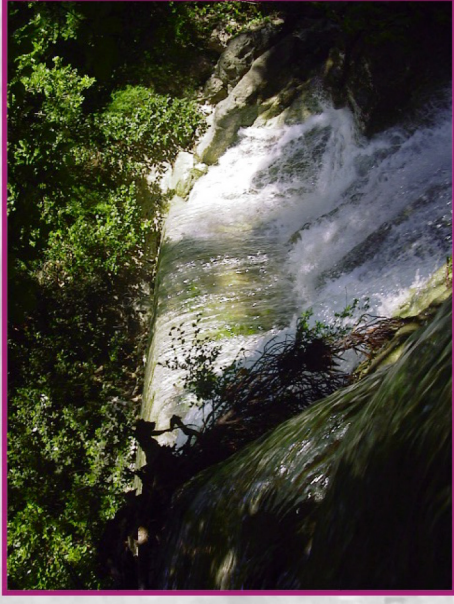
| | | |
|--------|--|----|
| 1) | Objet de l'étude | 1 |
| 2) | Présentation générale du puits de Pépiole | 2 |
| 2.1) | Caractéristique du puits de Pépiole | 2 |
| 3) | Contexte géologique et hydrogéologique du puits de Pépiole | 3 |
| 4) | Evaluation des risques de pollution en fonction des périmètres de protection | 4 |
| 4.1) | Périmètre de protection immédiat | 4 |
| 4.2) | Périmètre de protection rapproché | 5 |
| 4.3) | Périmètre de protection éloigné | 6 |
| 4.4) | Conclusion du géologue | 6 |
| 5) | Résultats des études confiées à spélé H ₂ O | 7 |
| 5.1) | Le devenir des eaux de surface depuis les points d'infiltration | 7 |
| 5.2) | Résultats et conclusions du premier traçage | 7 |
| 5.3) | Résultats du deuxième traçage | 8 |
| 5.3.1) | Le robinet d'eau brute de la DDASS | 8 |
| 5.3.2) | Le puits de Pépiole | 9 |
| 5.3.3) | Le pont de la Reppe | 10 |
| 5.4) | Présentation et expression des résultats | 11 |
| 5.4.1) | La courbe de restitution | 12 |
| 5.4.2) | Le volume d'eau écoulé | 14 |
| 5.4.3) | Les flux du traceur | 15 |
| 5.4.4) | La fonction d'entrée | 16 |
| 5.4.5) | Carte hydrologique de notre étude | 16 |
| 5.5) | Interprétation et synthèse des résultats | 17 |
| 5.5.1) | Interprétation du traçage à la rhodamine | 17 |
| 5.5.2) | Interprétation des deux traçages | 18 |
| 5.5.3) | Intégration des résultats dans une stratégie de prévention des risques de contamination des eaux | 21 |
| 6) | Conclusion | 23 |
| 1) | Annexes 1 / La méthode de traçage | 24 |
| 1.1) | Principe de la méthode | 24 |
| 1.2) | Le choix de la période d'injection | 25 |
| 1.3) | Préparation du traçage | 26 |
| 1.3.1) | Le choix du traceur et la quantité injectée | 26 |
| 1.3.2) | Choix des lieux d'injection et de surveillance | 27 |
| 1.3.3) | Les acteurs du traçage | 27 |
| 1.4) | Mise en oeuvre du traçage | 28 |
| 1.4.1) | Avant l'injection du traceur | 28 |
| 1.4.2) | L'injection du traceur | 28 |
| 1.4.3) | Pluviométrie pendant et avant restitution | 29 |
| 2) | Annexes 2 / Résultats du premier traçage | 30 |
| 2.1) | Avant l'injection | 30 |
| 2.2) | Après l'injection | 31 |
| 2.3) | Les courbes de restitutions | 32 |
| 3) | Annexes 3 / les premières mesures à prendre | 33 |
| 3.1) | Les mesures d'alerte à prendre en cas d'une pollution accidentelle | 33 |
| 3.2) | Les mesures à prendre pour limiter les dégâts | 34 |
| 3.3) | Les mesures préventive à prendre au niveau de la commune | 35 |
| 3.4) | Appliquer une politique de concertation | 36 |
| 4) | Annexes 4 / le plan cadastral | 37 |
| 5) | Annexes 5 / Le tableau des valeurs | 38 |

1) Objet de l'étude :

La gestion équilibrée de la ressource en eau a 2 objectifs :

- assurer la protection des eaux superficielles et souterraines contre toute pollution
- restaurer la qualité des eaux.

Cette gestion vise à satisfaire les différents usages, et plus particulièrement l'alimentation en eau potable, tout en conciliant les exigences particulières de chaque usage.



La Reppe en crue (Photo Philippe Maurel)

La mise en place et l'exploitation d'un captage d'eau destinée à la consommation humaine, la définition des périmètres de protection et la distribution d'eau à la population, doivent respecter une procédure basée sur l'application de nombreux textes législatifs et réglementaires.

La création d'un captage est soumise à déclaration auprès de la DDASS (art.20 du décret n°89-3 modifié) et du DRIRE (art.131 du code minier).

Aussi, la municipalité de Six-Fours les Plages a demandé le 14 mars 1997 au préfet - DDASS la désignation d'un hydrogéologue agréé en matière d'hygiène publique afin d'actualiser la protection du puits de Pépiole qui est une des sources d'approvisionnement en eau de la commune.

M.GRAVOST a été désigné sur proposition du coordonnateur départemental. Il a procédé, en 98, à une expertise qui inclut les données hydrogéologiques existantes; dont les enquêtes du professeur GOUVERNET (1947 à 1950) et celles du bureau d'études E.R.G. (1997).

La présente étude a été demandée par M.GRAVOST. Il préconise une série de traçages dans le drain de la Reppe. Ces traçages permettront de déterminer les relations entre le fleuve " la Reppe " et le captage " puits de Pépiole " .

Le but premier de l'étude est d'évaluer, en situation de fonctionnement normal de l'exploitation et dans le cas d'une pollution accidentelle, les risques de contamination du captage par transfert des eaux de surface depuis les points d'infiltrations sur la Reppe jusqu'au puits de Pépiole.

2) Présentation générale du puits de Pépiole :

La commune de Six-fours a une population de 32000 habitants, qui passe à 70000 en saison estivale.

Elle est alimentée en eau à partir de trois ressources : le Syndicat Intercommunal de Sanary-Bandol-Six-fours-Ollioules, le canal de Provence (usine de Hugueneuve) et le puits communal de Pépiole (ou puits Vernale).

Ce puits assure 15 à 20 % des besoins en eau actuels de la commune.

L'exploitation des réseaux d'adduction et de distribution y compris le puits de Pépiole est gérée en régie.

L'exploitation du puits de Pépiole présente l'avantage de maintenir une diversité des ressources en eau et permet en basse saison un secours pour la desserte du service alimenté à partir du réservoir du Fort. La commune de Six-fours souhaite conserver ces possibilités qui permettent également une économie financière, dans la mesure où les ressources en eau extérieures à la commune sont moins sollicitées.

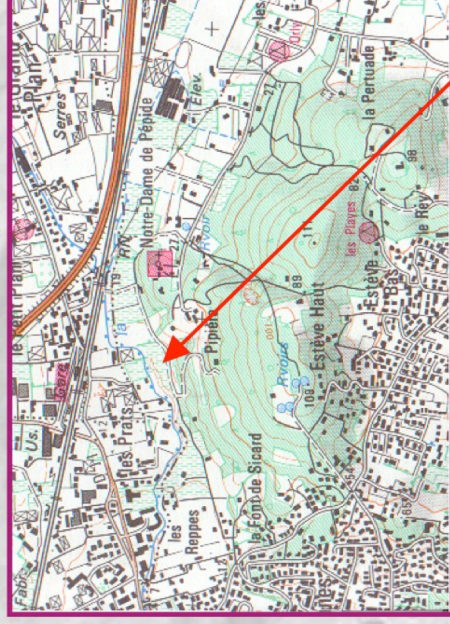


Figure 1 : Situation du puits de Pépiole



Le puits de Pépiole (photo Thierry Lamarque)

Le local est surélevé par rapport au terrain naturel de 0,5 m à 1 m pour s'affranchir des éventuels ruissellements en cas de pluies torrentielles.

Le puits est revêtu intérieurement d'un cuvelage métallique. Il est équipé de deux pompes de 110 m³/h chacune qui fonctionnent en alternance. Le débit d'exploitation maximal de l'ouvrage est de 200 m³/h.

2.1) Caractéristiques du point d'eau :

Le puits de Pépiole est implanté en limite Nord de la commune au lieu dit " Les Prats ". L'eau est pompée à 18,7 m de profondeur.

Il est obturé par des plaques en acier et abrité dans un local fermé au sein d'une aire clôturée de 30 m de côté.

3) Contexte géologique et hydrogéologique du puits de Pépiole

Les eaux du puits proviennent d'un aquifère karstique profond situé dans les calcaires fissurés triasiques du Muschelkalk du bord sud synclinal de Bandol-Ollioules. La nappe est libre à semi-captive avec un sens d'écoulement ENE-OSO.

Ces calcaires sont alimenté en grande partie par les précipitations tombant sur les reliefs du Gros Cerveau et du Croupatier au nord et les hauteurs de Cicié au Sud.

Ils apparaissent aussi en affleurements au nord-est dans les collines de la Bernade et de la Castellane et au sud-ouest sur le mamelon de N.D de Pépiole.

Les dolomies et calcaires du Muschelkalk sont recouverts par la nappe des alluvions de la Reppe et par des éboulis et des limons de pentes. Le secteur présente une tectonisation intense.

La nappe des alluvions est exploitée par des puits particuliers. Elle est alimentée par son impluvium, les irrigations et les eaux de débordement du karst triasique.

La Reppe se perd dans ses alluvions sur 400 m environ entre le pont de l'autoroute et le puits, à moins de 100 m en amont de celui-ci. Elle participe également à l'alimentation des alluvions.

Il y a donc superposition de deux nappes non compartimentées qui constituent un système aquifère complexe où les calcaires assurent l'essentiel des circulations.

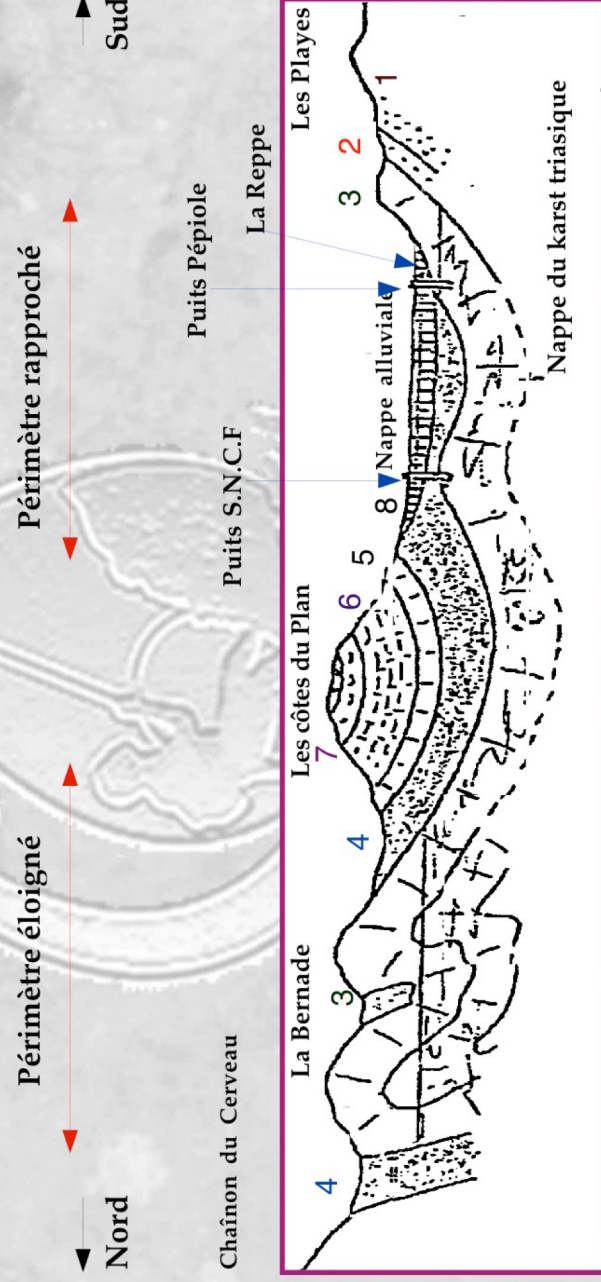


Figure 2 : Coupe géologique Schématique du secteur Est de Sanary (Gouvernet)

- | | | | |
|----------------|---------------|------------|-------------|
| 1 Permien | 3 Muschelkalk | 5 Rhétien | 7 Lias |
| 2 Grés bigarré | 4 Keuper | 6 Dolomies | 8 Alluvions |

4) Evaluation des risques de pollution en fonction des périmètres de protection du captage :

Il convient d'abord de connaître la qualité des eaux (superficielles) de la Reppe et d'évaluer les risques de pollution des eaux souterraines sur l'ensemble du bassin.



L'eau source de vie (photo P.M)

L'inventaire des sources de pollution potentielles a été repéré sur carte en 1996 par l'E.R.G. Il concerne 3 communes : Six-Fours, Sanary, Ollioules.

L'examen des plans d'occupation des sols de ces communes fait apparaître :

- une zone naturelle sur Six-fours.
- une zone urbaine sur Sanary (activités industrielles et artisanales) qui n'intéresse pas la zone aquifère captée par le puits de Pépiole.
- un secteur périurbain sur Ollioules qui est peu dense : artisans et commerces avec encore de nombreuses serres et quelques habitations. A noter la présence de plusieurs dépôts d'hydrocarbures sur ce secteur.

4.1) Périmètre de protection immédiat :

Le périmètre actuel est clôturé et appartient à la commune de Six-Fours. Seules les activités nécessaires à l'exploitation des eaux seront autorisées sur ce périmètre.

4.2) Périmètre de protection rapproché :

Le périmètre de protection rapproché a été défini par le géologue. Ses limites ont été portées sur plan cadastral (cf. annexe 4).

La partie calcaire apparaît actuellement peu menacée par les pollutions accidentelles. Cependant elle présente, au niveau de l'impluvium (territoires des communes de Sanary et d'Ollioules) des risques de pollutions diffuses (habitat, jardins et vignes) susceptibles de s'aggraver avec le développement éventuel de l'urbanisation.

Plusieurs puits privés (Ventre, SNCF et autres captages situés en zone urbaine) constituent des points de pénétration dans la nappe karstique.

La vulnérabilité de la partie alluvionnaire, est en principe moins marquée. Toutefois, il existe des risques de pollution diffuse du fait de la présence de nitrates.

Le géologue recommande de veiller tout particulièrement :

- à la mise en conformité et à l'entretien des assainissements individuels et collectifs ;
- au traitement des rejets d'eau pluviales de l'autoroute dans des récupérateurs d'hydrocarbures avant leur évacuation hors et en aval du périmètre ;
- au recensement et à la mise en conformité avec la réglementation : des stockages domestiques ou industriels, d'hydrocarbures, de produits fermentescibles, ou des produits destinés à la fertilisation et aux traitements phytosanitaires des cultures.

Il propose que dans ce périmètre, soient interdits les faits et activités susceptibles de provoquer l'apparition de pollution des eaux de l'aquifère (conformément à la circulaire du 24 juillet 1990) et tout particulièrement les forages de puits sauf ceux destinés à la collectivité publique.

En règle générale, les éventuels projets d'occupation du sol seront soumis à l'avis du Conseil Départemental d'Hygiène.



L'eau une ressource à protéger (Photo P.M)

4.3) Périmètre de protection éloigné :

Le géologue a défini une zone de vigilance dissociée du périmètre rapproché.

En effet, l'alimentation du puits de Pépiole est essentiellement dépendante des aquifères situés dans les formations calcaires.



La Reppe (photo T.L.)

Dans ce périmètre, les différentes réglementations ayant pour objectif la protection des eaux devront être appliquées scrupuleusement et contrôlées.

Pour ce faire, l'extension des compétences du syndicat intercommunal des eaux est à envisager.

En effet le périmètre de protection éloignée recoupe le périmètre de protection des captages du Baou qui dépendent du Syndicat Intercommunal de Sanary-Bandol (rapport de Mr CAMPREDON de novembre 1997).

Le développement des activités commerciales et artisanales dans la zone située au nord de la route départementale n°11, lieu dit " Côtes du Plan " n'est pas visé aux P.O.S d'Ollioules et de Sanary (parcelles classées en zones naturelles NC,NB). Ce secteur est indépendant géologiquement du domaine de l'aquifère du puits de Pépiole.

4.4) Conclusion du géologue :

Le géologue souligne la forte vulnérabilité du puits de Pépiole du fait de la nature karstique de l'aquifère et de la présence de la Reppe. Sa protection est possible moyennant des précautions particulières dans le périmètre rapproché, dont :

- le contrôle du respect des réglementations générales relatives à la protection des eaux sur la zone d'alimentation.
- l'élaboration et la mise en oeuvre d'un plan d'alerte et de secours.

5) Résultats des études confiées à Spélé H₂O

5.1) Le devenir des eaux de surface depuis les points d'infiltration

L'essentiel des travaux que nous avons réalisés sur le terrain, consiste en deux opérations de traçage qui ont pour but de déterminer les modalités de circulation des eaux de surface infiltrées depuis la Reppe dans ses alluvions jusqu'à leur émergence au niveau du puits de Pépiole.

Nous donnons dans l'annexe 1, le détail de la méthodologie mise en oeuvre pour les 2 traçages.

5.2) Résultats et conclusions du premier traçage :

Ce premier traçage en date du 8 octobre 2001 a été réalisé dans des conditions hydrologiques particulières : la Reppe était en période d'assec depuis 3 mois.

Les données relatives à ce traçage ont fait l'objet d'un premier rapport (remis le 15 décembre 2001). Le détail des résultats figure dans l'annexe 2 du présent rapport.

Nous exposons dans ce paragraphe la synthèse des résultats du premier traçage.

- Le traçage a montré la relation entre les eaux souterraines de la Reppe et le puits de Pépiole dans des conditions extrêmes (Reppe sèche).

- **En moins de 48 h les premières particules du traceur ont été détectées dans le puits de Pépiole.**

- Le temps modal du transit des polluants est compris dans une fourchette de 7 à 12 jours.

- La durée de restitution du traceur est comprise dans une fourchette de 22 à 46 jours.

- La totalité du traceur n'a pas été entièrement restitué (manque 77 %).

- La dilution du traceur est élevée (de l'ordre de 10⁻⁴).

- Les vitesses de transit sont très faibles.

- Il semble que les eaux souterraines circulent dans un milieu karstique fissuré.

L'arrêt du pompage, qui a eu lieu (à la demande de la DDASS) 3 jours après l'injection du colorant a montré que la circulation dans l'aquifère est fortement influencée par l'extraction de l'eau lors du fonctionnement des pompes.

5.3) Résultats du deuxième traçage

Suite à l'arrêt des pompes et dans un souci de rigueur, la régie municipale des eaux de Six-fours a envisagé **un second traçage en période de décrue**.

Ce traçage complémentaire (réalisé en mai 2002) devait permettre d'étudier l'influence du cours d'eau (Reppe) sous d'autres conditions.

Précisons que les résultats du premier traçage ont permis de "caler" certains paramètres, tels que le volume de traceur à employer, la durée et la périodicité de surveillance que l'on déduira des vitesses et des durées de restitution ...

Les résultats concernant des mesures réalisées au trois points de surveillance (cf. annexe 1).

5.3.1) Le robinet d'eau brute de la DDASS :

Dans le puits de Pépiole, nous avons placé un échantillonneur qui prélève un échantillon d'eau toutes les 6 heures.

L'échantillonnage s'effectue au niveau du robinet d'eau brute de la DDASS, situé à l'extérieur du pompage. L'eau brute coule en continu dans un récipient. Le tuyau de l'échantillonneur est autonettoyé par purge.



L'échantillonneur (photo T.L.)



| | |
|--|------------------------------------|
| Nom du point de surveillance | Robinet DDASS |
| Coordonnées lambert | X = 3097,750 Y = 883,250 Z = 12 m |
| Carte I.G.N N° | 3345 Ouest Toulon |
| Commune | Six-Fours |
| Propriété | Six-Fours |
| Type | Captage d'eau potable |
| Débit moyen | 25 l/s |
| Distance point injection-puits de Pépiole | 375 mètres |
| Dénivelés point injection-puits de Pépiole | 15 mètres |
| Pente point injection-puits de Pépiole | Environ 4 % |
| Mode et fréquence de la surveillance | 1 échantillon toute les six heures |
| Durée de la surveillance | du 13/05/02 au 24/06/02 |
| Trace de rhodamine ? | positif, du 15/05/02 au 18/06/02 |

5.3.2) Le forage de Pépiole :

Dans le forage, un opérateur vient prélever un échantillon d'eau 1 fois par jour. Ceci permet de vérifier la bonne marche de l'échantillonneur, et de comparer les résultats des deux échantillons (celui du robinet de la DDASS et celui du forage).

Dans la suite de ce rapport, on ne tiendra compte que des échantillons d'eau pris par l'échantillonneur (robinet DDASS). Les valeurs relatives au forage figurent dans le tableau en annexe 5.



Le forage de Pépiole (Photo P.M)

| | |
|--|-----------------------------------|
| Nom du point de surveillance | Forage Pépiole |
| Coordonnées lambert | X = 3097,750 Y = 883,250 Z = 12 m |
| Carte I.G.N N° | 3345 Ouest Toulon |
| Commune | Six-Fours |
| Propriété | Six-Fours |
| Type | Captage d'eau potable |
| Débit moyen | 25 l/s |
| Distance point injection-puits de Pépiole | 375 mètres |
| Dénivelés point injection-puits de Pépiole | 15 mètres |
| Pente point injection-puits de Pépiole | Environ 4 % |
| Mode et fréquence de la surveillance | 1 échantillon 1 fois par jour |
| Durée de la surveillance | du 13/05/02 au 24/06/02 |
| Trace de rhodamine ? | positif, du 15/05/02 au 20/06/02 |

5.3.3) Le point d'injection (pont du gué)

A titre d'expérimentation, un opérateur a pris quelques échantillons d'eau sur le lieu même de l'injection.

On s'aperçoit que la rhodamine est encore présente dans l'eau de la Reppe 15 jours suivant l'injection.

Même si le colorant reste en faible quantité, il faudra en tenir compte le jour d'une pollution accidentelle.



La Reppe, le jour de l'injection (Photo T.L)



La Reppe, le lendemain (Photo T.L)

| Nom du point de surveillance | Point d'injection |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| Coordonnées lambert | X = 3097,00 Y = 884,375 Z = 14 m |
| Carte I.G.N N° | 3345 Ouest Toulon |
| Commune | Ollioules |
| Propriété | ? |
| Type | Fleuve |
| Débit moyen | 25 l/s |
| Mode et fréquence de la surveillance | 1 échantillon de temps en temps |
| Durée de la surveillance | du 13/05/02 au 24/06/02 |
| Trace de rhodamine : Le 20/05/02 | positif: 1,5 µg/l |
| Trace de rhodamine : Le 28/05/02 | positif: 0,4 µg/l |
| Trace de rhodamine : Le 31/05/02 | positif: 0,5 µg/l |

5.4) Présentation et expression des résultats

L'opération de traçage fournit 3 types de renseignements :

- La fonction d'entrée du système traçage.
- La courbe de restitution du traceur au captage du puits de Pépiole.
- Les variations de débits au forage durant le traçage.

A partir des données de ces trois fonctions, il est possible de relever un certain nombre de paramètres regroupés dans le tableau 1 :



L'injection de la Rhodamine (Photo T.L.L)

Tableau 1 Les données initiales et les données acquises avant restitution du traceur

| Paramètres d'études des données initiales | Paramètres d'étude du puits de Pépiole |
|--|--|
| Coordonnées Lambert point-injection | X = 3097,00 Y = 884,375 Z = 14 m |
| Coordonnées Lambert du puits de Pépiole | X = 3097,750 Y = 883,250 Z = 12 m |
| Distance linéaire le puits de Pépiole-point injection(L) | 375 mètres |
| Pente puits de pépiole-point injection (P en %) | Environ 4 % |
| Dénivelé point-injection base puits de Pépiole (D) | 15 mètres |
| Masse de traceur injectée (Mo) | 5000 grammes |
| Débit au point d'injection (Qe) | débit estimé à 20 l/s |
| Date et heure de l'injection (to) | le 13 mai 2002 à 20 heures |

| Paramètres d'étude Cbe de RESTITUTION | Puits de Pépiole Cbe de RESTITUTION |
|---|--|
| Particules les plus rapides : t1 | le 15/05/02 à 1 heure |
| Particules les moins rapides : t2 | le 20/06/02 à 12 heures |
| Durée de restitution : tr = t2-t1 | 36 jours et 11 heures (875 heures) |
| Temps minimal d'arrivée : tm = t1-t0 | 1 jours et 6 heures (30 heures) |
| Vitesse des particules les plus rapides : Vmax = L/tm | 12,5 mètres / heures |
| Temps modale de transit : T modal | le 15/05/02 à 12 h soit 1 jours et 17h (41 heures) |
| Vitesse modale de transit : Vmodal = L/Tmodal | 9,14 mètres / heures |
| Concentration maximale de sortie : Cmax s | le 25/05/02 à 12 heures soit 65,5 µg/l |
| Concentration moyenne de nuage de traceur : Cmoy s | 6,15 µ g/l |
| Le rapport de la vitesse max sur la vitesse modale (Rv) | 1,36 |

Tableau 2 : Les paramètres déduits de la courbe de restitution

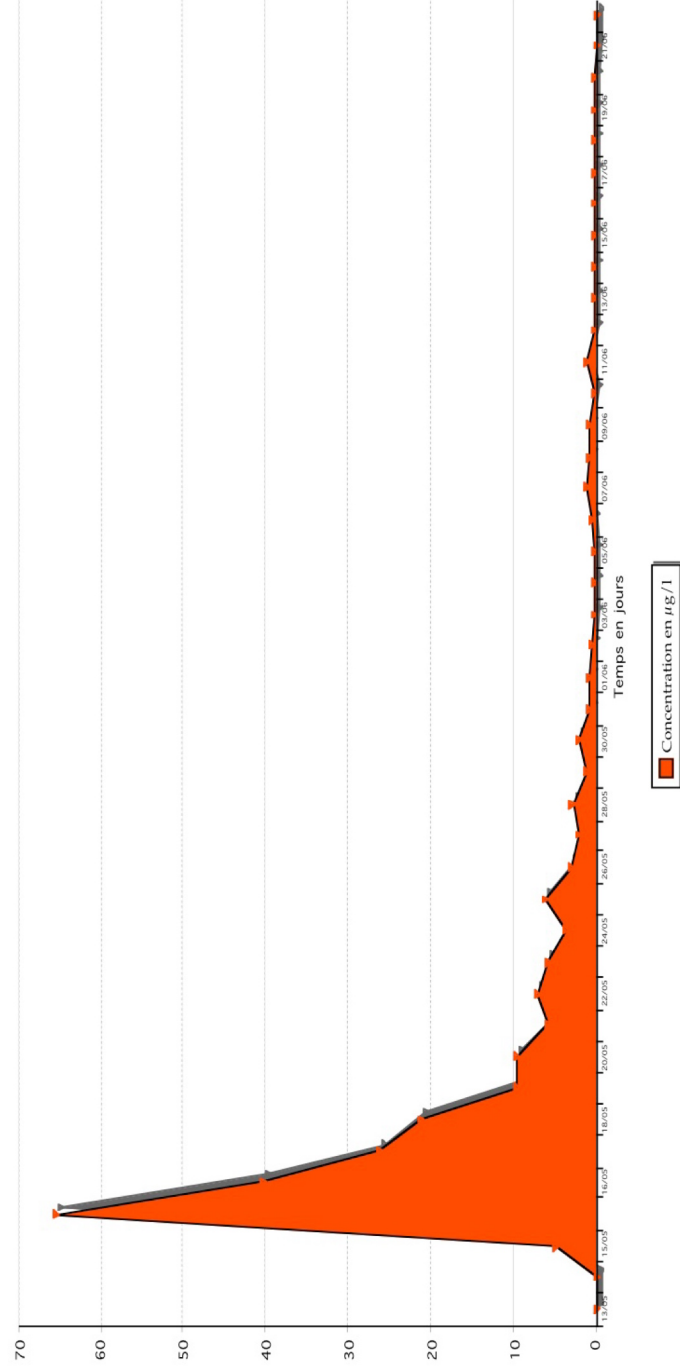
5.4.1) La courbe de restitution et paramètres calculés:

Tous les paramètres présentés sont calculés à partir d'une série de données acquises avant ou lors de l'opération (cf. tableau 1).

La courbe de restitution permet de déterminer les paramètres suivants (tableau 2) :

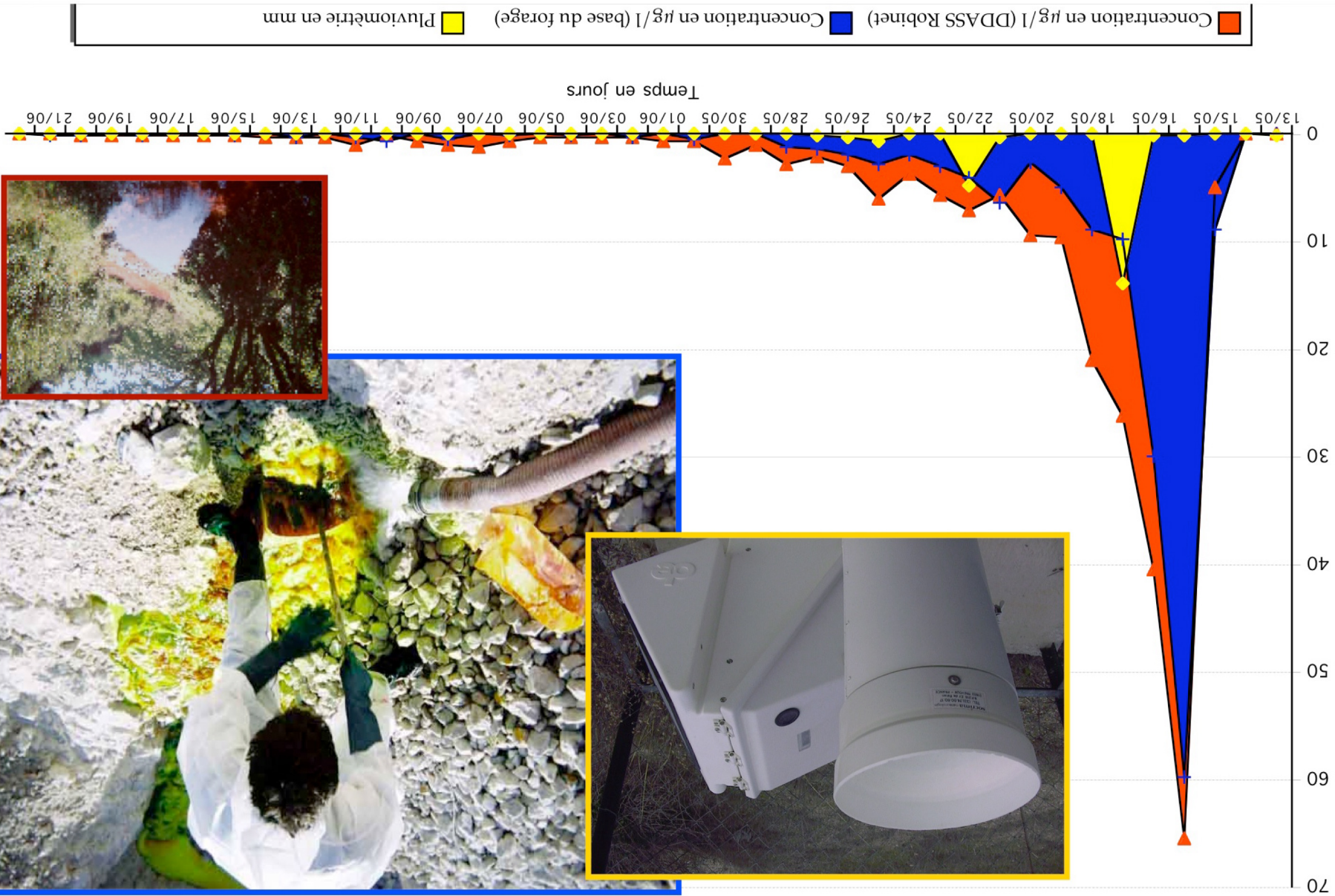
- *Le temps du début de restitution (t1) et le temps de fin de restitution (t2), (1).*
- *La vitesse de transit (Vmax en m/h) calculée entre l'injection (to) et le début de la restitution (t1).*
- *La durée de restitution : c'est le temps écoulé entre l'instant de début (t1) et celui de fin de restitution (t2) ; $tr = t2-t1$. La restitution est considérée comme terminée lorsque la concentration des échantillons s'apparente au bruit de fond des eaux du captage étudié.*
- *Le temps modal de transit (T modal) et la vitesse modale (V modal) de transit sont calculés entre l'instant de l'injection et celui correspondant au maximum de concentration observée.*
- *La concentration maximale de sortie (C max s).*
- *La concentration moyenne du nuage de traceur (C moy s).*
- *Le temps minimal d'arrivée (tm).*
- *La vitesse des molécules les plus rapides (Vmax).*
- *Le rapport R de la vitesse de transit à la vitesse modale, il caractérise la vitesse de la montée des concentrations.*

Courbe de restitution de la rhodamine du puits de Pépiole (robinet DDASS)



(1) t1 correspond à la durée entre le moment de l'injection (to) et le moment de la restitution des premières particules détectables. t2 correspond à la durée entre le moment de l'injection (to) et le moment de la restitution des dernières particules détectables.

Courbes de restitution de la rhodamine en fonction de la pluviométrie



5.4.2) Le volume d'eau écoulé (tableau 3) :

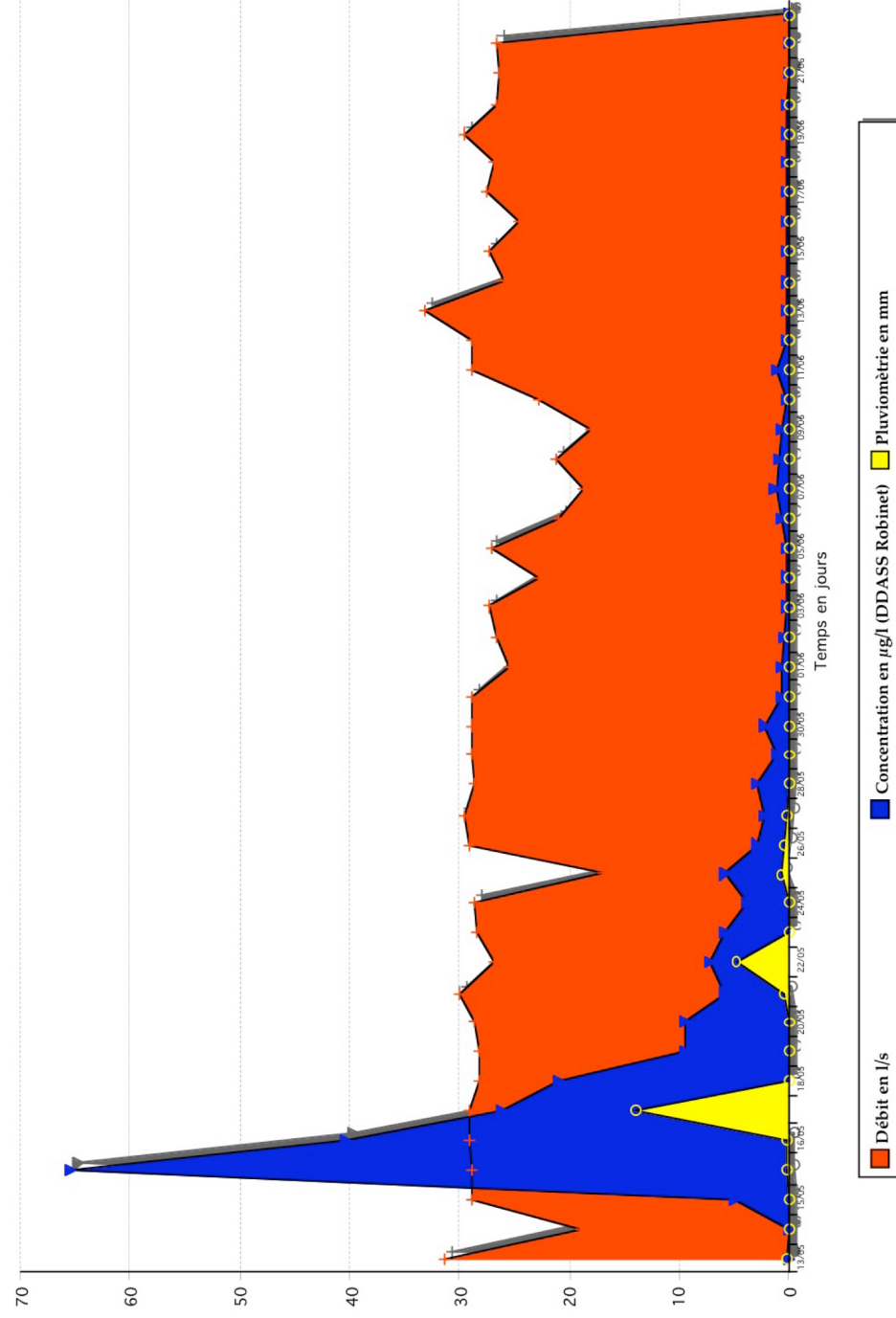
Le calcul du volume d'eau est important car il permet de calculer à partir de t_0 , t_1 , t_2 , le volume d'eau écoulé à l'exutoire avant la restitution ($V_a = \text{débit} \times dt$) et le volume d'eau écoulé à l'exutoire durant la restitution ($V_p = \text{débit} \times dt$).

Pour chacun de ces volumes, il est possible, dans certains cas, de distinguer la contribution respective des écoulements de crue et des écoulements de tarissement. Ces éléments traduisent les processus hydrodynamique intervenus pendant le transit du traceur; ils pourront guider ultérieurement l'interprétation.

Tableau 3 : Volume d'eau écoulé

| Paramètres d'étude DÉBIT | Puits de Pépiole DÉBIT |
|---|----------------------------|
| Volume d'eau à l'exutoire avant restitution : V_a | 4353000 litres |
| Volume d'eau à l'exutoire pendant restitution : V_p | 90759000 litres (36 jours) |

Courbe de restitution de la rhodamine en fonction du débit et de la pluviométrie



5.4.3) Les flux du traceur (tableau 4) :

Ce paramètre exprime la quantité de traceur qui ressort pendant un temps donné.

Le produit du débit par la concentration exprime à un instant donné le flux du traceur (dF) qui passe à l'exutoire.

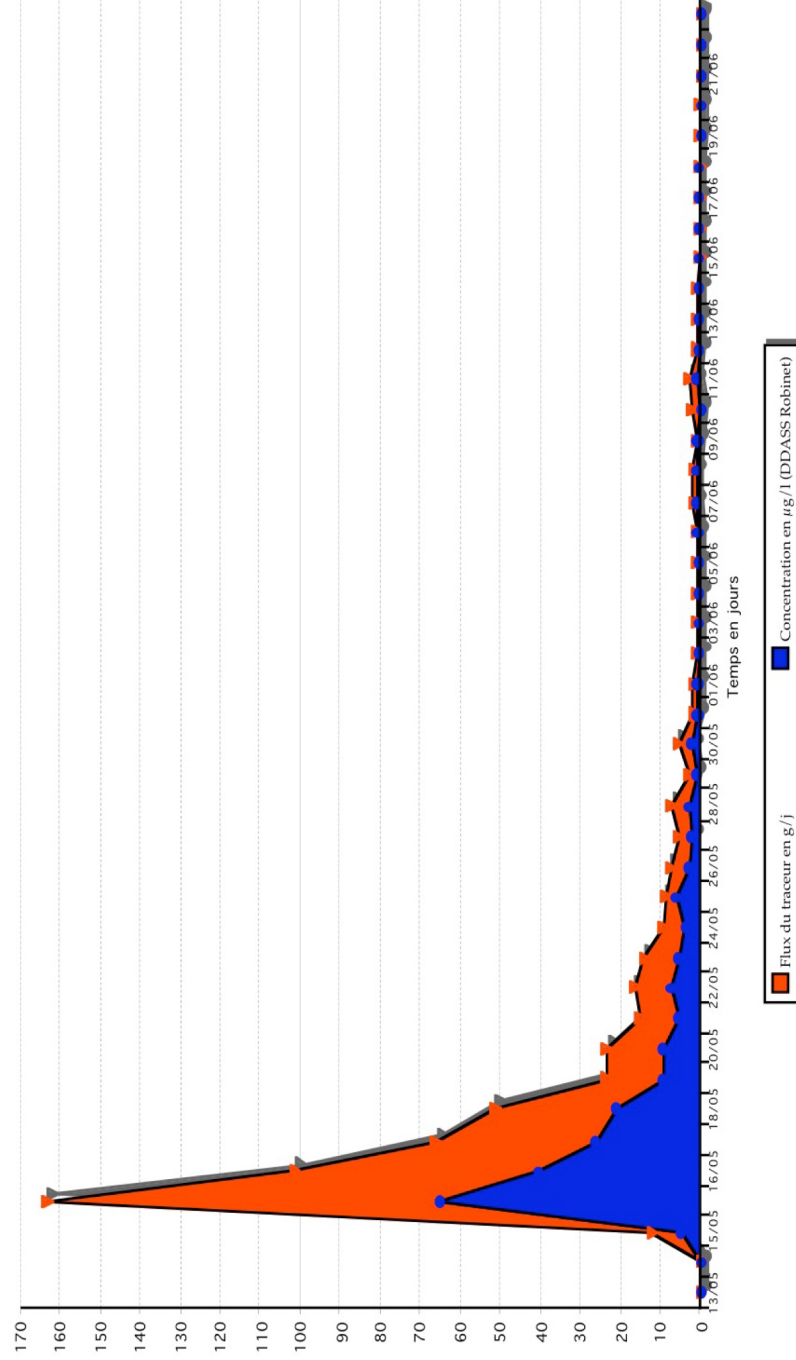
L'intégration de la courbe de flux permet de calculer la masse de traceur restituée à l'exutoire (Mr).

Le rapport entre la masse restituée et la masse initialement injectée (Mo) détermine le taux de restitution (r%). Sa connaissance permet de critiquer les résultats du traçage.

Tableau 4 : Flux du traceur

| Paramètres d'étude FLUX DU TRACEUR | Puits de Pépiole FLUX DU TRACEUR |
|--|----------------------------------|
| Masse de traceur à l'injection : Mo | 5000 grammes |
| Masse de traceur restituée : Mr | environ 548 grammes |
| Pourcentage de restitution : r % = Mr/Mo | 10,98 soit environ 11 % |

Courbe du flux massique du traceur en fonction de la concentration



5.4.4) La fonction d'entrée (tableau 5) :

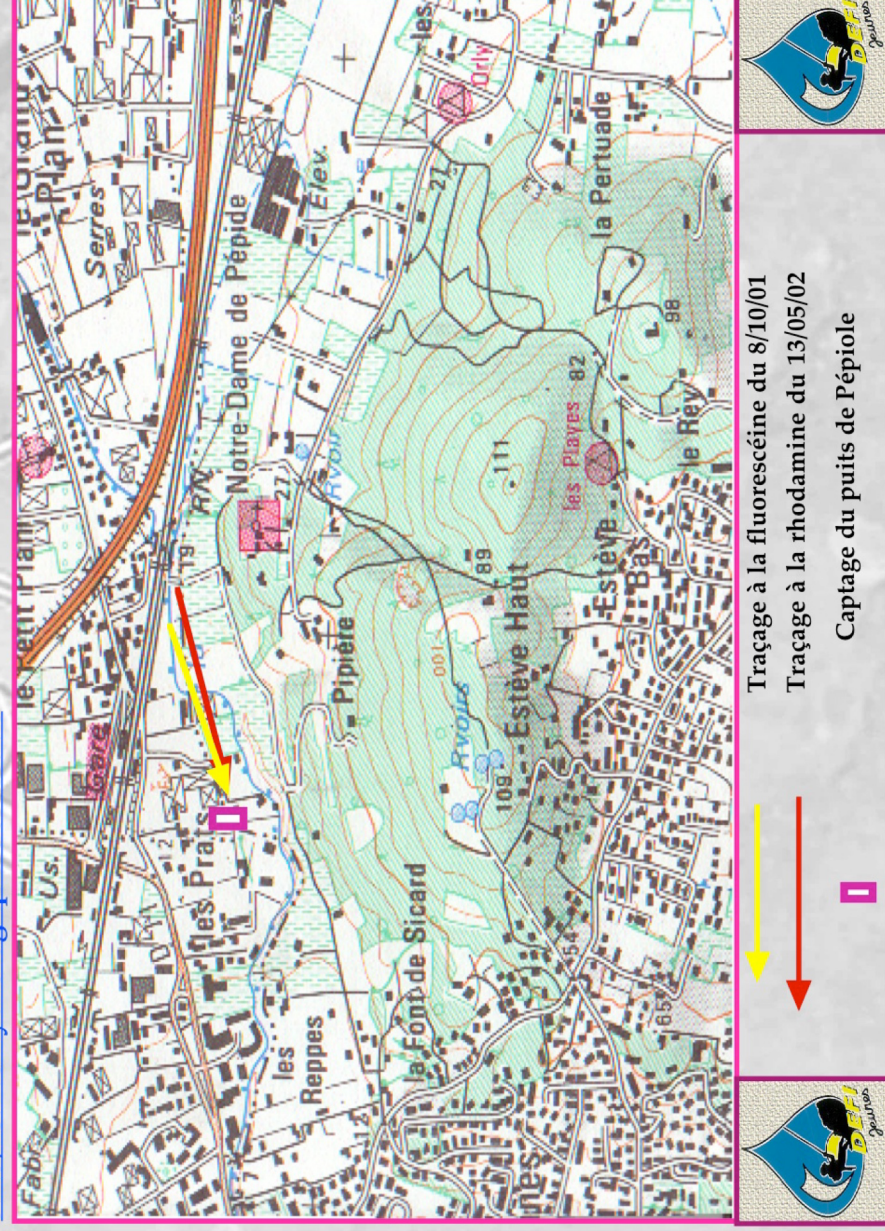
La détermination de la fonction d'entrée du traceur dans le système-traçage présente surtout un intérêt lorsque l'on veut déterminer la dilution.

- La concentration à l'entrée du système (C_{max}) : Elle correspond à la masse de traceur injectée instantanément dans le courant au point d'injection.
- La dilution minimale (d_{mini}) : Elle correspond au rapport de la concentration maximale du captage sur la concentration à l'injection (à l'entrée du système). Elle qualifie la dilution minimale subie par le traceur au cours de son transit et peut être utilisée pour simuler l'impact d'une pollution.
- La dilution moyenne (D_{moy}) : Elle correspond au rapport de la concentration moyenne du captage sur la concentration à l'injection (à l'entrée du système).

Tableau 5 : Détermination de la dilution

| Paramètres d'étude | Puits de Pépiole | Ft ion D'ENTRÉE |
|--|------------------|-----------------|
| Concentration maximale Point injection | 1000000 | µg/l |
| Concentration maximale puits Pépiole | 65,5 | µg/l |
| Concentration moyenne puits de Pépiole | 6,15 | µg/l |
| Dilution minimale en % | 0,00655 | |
| Dilution moyenne en % | 0,000615 | |

5.4.5) Carte hydrologique de l'étude



5.5) Interprétation et synthèse des résultats

Le but de nos deux campagnes de traçages est d'apporter une réponse sur l'existence éventuelle de circulations entre les eaux superficielles de la Reppe et le captage du puits de Pépiole.

La série de calculs extraits des courbes de concentrations précise les caractéristiques des circulations souterraines suivies par les traceurs.

5.5.1) Résultats du traçage de 2002 :

L'étude détaillée de la courbe de concentration en fonction du temps apporte de nombreux éléments, notamment sur :

- l'importance de la dilution de traceur
- les vitesses (vitesses de premières arrivées ou vitesses maximales et vitesses moyennes d'écoulement).
- la dispersion du traceur dans le temps et dans l'espace.
- les taux de restitution

Toutes ces informations servent à caractériser l'aquifère.

Il en ressort que :

- **Les premières particules de rhodamine ont été détectées le 15/05/02 à 1 heure dans le puits de Pépiole.**
- **Le temps minimal d'arrivée est d'environ 1 jour et 6 heures soit 30 heures.**
- **La durée de restitution est d'environ 36 jours.**
- **Le temps modal de transit est d'environ 1 jour et 17 heures soit 41 heures. Il correspond à la durée entre le temps de l'injection et celui de la restitution de la concentration maximale du traceur.**
- **La concentration maximale de sortie est de 65,5 µg/l. Elle correspond à la valeur maximale de concentration mesurée, lue directement sur la courbe de restitution (cf. page 15).**
- **La vitesse modale est d'environ 10 m/ h. Elle correspond à la vitesse d'arrivée des écoulements les plus concentrés.**
- **La concentration moyenne à la sortie du système est de 6,5 µg/l. Elle est établie à partir de la moyenne arithmétique des concentrations mesurées durant la restitution.**
- **Les courbes de pluviométrie et de débits ne montrent pas de relation hydrodynamique entre les eaux de la Reppe et le puits de Pépiole.**



La Reppe (Photo T.L)

5.5.2) résultats des deux traçages (2001 et 2002)

Les deux traçages sont complémentaire, car le contexte hydrodynamique est différent.

A noter que la quantité de traceur et sa nature sont différentes.



La Reppe en rouge (Photo T.L)

Le premier traçage a été effectué dans des conditions optimales :

- 3 mois sans précipitation.
- Reppe sèche (RS).
- injection du traceur dans une perte poussé par 10 m³ d'eau.
- niveau d'eau au plus bas dans le puits de Pépiole.
- arrêt des pompes.

Dans ce cas **la totalité du traceur s'est infiltré dans l'aquifère.**

Le second traçage a été effectué dans des conditions différentes :

- après 1 mois de précipitation.
- Reppe en décrue (RD).
- injection du traceur dans la Reppe, débit estimé à 20 l/s.
- niveau d'eau au plus bas dans le puits de Pépiole.
- pompage régulier (24 h / 24 h).

Dans ce cas, **la totalité du traceur ne s'est pas infiltré dans le système.**

D'un point de vue générale, on constate que dans les deux cas

- le temps minimal d'arrivée est sensiblement le même (30 h RD, 43 h RS).
- la concentration moyenne est sensiblement la même (6,15 $\mu\text{g}/\text{l RD}$, 5,57 $\mu\text{g}/\text{l RS}$).

Ces similitudes peuvent s'expliquer grâce au rapport de la vitesse maximale à la vitesse modale R.

Ce rapport est révélateur (1,36) car il caractérise la vitesse de la montée des concentrations et permet de mieux caractériser le type d'écoulement des eaux souterraines.



La Reppe au point d'injection le lendemain (Photo T.L)

Cette montée sera d'autant plus rapide que le temps entre le début et le maximum de la restitution est bref. Une forte montée est donc exprimée par un rapport faible ;

Elle signifie que le parcours souterrain se déroule dans des conduits bien hiérarchisés, et inversement.

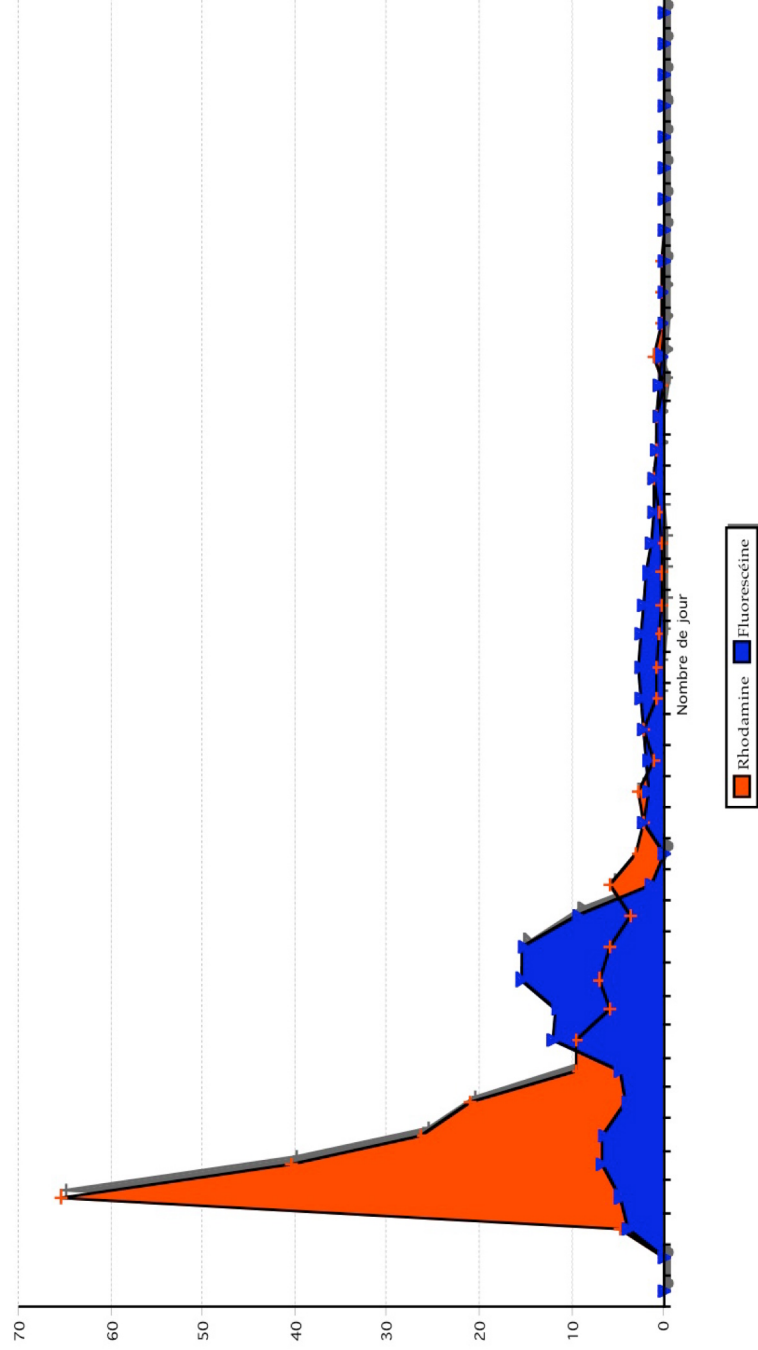
De manière empirique, on a établi la gamme de rapport suivants (Sommeria 1986) :

- $1 < R < 2$: chenaux karstiques hiérarchisés
- $5 < R$: fissures noyées
- $6 < R < 14$: aquifère fissuré non karstique.

On en déduit donc que l'écoulement des eaux se déroule dans des conduits bien hiérarchisés.

De plus, la comparaison des courbes de pluviométrie et des courbes de débit ne montre pas une relation hydrodynamique entre les eaux de crue de la Reppe et les eaux du puits de Pépiole (pas de montée subite du niveau d'eau dans le forage suite à des précipitations).

Courbe de concentration de la rhodamine et de la fluorescéine



Les courbes de concentration (en tenant compte de l'arrêt de la pompe pour le premier traçage) en fonction du temps sont différentes.

Nous constatons :

- une augmentation lente de la concentration, suivie d'une baisse rapide au début, puis lente pour le traçage de 2001 (fluorescéine).
- une augmentation rapide de la concentration, suivie d'une baisse rapide au début, puis lente pour le traçage de 2002 (rhodamine).

Les durées de restitution sont différentes (875 h RD, 547 h RS). Il en est de même pour le temps modal de transit :

- rapide pour la Reppe en décrue (41 h).
- très lent pour la Reppe sèche (235 h).

La concentration maximale est plus élevée dans le cas de la Reppe en décrue (65,5 µg/l) que pour la Reppe sèche (15,6 µg/l).

Ces différences peuvent s'expliquer, d'une part, par la différence des conditions d'injection (Reppe sèche et Reppe en décrue) et, d'autre part, par l'arrêt des pompes du premier traçage.

Par contre, l'arrêt du fonctionnement du forage a démontré que la circulation dans l'aquifère est liée aux mouvements hydrodynamiques induit par le pompage.

5.5.3) Intégration des résultats dans une stratégie de prévention des risques de contamination des eaux

La simulation du transit de substances polluantes nocives en utilisant des substances non toxiques est une démarche fréquemment envisagée, **mais les différences de propriétés physiques et chimiques de ces substances** (souvent probable) sont à prendre en compte car la fluorescéine et la rhodamine ne s'apparentent pas à des hydrocarbures.



Injection du traceur (Photo T.L)

L'important, est de connaître, pour les polluants, **les vitesses des particules les plus rapides**. Ainsi on pourra intervenir efficacement vis-à-vis d'une pollution accidentelle.

Le taux de dilution du traceur est tout aussi important car c'est la connaissance de la dilution minimale qui permettra de prévoir la concentration maximale de restitution d'un polluant déversé accidentellement.

Bien entendu, il faudrait que les conditions hydrodynamiques soient similaires à celles des traçages. On rappellera ici que l'on a effectué deux traçages et que les conditions météorologiques et hydrodynamiques ont été différentes lors de la diffusion du traceur.

En cas d'une pollution accidentelle, les autorités communales et départementales devront prendre des mesures (c.f annexe 3 " les premières mesure à prendre en cas de pollution ") pour la récupération de la pollution.

Les taux de dilution de ces traçages sont relativement élevés, de l'ordre de **1,6 E-4** pour le cas de la Reppe sèche et **6,15 E-4** pour le cas de la Reppe en décrue . Si une substance polluante est déversée dans le cours de la Reppe, celle-ci se retrouverait dans des conditions de fortes dilutions dans le captage.

Rappelons que le toxique devra posséder des propriétés physico-chimiques (adsorption-désorption dans les argiles, diffusion-dispersion, solubilité ou insolubilité dans l'eau etc...) analogues à la fluorescéine et à la rhodamine.

Les concentrations maximales mesurées sont élevées (**15 µg/l RS,65,5 µg/l RD**)*; mais les concentrations moyennes sont inférieures au seuil de toxicité (**5,57 µg/l RS; 6,15 µg/l RD**)

** Si la concentration maximale de sortie (assimilable aux matières polluantes) est inférieure au seuil de toxicité (pour l'homme 10 µg/l pour les hydrocarbures dissous), il n'y aura pas de risque sanitaire, si elle est supérieure il faudra alors prendre des mesures rapides et efficaces (c.f annexe 3 " Les premières mesures à prendre en cas de pollution).*

Les vitesses des particules les plus rapides sont faibles, comprises entre **9 m/h RS** et **12,5 m/h RD**.

Ces vitesses sont faibles, tout comme la distance séparant le point d'injection du captage (375 m).

Les vitesses modales de transit sont faibles, mais différentes (1,6 m/h RS et 9,12 m/h RD). Cette différence pourrait s'expliquer par l'arrêt des pompes (RS) qui provoque un ralentissement de la diffusion du traceur.

Ces données indiquent que les autorités auront peu de temps pour réagir (**30 h RD** et **43 h RS**). Dans les deux cas de figure, en cas de pollution, il faudra impérativement stopper les pompes du forage. Cette mesure ralentira la diffusion du polluant et donc un gain de temps supplémentaire avant qu'il transite jusqu'au puits de Pépiole.

Les taux de restitution sont faibles mais différents (11% RD, 27 % RS) :

- Le faible taux de restitution dans le cas de la Reppe en décline s'explique par le fort débit de la Reppe (**20 l/s**). Il semble donc logique que la majeure partie du traceur (9/10 ième) se disperse dans les eaux de la Reppe (c.f page 10).
- Le faible taux de restitution dans le cas de la Reppe sèche peut s'expliquer par le fait qu'une partie du traceur a été piégée dans l'aquifère (existence de zones noyées) ou adsorbée par les argiles (phénomènes d'adsorption-désorption).

Bien que faible, ces taux de restitution témoignent d'une relation entre les eaux superficielles de la Reppe et les eaux du puits de Pépiole.



Le canal de Provence (Photo P.M)

6) Conclusion

Nous nous proposons de retenir, les éléments les plus significatifs dans l'hypothèse ou dans l'éventualité d'une pollution accidentelle.

Les deux traçages ont démontré la relation entre les eaux superficielles de la Reppe et les eaux du puits de Pépiole.



La Reppe Sèche (Photo T.L.)

Dans l'hypothèse la plus défavorable :

- en 30 heures (RD) les premières particules du traceur ont été détectées dans le puits de Pépiole.
- le temps de transit du nuage du traceur est d'environ 41 heures (RD).
- la durée de restitution du traceur est d'environ 2 mois (RS).

Dans les deux traçages c'est à dire dans des conditions hydrologiques différentes :

- la totalité des deux traceurs n'a pas été entièrement restituée.
- la dilution des traceurs est élevée(de l'ordre de 10^{-4})

Il apparaît que les circulations d'eaux souterraine sont drainées dans des chenaux karstique hiérarchisés, avec la possibilité de la présence d'une zone noyée.

Les courbes de restitution du traceur et les courbes du débit (RS) ont montré que le mouvement des eaux de l'aquifère étudié est étroitement lié au fonctionnement des pompes du forage

les résultats du deuxième traçage confirme ou infirme ceux du premier traçage, mais il démontrent qu'il existe bien une relation entre la Reppe et le puits de Pépiole.

Annexe 1

1) La méthode de traçage

1.1) Principe de la méthode

Une opération de traçage consiste à introduire un marqueur chimique (traceur tel que la fluorescéine) en un point donné d'un karst où d'une rivière pour mettre en évidence une relation éventuelle des eaux d'infiltration avec un ou plusieurs points de sortie des eaux (exutoires).



Injection de traceur (Photo T.LAMARQUE)

Dans le prolongement de l'étude structurale, on détermine le ou les points de sortie d'eau. Ils se situent au point le plus bas de l'aquifère, à proximité du niveau de base. D'éventuelles sources de trop-plein seront repérées.

Enfin, toutes les autres sorties d'eau en périphérie du massif où de la rivière seront répertoriées. Pour chacune, on recherchera le débit (en bibliographie, ou estimé sur le terrain), et on essaiera d'identifier son origine (karstique ou issu de formations superficielles tel que des éboulis...),

Une fois l'injection du traceur réalisée, il faut effectuer des prélèvements d'eau réguliers aux émergences.

Sur les échantillons d'eau prélevés, on mesurera les concentrations en traceur.

A partir de ces mesures on établira la courbe de restitution du traceur.

Les résultats obtenus permettent ainsi de valider le traçage (ou de soulever d'autres questions !) et d'en déduire des précisions sur les modalités de circulation des eaux souterraines.

L'opération est lourde à mener dans son ensemble :

- avant le traçage avec les demandes d'autorisations, recherche de collaborations.
- durant le traçage lui-même qui nécessite un suivi serré des prélèvements au niveau de plusieurs exutoires
- après le traçage, avec la réalisation des analyses et l'exploitation des résultats.

1.2) Le choix de la période d'injection

Si l'on a de l'eau à l'injection, on a toute liberté de choisir le moment. Dans le cas contraire, il faudra attendre une période de crue (pluies prolongées, fonte de neige) et en dernier recours, une citerne d'eau des pompiers ou de carrière peut permettre de " pousser " le traceur jusqu'à ce qu'il rencontre un écoulement pérenne.



La Reppe en Décrue (Photo T.L.)

Mais la question se pose :

Quelle est la période la plus-favorable ?

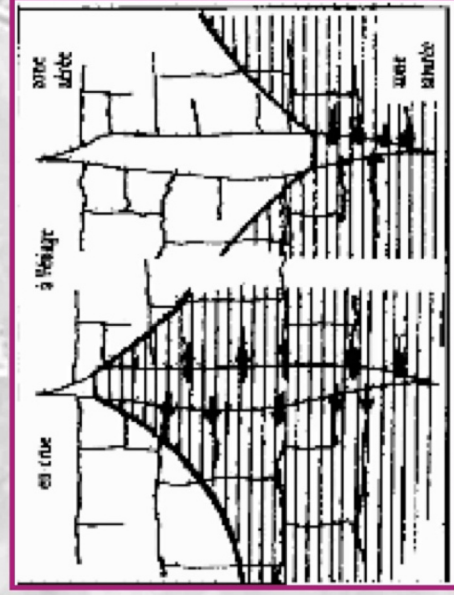


Figure 1 : Le drain dans le karst

- En crue, la situation n'est pas forcément la plus favorable. En effet, l'eau envahissant les drains va en partie recharger les systèmes annexes (fissures, vides mal connectés au drain) et une partie du traceur risque d'être durablement piégée dans ces zones annexes.

C'est d' autant plus vrai lorsque l'épisode de crue surviendra (comme ce fut le cas en 2002) après un long étiage pendant lequel ces systèmes annexes ce sont vidangés. De la même manière; la végétation, les sols, l'épikarst (partie superficielle du karst intensément fissuré), la masse fissurée de la zone vadose sont susceptibles d'intercepter une bonne partie de l'écoulement lors des premières pluies, survenant à la suite d'un long étiage estival et hivernale (c'est le cas pour l'hiver 2002 dans notre région). Par ailleurs, les forts débits vont diluer d'autant le traceur, rendant éventuellement sa détection aléatoire.

- En phase de décrue, en revanche, les drains sont encore alimentés bien après l'épisode pluvieux par la vidange du système fissural. Les écoulements ont donc tendance à converger vers les drains, évitant au traceur de se diffuser dans la masse rocheuse.

En somme, dans la mesure du possible, on privilégiera une injection lors d'une période faisant immédiatement suite à des crues prolongées, avant d'aborder une phase de tarissement.

1.3) Préparation du traçage

1.3.1) Le choix du traceur et la quantité injectée

Les traceurs les plus couramment utilisés sont l'uranine, les (sulfo)-rhodamines, l'éosine etc. D'autres traceurs issus de nouvelles molécules chimiques sont actuellement disponibles, mais les laboratoires susceptibles d'effectuer leur analyse sont beaucoup plus rares que pour les traceurs courants.



Injection à la Rhodamine dans la Reppe (Photo T.L)

Pour l'étude de 2002 nous avons utilisé La rhodamine étant donné que nous avons déjà utilisé la fluorescéine en octobre 2001. La rhodamine a la particularité de ne pas être adsorbées (fixation de molécules sur la surface de corps poreux) par la roche, l'argile ou la matière organique des sols, entraînant des rétentions à l'intérieur du karst et des taux de restitutions plus ou moins faibles.

De plus la rhodamine, en faible quantité apparaît comme étant le traceur le moins toxique pour le milieu. En fait aucun traceur n'est totalement inoffensif, surtout lorsqu'il est concentré, notamment lors de l'injection.

Toutefois, même si certains sont qualifiés de plus ou moins toxiques à l'état brut, l'ample dilution qui se produit rapidement dans la rivière et le karst suffit à les rendre, pour la plupart, parfaitement inoffensifs lorsqu'ils réapparaissent aux émergences où captages.

Il existe plusieurs formules pour estimer à l'avance la quantité nécessaire. Une trop faible quantité entraînera des résultats négatifs, une quantité trop importante, en dehors du coût inutile, risque de provoquer des conflits avec les autres usagers.

Par ailleurs, les formules permettant de calculer la quantité de traceur à injecter estiment souvent la masse à partir de la distance avec l'émergence ou le captage présumée. Il suffit que le traceur ressorte à une autre émergence pour que les calculs n'aient plus guère de valeur.

Fort du premier traçage, sur cette même rivière, et en tenant compte du débit superficiels et souterrain de la Reppe, nous avons injecté 5 kg de rhodamine.

1.3.2) Choix des lieux d'injection et de surveillance

Le secteur à étudier étant défini (captage de Pépiole), il reste à trouver un point d'injection pour le traceur. Le cas le plus favorable est l'existence d'une circulation pérenne suffisante, ou mieux d'une rivière.

Cette situation se présente ici; la Reppe est en décreue.

En ce qui concerne la surveillance, nous avons choisi le robinet d'eau brute de la DDASS, et le puits de Pépiole, mais aussi le pont de la Reppe (pont du gué).

1.3.3) Les acteurs du traçage:

Il est indispensable d'avoir recours à plusieurs collaborateurs pour les différentes étapes de l'opération.

L'équipe des traceurs

La rhodamine (comme tous les autres traceurs) brute ou faiblement diluée est susceptible de contaminer tout l'environnement y compris le personnel participant à l'opération.

L'injection sera donc confiée à des personnes qui n'auront plus de contact avec celles réalisant les prélèvements et l'analyse durant toute l'opération.



Equipe de traceur (Photo T.L).

L'équipe de surveillance

Dès l'injection, elle se rendra sur les points à surveiller et collectera des échantillons d'eau. La périodicité est fixée à un échantillon d'eau toute les 6 heures sur une durée indéterminée. Les échantillons sont prélevés dans des flacons de verre anti-actinique (1), conservés au frais et à l'obscurité puis envoyé au département de Géoscience à l'université de Besançon.

Le laboratoire dirigé par le professeur Jacques Mudry déterminera la concentration de la Rhodamine par spectrofluorométrie (2).

Cet échantillonnage permettra de dresser les courbes de concentration et de flux massique du traceur.

(1) Matériau autre que du plastique empêchant l'adsorption du traceur

(2) Chaque échantillon est illuminé à partir d'une lampe tungstène sous un angle de 45° pour minimiser les effets de brillance. Le spectre renvoyé par l'échantillon ou reflectance est capté. Après diffraction, une barrette de diode mesurant le spectre de 380 à 780 nm par incrément de 10 nm. Si il correspond à la longueur d'onde de la fluoresceïne(491nm), on calculera sa concentration

1.4) Mise en oeuvre du traçage

1.4.1) Avant l'injection du traceur

Quelques précautions, imposées par les concepts théoriques sur lesquels repose l'interprétation, doivent être prises lors de la réalisation d'une opération de traçage.

Afin de vérifier qu'il n'existe pas de fluorescence naturelle ou artificielle pouvant perturber les analyses, on effectue un prélèvement d'eau sur chacun des sites de sortie, avant l'injection, ce sont les échantillons "blancs"(1).



Injection du traceur (Photo T.L)

Par ailleurs, pour que les conditions soient idéales, il faut une météorologie favorable sur la semaine (cf.chapitre sur la pluviométrie) et il faut aussi que le niveau d'eau des points de surveillance corresponde à une phase de décrue.

1.4.2) L'injection du traceur (Tableau 6) :

Cette opération doit être réalisée par l'équipe des "traceurs" car c'est la plus risquée en termes de contamination. La rhodamine en poudre est en effet extrêmement volatile et s'insinue partout.

Nous avons transféré le traceur en poudre dans un bidon étanche afin d'y être préalablement dilué. On a employé pour cela un solvant (alcool à brûler) pour faciliter la dilution.

Lors de l'injection nous avons simulé une impulsion de dirac (2). Dans ce but , l'injection instantanée a été réalisée le lundi 13 mai à 20 h au pont du Gué. A 20 h 15 l'injection des 5 kg de Rhodamine été terminée. La Reppe était coloré.

| Paramètres d'étude pendant injection | Paramètres d'étude traçage puits de Pépiole |
|--------------------------------------|---|
| Date injection (to) | le lundi 13 mai à 20 heures |
| Traceur et quantité utilisé | Rhodamine, 5000 grammes |
| Pluviométrie pendant la restitution | 20 mm |
| Apport et quantité d'eau | La Reppe, débit estimé à 20 l/s |
| Nom de l'injecteur | Gilles JOVET |
| Nom des opérateurs | Thierry LAMARQUE (H20), Mr Borloz (régie) |

Tableau 6 : paramètres d'injection

(1) Une fluorescence anormale peut provenir soit de la présence de matière organique, en particulier lors des crues pour les émergences alimentées directement par des pertes peu éloignées, soit d'une pollution chimique , soit d'une présence relevant de l'emploi lors d'une opération antérieure du même traceur dans l'aquifère. Dans ces cas on répètera les 'blancs' sur plusieurs jours, afin de voir quelle est la valeur maximale de fluorescence parasite et s'il sera possible de la distinguer du pic de restitution en fonction des concentrations attendues.

(2) Un signal de dirac est une impulsion de durée infiniment courte et de surface unité. La réponse du système à ce signal est appelée réponse impulsionnelle) dans le but d'obtenir la réponse impulsionnelle du système.

Il est toujours souhaitable de disposer des fonctions d'entrée en concentration et en flux. Leur acquisition devient indispensable quand on recherche des informations sur le transit de substances polluantes. On peut également calculer la réponse impulsionnelle en concentration ainsi que la dilution subie par le traceur.

1.4.3) Pluviométrie avant et pendant restitution

Depuis décembre 2001, la région est soumise à un climat très sec. Il n'y a pratiquement pas eu de précipitation, ce qui a entraîné un appauvrissement des nappes.

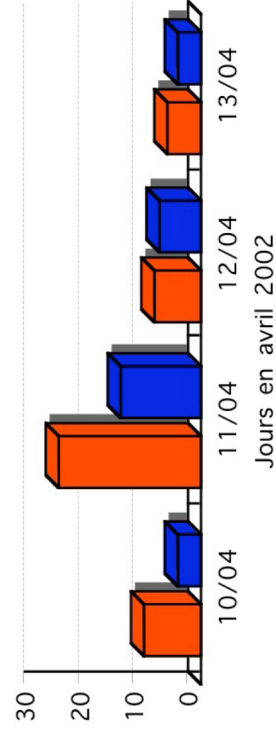
Pour l'étude en cours, le fait d'attendre les premières pluies fut une bonne chose au vu des faibles quantités d'eau contenu dans les nappes. Du 10/04 au 13/04, les nappes alluviales ont pu se recharger grâce aux fortes précipitations (51,4 mm en 4 jours).

Les conditions devenaient idéales pour lancer l'opération de traçage (cf. chapitre choix de la période d'injection).



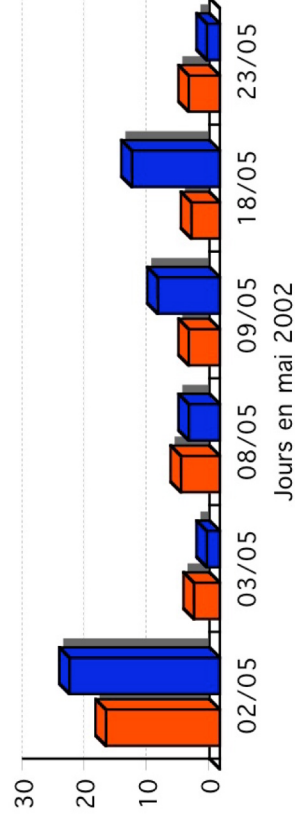
Le pluviomètre de Siou-Blanc (Photo P.M)

Précipitations en avril 2002 sur Toulon / bandol



Précipitations en mm Toulon ■ Précipitations en mm Bandol

Précipitations en Mai 2002 sur Toulon/Bandol



Précipitations en mm Toulon ■ Précipitations en mm Bandol

Annexe 2

2) Résultats du premier traçage (2001):

Le précédent traçage du 8 octobre 2001 sur la Reppe a montré une relation entre les eaux souterraines de la Reppe et le puits de Pépiole.

2.1) Résultats avant l'injection :

| Paramètres d'étude AVANT INJECTION | Traçage pont du gué AVANT INJECTION |
|--|-------------------------------------|
| Point d'injection | Le pont du gué |
| Coordonnées Lambert point d'injection | X = 3097,00 Y = 884,375 Z = 14 m |
| Coordonnées Lambert puits de Pépiole | X = 3097,750 Y = 883,250 Z = 12 m |
| Distance puits Pépiole-point d'injection : L | 375 mètres |
| Pente exutoire-point d'injection : P en % | 4,00% |
| Profondeur puits de Pépiole | 18,7 mètres |
| Dénivellé Pt injection-haut puits Pépiole | 2 mètres |
| Dénivellé Pt injection-Base puits Pépiole | 15 mètres |

Tableau 7 : Les données initiales et les données acquises avant restitution du traceur

Les conditions étaient les suivantes :

- Reppe en période d'assec
- niveau d'eau du puits de Pépiole au plus bas
- 3 mois de sécheresse
- météo excellente.

Le traçage été envisagé fin décembre 2000, mais les conditions météorologiques n'étaient pas favorables. La Reppe a coulé pendant 8 mois (de décembre à fin juillet) ne laissant apparaître aucune perte. Nous avons dû attendre début octobre 2001, moment idéal pour lancer les opérations.

| Paramètres d'étude PENDANT INJECTION | Traçage pont du gué PENDANT INJECTION |
|--------------------------------------|--|
| Date d'injection (to) | le 08 Octobre 2001 à 15 heures |
| Traceur utilisé | 1000 g de fluoresceine |
| Pluviométrie | 40,3 mm d'eau durant la restitution |
| Débit de la Reppe | 0 l/s |
| Apport d'eau | 10000 litres d'eau |
| Nom de l'injecteur | Laurent Jovet |
| Nom des opérateurs | Thierry Lamarque (spéle-H2O); Régie de l'eau |

Tableau 8 : Les données initiales et les données acquises avant injection du traceur

2.2) Après l'injection :

Nous avons été confronté à un problème lors de la restitution du traceur : **l'arrêt des pompes.**

La plupart de nos résultats sont liés au débit du puits de Pépiole. Or ce débit est contrôlé par la Régie grâce aux pompes mises en place dans le forage.

A deux reprises, sur décision de la DDASS (problème au niveau de la qualité de l'eau) la Régie a arrêté le pompage sur la période du 11/10/2001 au 16/10/2001 et sur la période du 27/10/2001 au 16/11/2001.

| Paramètres d'étude Cbe de RESTITUTION | Puits de Pépiole Cbe de RESTITUTION |
|---|---|
| Particules les plus rapides : t1 | le 10/10/01 à 17 heures |
| Particules les moins rapides : t2 | le 26/11/01 à 10 heures |
| (1) Durée de restitution : tr = t2-t1 | 46 jours et 19 heures (1123 heures) |
| (2) Durée de restitution : tr' = t2-t1 | 22 jours et 19 heures (547 heures) |
| Temps minimal d'arrivée : tm = t1-t0 | 1 jours et 19 heures (43 heures) |
| Vitesse des particules les plus rapides : Vmax = L/tm | 8,72 mètres / heures |
| (1) Temps modal de transit : T modal | le 23/10/01 à 10h soit 14 jours et 19h (355 heures) |
| (2) Temps modal de transit : T' modal | le 23/10/01 à 10h soit 9 jours et 19h (235 heures) |
| (1) Vitesse modale de transit : Vmodal = L/Tmodal | 1,06 mètres / heures |
| (2) Vitesse modale de transit : V'modal = L/T'modal | 1,6 mètres / heures |
| Concentration maximale de sortie : Cmax s | le 23/10/01 à 10 heures soit 15,6µg/l |
| Concentration moyenne de nuage de traceur : Cmoy s | 5,57 µ g/l |
| Paramètres d'étude FLUX DU TRACEUR | Puits de Pépiole FLUX DU TRACEUR |
| Masse de traceur à l'injection : Mo | 1000 g |
| Masse de traceur restituée : Mr | 267 g |
| Pourcentage de restitution : r % = Mr/Mo | 26,7 soit environ 27 % |

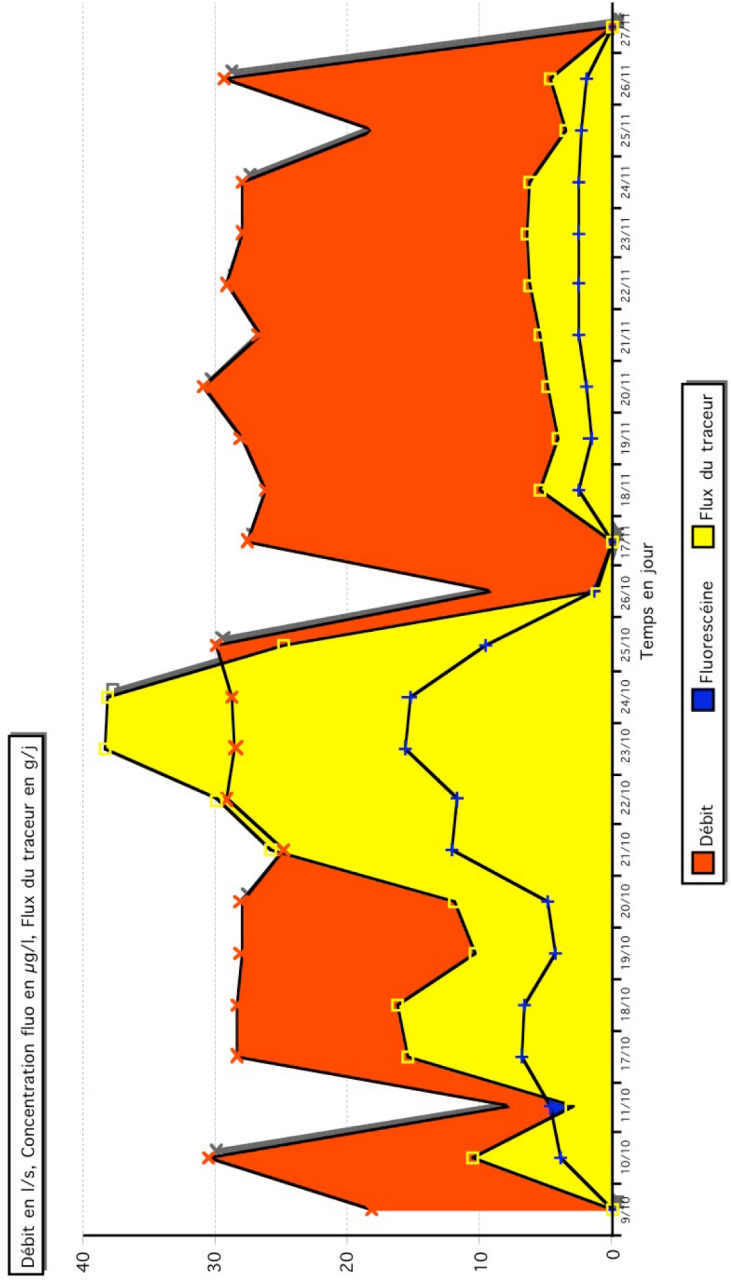
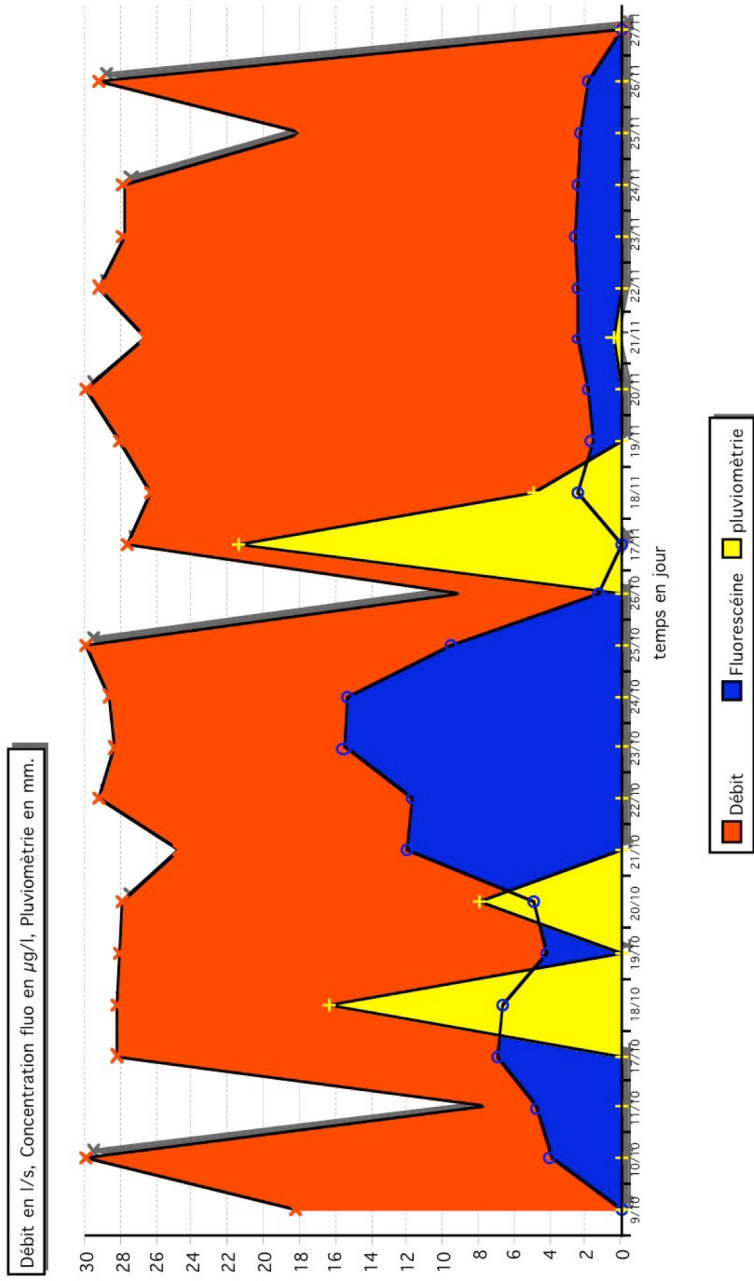
Tableau 9 : Les paramètres déduit de la courbe de restitution

Cet arrêt a provoqué un retard sur la restitution du traceur. Ainsi nous avons constaté 3 restitutions au lieu d'une seule, provoquant une restitution décalé dans le temps.

Dans la suite de ce paragraphe nous vous présenterons des résultats volontairement décalés dans le temps en tenant compte de l'arrêt de la pompe (noté (1) dans le tableau 9).

les courbes de restitutions et les paramètres d'études bruts, sans tenir compte de l'arrêt de la pompe (noté (2) dans le tableau 3), sont exploités dans le premier rapport de décembre 2001 "Influence de la Reppe sur la qualité de l'eau du puits de Pépiole".

2.3) Les courbes de restitution



ANNEXE 3

3) Les premières mesures à prendre

La loi confie au maire l'organisation des secours de première urgence sur sa commune.

Or de cette phase initiale dépend très souvent du succès des opérations ultérieures.



L'eau de la Reppe (photo P.M)

3.1) Les mesures d'alerte à prendre en cas d'une pollution accidentelle

Voici les mesures à prendre dans leur ordre d'urgence en attendant l'arrivée des spécialistes.

Il faut prévenir :

- les forces de l'ordre.
- les pompiers.
- la protection civile.

Au fur et à mesure de l'arrivée des secours, ceux-ci, en fonction de leur spécialité, prendront le relais.

En premier lieu il faut protéger la population :

surface (par contact)

- des risques d'empoisonnement Internes (par ingestion) ou de l'eau pour les humains et le bétail en prévenant rapidement vers l'aval le service des eaux, les agriculteurs, les pêcheurs, les baigneurs éventuels et toutes personnes présentes ou habitant à proximité des rives.
- prévenir les communes en aval et en particulier les responsables de station de pompage.

En second lieu il faut prendre des mesures de prudence :

- éloigner les curieux du lieu de l'accident et des bords de la rivière.
- faire libérer les voies d'accès aux berges.
- en cas de risque de feu, faire enlever les voitures sans mettre les moteurs en marche.
- demander par téléphone à la protection civile ce qu'il ne faut pas faire et si la population doit être évacuée.

3.2) Les mesures à prendre pour limiter les dégâts

Le but est d'éviter la progression du produit toxique.

Il faut éviter que le polluant atteigne la rivière.



L'embouchure de la Reppe (photo P.M)

. Cela est valable aussi bien pour les accidents de transport que pour ceux qui se produisent dans un établissement.

Dans le premier cas (accident de transport), établir des barrages avec ce dont on dispose le plus facilement :

- terre,
- sable,
- bottes de paille,
- sciure.

Pour la terre, la prélever au dessus de l'accident et non dans la pente vers la rivière.

Dans le second cas (accident dans une entreprise), ordonner à l'établissement responsable de fermer les trappes ou vannes des égouts, ou d'obtenir les plaques d'égouts par tous les moyens (plastique, barrage de terre, sable ou sciure).

Il est moins dangereux de récupérer le produit sur place que de le laisser couler vers la rivière.

Sur l'eau, en eau peu profonde, établir un barrage si possible absorbant bottes de paille par exemple. De toute manière, ralentir le débit du cours d'eau (chicanes).

Sur des eaux calmes, employer les barrages flottants et fermer les vannes ou les écluses si il y en a. Il est évident que les tâches et les responsabilités du maire sont nombreuses et importantes en attendant l'arrivée des spécialistes.

3.3) Les mesures préventive à prendre au niveau de la commune.

Le maire à intérêt de faire tenir à jour la liste des établissements pouvant présenter des risques de pollution des eaux.



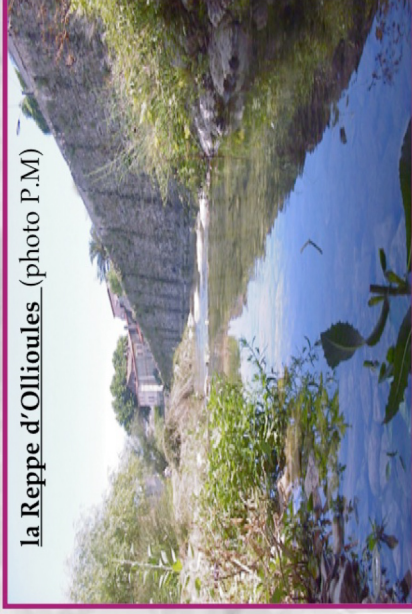
La Reppe (photo P.M)

Pour chaque établissement prévoir :

- le nom, l'adresse personnelle et le n° de téléphone de l'ingénieur d'entretien ou du responsable de la sécurité.
- la liste des produits toxiques ou dangereux susceptible en cas d'accident de polluer les cours d'eau et les eaux du voisinage.
- éventuellement l'antidote ou le neutralisant nécessaire et les quantités correspondant au stockage.
- le plan d'intervention précisant les consignes ou les mesures à prendre.
- un lot de matériel doit être immédiatement disponible (sanitaire, sauvetage, réanimation, moyens de transport, sable...).
- une liste des services et des personnes à alerter (centre local de secours, médecins, ambulances, secourisme, commissariat de police, gendarmerie, garde pêche fédéral, laboratoire d'analyse).
- une liste des lieux-clés éventuels (fermeture ou ouverture des vannes, écluses, barrages, station de pompage, station d'épuration) et personnes à contacter pour cette Intervention.

3.4) Appliquer une politique de concertation

Le maire, en cas d'implantation sur sa commune d'établissement présentant des dangers de pollution, se doit de prendre l'initiative de rencontre avec leurs responsables.



Les techniciens des Agences de Bassin ou des services administratifs concernés (DDA, DDE, Service des Mines) peuvent lui apporter une aide ,précieuse dans l'organisation de ces contacts.

Un premier point peut toujours être étudié. C'est celui des mauvaises habitudes qui provoquent souvent des pollutions, insidieuses.

Les exemples ne manquent pas. Ils sont toujours basés sur un rejet direct vers les cours d'eau (égout, effluent, -etc..) de produits considérés comme non polluants (lessives, détergents, etc..) ou bien de produits polluants en quantité qui semble minime (chlore, huile, etc..).

L'exemple le plus typique est constitué par les eaux de lavage des véhicules, ou bien celles des garages qui entraînent les huiles, etc.

Les auteurs de ces pollutions ne jugent pas les conséquences de leur habitudes à leur juste valeur. Il faut donc leur en faire prendre conscience et les aider à trouver des solutions.

Le second volet des problèmes à étudier conjointement entre les municipalités et les responsables d'entreprises, est constitué par la recherche des sources possibles d'incidents ou de fuites, et par la mise au point de mesures à prendre pour les éviter.

Par exemple étudier les avantages de circuits séparés pour les eaux : de fabrication, de refroidissement, de lavage et enfin les eaux pluviales.

En profiter pour proscrire la gaspillage d'eau, Ainsi, peu à peu, dans une atmosphère de confiance et de compréhension réciproque des problèmes, peuvent être mise en place des mesures limitant les risques de pollution au minimum.

Tableau des résultats dragage puits de Pépiole du 13/05/02

| Date | Heure | Echantillon n° | Rhodarobinet en µg/l | Rhodaforage en µg/l | Débit en l/jour | Débit en l/s | Flux traceur en g/j |
|----------|-------|----------------|----------------------|---------------------|-----------------|--------------|---------------------|
| 13/05/02 | 20 h | E0 | 0 | 0 | 2718000 | 31,45 | 0 |
| 14/05/02 | 12 h | E1.E2.M1 | 0 | 0 | 1635000 | 18,92 | 0 |
| 15/05/02 | 1 h | E3 | 5 | 0,9 | 2495000 | 28,87 | 12,4 |
| 15/05/02 | 12 h | E4.E5.M2 | 65,5 | 59,8 | 2495000 | 28,87 | 163,42 |
| 16/05/02 | 12 h | E6.E7 | 40,5 | ? | 2505000 | 29 | 101,45 |
| 17/05/02 | 12 h | E8.E9.M3 | 26,3 | 9,8 | 2507000 | 29,01 | 66 |
| 18/05/02 | 12 h | E11 | 21,1 | ? | 2441000 | 28,25 | 51,5 |
| 19/05/02 | 12 h | E12 | 9,6 | ? | 2447000 | 28,32 | 23,5 |
| 20/05/02 | 12 h | E13.E14.M4 | 9,5 | 2,7 | 2466000 | 28,54 | 23,42 |
| 21/05/02 | 12 h | E15.M5 | 5,8 | 6,5 | 2598000 | 30,06 | 15 |
| 22/05/02 | 12 h | E17.E18.M6 | 7,2 | 4,1 | 2316000 | 26,8 | 16,67 |
| 23/05/02 | 12 h | E19.E20 | 5,8 | ? | 2464000 | 28,51 | 14,29 |
| 24/05/02 | 12 h | E24 | 3,7 | ? | 2469000 | 28,57 | 9,1 |
| 25/05/02 | 12 h | E26.E27.M7 | 6 | 2,8 | 1463000 | 16,93 | 8,7 |
| 26/05/02 | 12 h | E29 | 3 | ? | 2524000 | 29,21 | 7,57 |
| 27/05/02 | 12 h | E33 | 2,2 | ? | 2572000 | 29,76 | 5,7 |
| 28/05/02 | 12 h | E36.M8 | 2,9 | 1,3 | 2465000 | 28,53 | 7,15 |
| 29/05/02 | 12 h | E37 | 1,1 | ? | 2500000 | 28,93 | 2,75 |
| 30/05/02 | 12 h | E38 | 2,3 | ? | 2500000 | 28,93 | 5,75 |
| 31/05/02 | 12 h | E39.M9 | 0,8 | 0,5 | 2500000 | 28,93 | 2 |
| 01/06/02 | 12 h | E40 | 0,8 | ? | 2214000 | 25,62 | 1,77 |
| 02/06/02 | 12 h | E41.M10 | 0,4 | 0,3 | 2300000 | 26,62 | 0,92 |
| 03/06/02 | 12 h | E42 | 0,3 | ? | 2364000 | 27,36 | 0,71 |
| 04/06/02 | 12 h | E43.M11 | 0,3 | 0,2 | 1970000 | 22,8 | 0,59 |
| 05/06/02 | 12 h | E44 | 0,3 | ? | 2343000 | 27,11 | 0,7 |
| 06/06/02 | 12 h | E45.M12 | 0,7 | 0,2 | 1808000 | 20,95 | 1,26 |
| 07/06/02 | 12 h | E50 | 1,3 | ? | 1618000 | 18,72 | 2,1 |
| 08/06/02 | 12 h | E51.M13 | 1 | 0,5 | 1840000 | 21,29 | 1,84 |
| 09/06/02 | 12 h | E52 | 0,8 | ? | 1566000 | 18,12 | 1,25 |
| 10/06/02 | 12 h | E53.M14 | 1,1 | 0,7 | 1967000 | 22,76 | 2,16 |
| 11/06/02 | 12 h | E54.M15 | 1,1 | 0,4 | 2500000 | 28,93 | 2,75 |
| 12/06/02 | 12 h | E55 | 0,3 | ? | 2500000 | 28,93 | 0,75 |
| 13/06/02 | 12 h | E56.M16 | 0,3 | 0,3 | 2859000 | 33,09 | 0,85 |
| 14/06/02 | 12 h | E57 | 0,3 | ? | 2259000 | 26,14 | 0,67 |
| 15/06/02 | 12 h | E58.M17 | 0,2 | 0,2 | 2368000 | 27,4 | 0,47 |

Références bibliographiques

Mesures de débit et traçages - Philippe Audra

Influence de la Reppe sur la qualité de l'eau du puits de Pépiole - Spélé H₂O

Etude d'impact sur la carrière de Fieraquet - ENCEM

Rapport technique recherches spéléologiques et hydrogéologiques sur le massif de Siou Blanc - Spélé H₂O

Rapport 1 technique recherches spéléologiques et hydrogéologiques sur le massif de Siou Blanc - Spélé H₂O

Rapport 2 technique recherches spéléologiques et hydrogéologiques sur le massif de Siou Blanc - Spélé H₂O

Rapport 3 technique recherches spéléologiques et hydrogéologiques sur le massif de Siou Blanc - Spélé H₂O

Synthèse des rapports 1-2-3 Massif de Siou Blanc - Spélé H₂O

Carte I.G.N Toulon 3346 ouest

Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Rhone-Méditerranée-Corse - Comité de Bassin du 20 décembre 1996

Document issu du plan de secours spécialisé " réseau d'eau " réalisé par la préfecture de l'Isère.

Extrait du Rapport de la DDASS-Service SANTÉ-ENVIRONNEMENT du 10/12/99.Var.