

# Etude hydraulique de la vallée du LAS

Traçage

dans

les

pertes

du

Las



Val d'As et SPÉLÉ-H2O- c/o Philippe MAUREL, Thierry LAMARQUE  
Tél : 06/14/97/81/53 06/15/19/61/03





## Plan

	<b>Page</b>
1) <b>Objet de l'étude</b>	1
2) <b>Présentation générale de la rivière du Las</b>	2
3) <b>Les pertes du Las</b>	3
4) <b>Contexte géologique et hydrogéologique du Las</b>	3
4.1) Présentation géologique du massif de Siou blanc	4
4.2) Etude du système karstique de Siou Blanc	4
4.2.1) Limites spatiales du système karstique de Siou Blanc	5
4.2.2) Situation du système de Siou-Blanc / aux différents types de karst	6
4.2.3) Etude critique des traçages	7
5) <b>Problématique de l'étude</b>	8
5.1) Nature et qualité des eaux de ruissellement du Las	8
5.2) Nature et qualité des eaux souterraines du Las	8
5.3) Nature et qualité des eaux rejetées dans la rivière du Las	9
6) <b>La méthode de traçage</b>	10
6.1) Principe de la méthode	10
6.2) Préparation du traçage	11
6.2.1) Le choix du traceur et la quantité injectée	11
6.2.2) Choix des lieux d'injection et de surveillance	12
6.2.3) Le choix de la période d'injection	13
6.2.4) Les acteurs du traçage	14
7) <b>Point d'infiltration des pertes du Las</b>	15
7.1) Le barrage du Revest	16
7.2) La Foux : origine des eaux du Las	17
7.3) Le Ragas	18
8) <b>Les points de surveillance</b>	19
8.1) La source Saint-Antoine	19
8.2) Le puits Peyret	20
8.3) La baume de Dardennes	21
8.4) Point de réapparition du Las	22
8.5) Carrefour des sources	23
8.6) Les sources de Missiessy	24

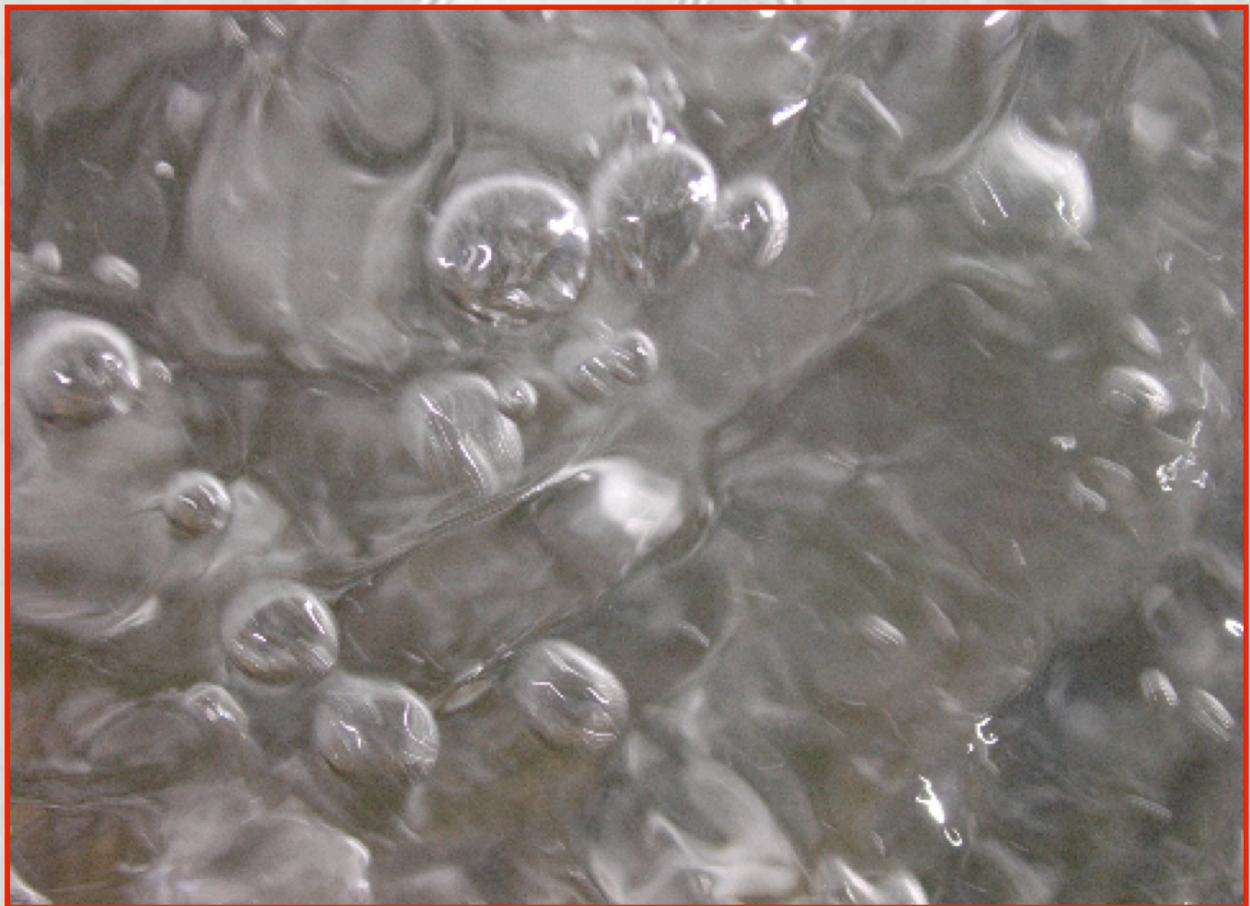


## Introduction

L'association Val d'As H<sub>2</sub>O-développement propose de réaliser une série d'étude sur la vallée du Las et plus précisément sur l'origine des eaux des captages de la source Saint-Antoine et du puits Peyret.

Ce dossier est un état des lieux du cours d'eau du Las et de son bassin versant, il traite :

- de la problématique de l'urbanisation et de ses conséquences sur le Las.
- des études géologiques et hydrogéologiques réalisés sur le bassin versant du Las.
- de la mise en place de traçages pour déterminer plus précisément l'origine des eaux des captages d'eau potable.





## 1) Objet de l'étude :

La gestion équilibrée de la ressource en eau a deux 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.



Le Las, une rivière oubliée  
(Photo Philippe MAUREL)

La mise en place et l'exploitation d'un captage d'eau pour 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.

Rappelons notamment l'article L 232-5 du code Rural, souvent oublié, dont l'objectif est de garantir en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces qui peuplent les eaux au moment de l'installation de tout ouvrage.

Rappelons aussi que lors des renouvellements d'autorisation ou de concession, les ouvrages existants devront satisfaire aux règles du 1/10ème et du 1/20ème des débits réservés (les débits réservés de la loi pêche étant la référence).

Afin d'actualiser la protection du puits Peyret et de la source Saint-Antoine qui sont des sources d'approvisionnement en eau de la commune de Toulon (et de la Marine Nationale) et de procéder au calcul des débits réservés de la rivière du Las, nous préconisons une série de traçages dans le drain de la rivière. Ces traçages permettront de déterminer les relations entre les eaux superficielles de la rivière et les captages.

Le but premier de l'étude est de rechercher la possibilité d'un lien entre les eaux superficielles du Las et les eaux souterraines des captages.

Dans un second temps, l'étude hydraulique du Las pourrait nous aider à mieux comprendre le problème de débit intermittent rencontré sur le captage de Saint Antoine en août 2003, et aussi de calculer précisément la quantité d'eau à prélever pour garantir les débits réservés.

De plus cette étude permettra d'évaluer (si les relations sont avérées), en situation de fonctionnement normal des exploitations et dans le cas d'une pollution accidentelle, les risques de contamination des captages par transfert des eaux de surface depuis les points d'infiltrations sur le Las jusqu'au puits Peyret et au captage de Saint -Antoine.



## 2) Présentation générale du cours d'eau :

Le Las est située sur le territoire des communes du Revest-les-Eaux et de Toulon. Le Las est un petit fleuve côtier qui prend sa source dans la retenue de Dardennes, elle-même alimentée par " la Foux de Dardenne " et le célèbre " Ragas ".

Ce petit fleuve côtier s'écoule dans la direction nord-est/sud-est , son exutoire se situant dans le port militaire de l'arsenal de Toulon, son linéaire est d'environ huit kilomètres.



Le Las, une rivière polluée  
(Photo Val d'As)



Le Las, une rivière périurbaine  
(Carte IGN Toulon 3346 O)



Le Las traverse une zone rurale, mais aussi une zone fortement urbanisée avec les conséquences suivantes :

- bétonnage des berges
- pollution émise par les riverains
- pollution industrielle
- pollution routière
- destruction de la ripisylve
- recouvrement etc...

Le Las est aujourd'hui une rivière oubliée, polluée, mal exploitée et dangereuse par les risques de crues subites, mais aussi par les risques de contamination des eaux de captage.



### 3) Les pertes du Las :

Les pertes du Las se situent entre le hameau de Dardennes et le pont Saint-Pierre. Où va l'eau ? En 1880, les ingénieurs de l'eau se posaient déjà la question d'une éventuelle relation avec la source de Saint-Antoine.

Effectivement on peut lire dans le rapport de la commission d'enquête sur le projet de dérivation d'une partie des eaux du Ragas :

*“ Qu'il passera moins d'eau dans la rivière et que cette eau est nécessaire, car en s'infiltrant au-dessous du barrage (en face de la papeterie où elle disparaît) elle va alimenter la source de Saint-Antoine située à plusieurs kilomètres dans le bas de la vallée. Ces faits sont connus et indiscutables et se sont répétés aux époques de très grande sécheresse. On déviait l'eau de la rivière en la faisant passer du côté gauche au côté droit; l'eau s'engouffrait alors en ce point, et peu de temps après le niveau de l'eau s'élevait dans la source Saint-Antoine “.*

Toulon Massone, 1881, p.15



Le Las, pollution chimique  
(Photo Val d'As)

Quand on voit les zones polluées que traverse le cours d'eau du Las, on se dit qu'il serait grand temps de déterminer l'existence ou non d'une relation entre les eaux superficielles du Las et les réserves d'eau souterraine du puits Peyret et du captage de Saint-Antoine.



Les pertes du Las (Photo Val d'As)



#### 4) Contexte géologique et hydrogéologique de l'origine de l'eau de la rivière du Las :

##### 4.1) Présentation géologique du massif de Siou Blanc :

Les eaux de la rivière proviennent du massif de Siou Blanc. C'est un plateau karstique qui s'étend du nord de Toulon à Signes sur une superficie de 9 km sur 12 km.

L'altitude moyenne est comprise entre 650 mètres et 750 mètres, avec un point culminant à 826 mètres : le Jas de Laure. Il forme pour l'essentiel la partie orientale du bassin du Beausset. Il est constitué par une série stratigraphique s'étendant du muschelkalk dans la vallée du Gapeau, au turonien dans le bassin du Beausset.

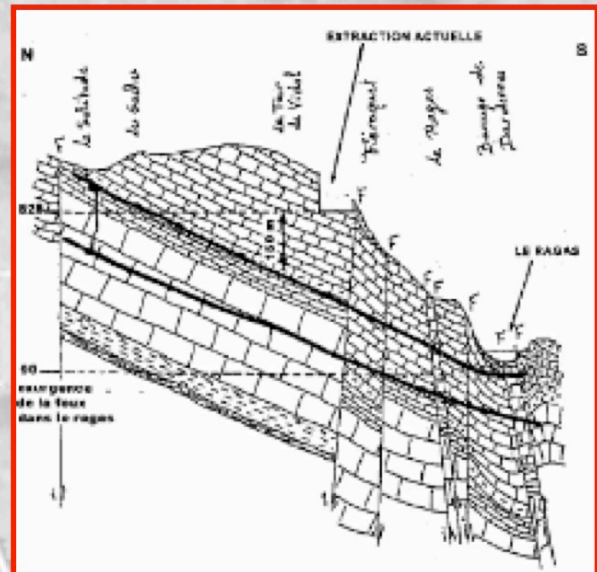


Figure 1 : coupe géologique de Siou-Blanc

C'est dans l'ensemble une unité monoclinale, inclinée vers le sud-ouest et modelée par de grandes failles et des plis.

Il est traversé par plusieurs gouffres dont le Cyclopibus (-369m) et le Sarcophage (-362m). Ce sont les plus importants.

Aucun de ces gouffres n'a encore permis une liaison avec les circulations d'eau souterraine qui alimente le Ragas (exutoire du Barrage).

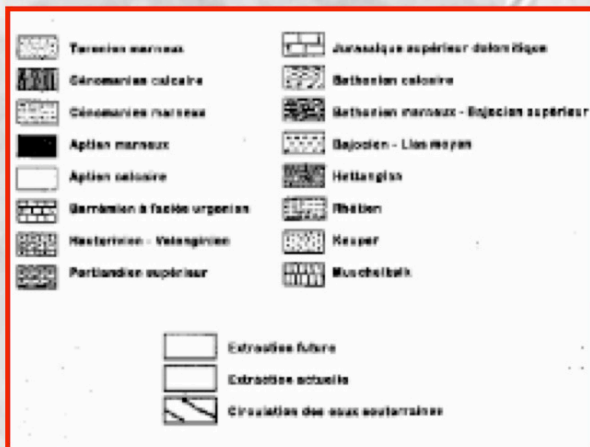
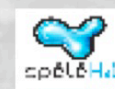
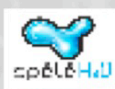


Figure 1 : Légendes

Dans ce massif, la prédominance des calcaires et dolomies, l'ancienneté de leur émergence, leur position actuelle élevée, sont autant de facteurs favorables au développement d'un système karstique. Les eaux circulent jusqu'à plusieurs centaines de mètres de profondeur avec des vitesses d'écoulement élevées. Aucun puits, aucun forage ne peut atteindre ces eaux souterraines et ces exutoires, qui ont des débits de crue impressionnants (jusqu'à 60 m<sup>3</sup>/s).

##### 4.2) Etude du système karstique de Siou-Blanc :

Il couvre une superficie de 108 km<sup>2</sup>. Il est découpé par de grandes failles orthogonales. Les gouffres les plus importants se situent sur deux failles parallèles d'azimut 320°. La plupart de ces gouffres se terminent sur une couche de berrassien marneux. Seuls les avens du Cyclopibus et de la Solitude ont traversé cette couche (Figure 1). Les eaux souterraines de ce système karstique aboutissent dans la vallée du Las, elles sont drainées par le Ragas et la source de Saint-Antoine.





#### 4.2.1) Limites spatiales du système karstique de Siou Blanc

A part de rares "cas d'école", tels que les synclinaux perchés bien individualisés, où les limites du karst sont identifiables de manière évidente, où l'émergence est unique, on est le plus souvent confronté à des situations beaucoup plus complexes.

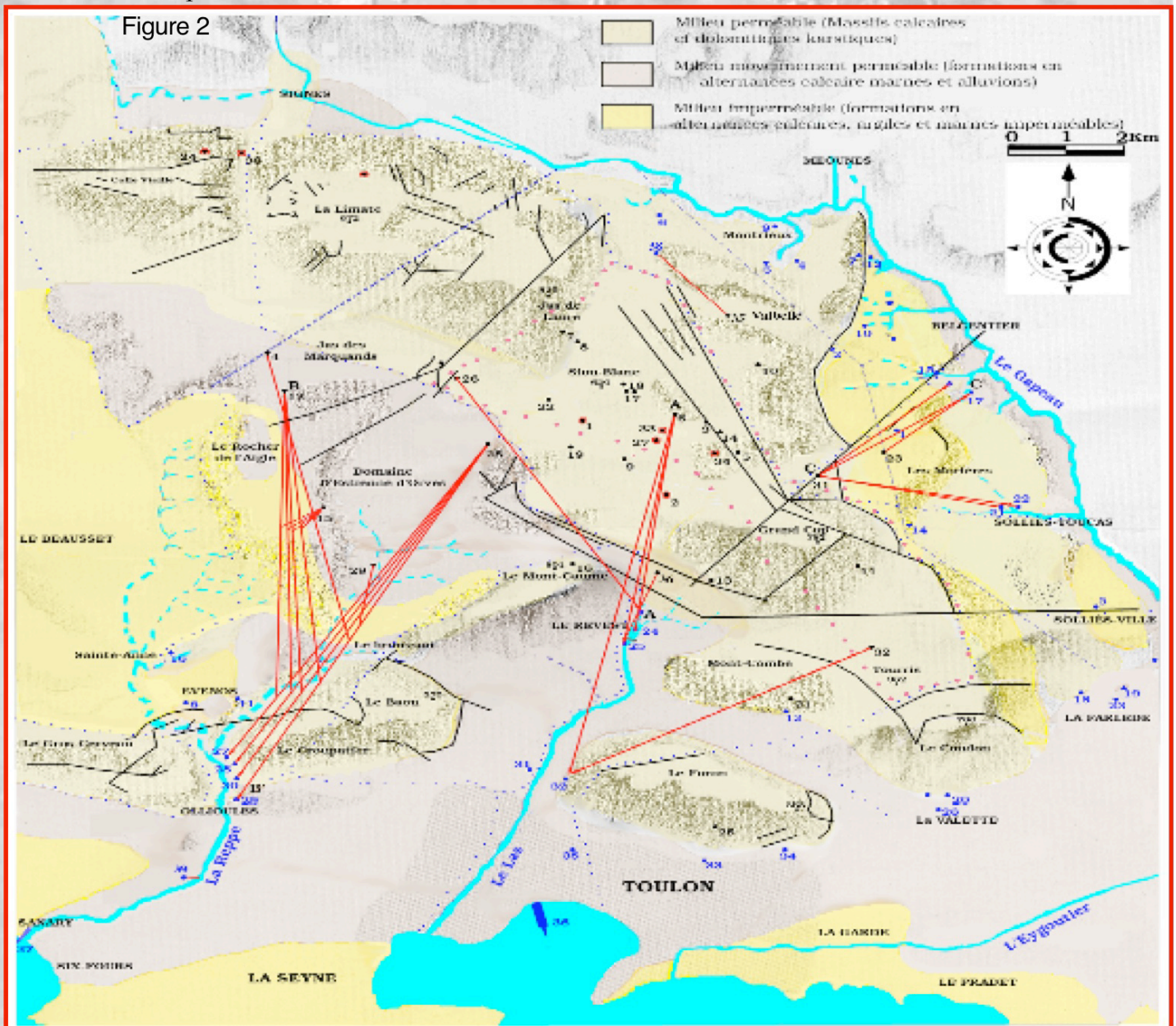
A Siou-Blanc, ces situations font l'objet d'un véritable travail de spécialiste.

Une étude menée par Spélé H2O en 1993 va nous permettre de mieux situer les limites de ce système karstique.

#### Les limites de ce système sont plus précises aujourd'hui.

Les injections dans les avens de la Solitude (Fig 2), la Boue, le Caniveau et l'abîme des Morts et les restitutions du traceur aux exutoires de Saint-Antoine et de la Foux de Dardennes nous ont permis de préciser les limites du bassin- versant :

- Au nord, la dépression de Signes que domine la cuvette de la Limate.
- A l'ouest, le contact urgonien / turonien au niveau des Bigourets.
- A l'est la grande faille N.O / S.E passant par la Citerne Neuve.
- Au sud-est, la plaine des Selves limitée par le Coudon.







#### 4.2.2) Situation du système de Siou-Blanc par rapport aux différents types de systèmes karstiques

Schématiquement, on distingue trois types de karst:

- **Les karsts perchés** (Fig 3), où l'émergence est au-dessus du niveau de base (le point le plus bas des vallées bordant le massif), grâce à la présence d'un écran imperméable à la base des calcaires. Dans ce cas, l'écoulement souterrain s'effectuera essentiellement au contact de l'imperméable en direction de la vallée, sans zone noyée notable.

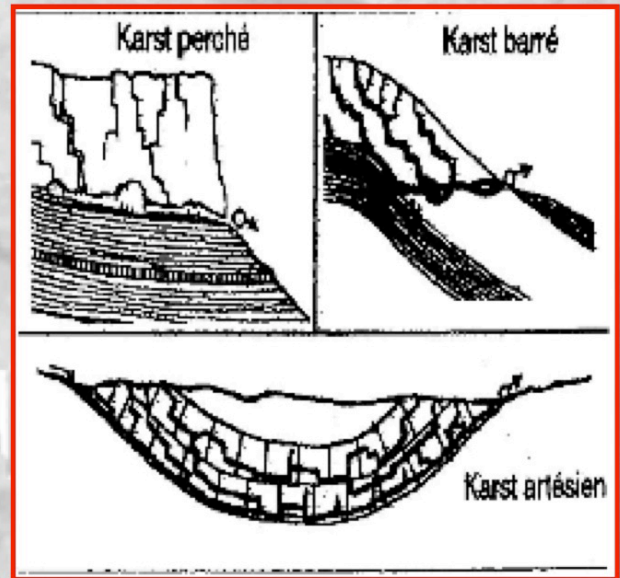


Figure 3 : Les différents types de Karst.

- **Les karsts barrés** (Fig 3), où les calcaires s'enfoncent en profondeur sous le niveau de la vallée.

Dans ce cas, l'émergence est au niveau de base, au point d'intersection le plus bas entre le volume de l'aquifère et la surface topographique. Selon l'évolution qu'a pu subir le massif karstique, il est susceptible de receler des zones noyées plus ou moins étendues, localisées dans le volume rocheux situé en dessous du niveau de base.

Dans ce type de karst, les roches imperméables voisinant avec le karst fonctionnent comme un barrage, derrière lequel est retenu un volume d'eau dans les vides du massif, d'où son nom de karst barré.

- **Les karsts artésiens** (Fig 3), où l'eau peut cheminer en grande profondeur sur des distances parfois considérables, en suivant la continuité des couches aquifères, notamment dans les bassins sédimentaires ou dans les grands synclinaux.

Dans ce type, les temps de transit, qui se mesurent en milliers d'années, et les masses d'eau en présence sont tels que l'utilisation des traceurs courants est généralement inopérante.

Les traçages effectués entre 1993 et 1997 démontrent la présence d'un karst barré au niveau du Ragas, ainsi que la présence d'une zone noyée.

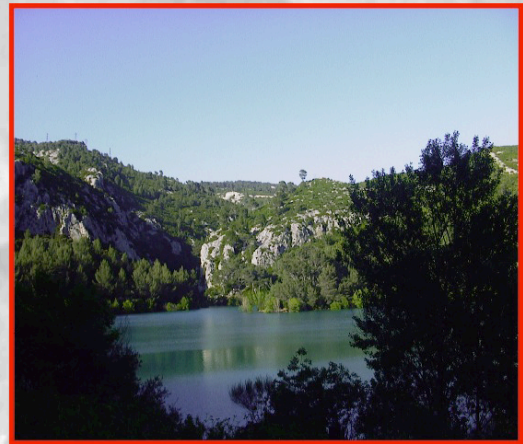




#### 4.2.3) Etude critique des traçages antérieurs

D'autres avant nous se sont peut-être intéressés à ce bassin et ont éventuellement réalisé des traçages.

Partant de ces études existantes, on examinera soigneusement la méthode utilisée et les résultats obtenus, afin de savoir si ces traçages peuvent être pris en compte et si les résultats peuvent être exploités. Dans ce cas, ils seront utilisés.



#### Rappel des cinq traçages sur le système du bassin du Las :

Sur chacun des traçages effectués, les exutoires surveillés étaient : la Baume de Dardennes, la Foux de Dardennes et ses sources, le captage CEO, la source de Saint-Antoine et le puits Peyret.

- **19 mars 1994** : injection du traceur à l'aven de la Boue (Tourris), la fluorescéine n'a pas été détecté.
- **12 février 1995** : injection du traceur dans l'aven de la Solitude, la fluorescéine est détecté.

<b>Paramètres d'étude pendant injection</b>	<b>Siou-Blanc</b>	<b>Siou-Blanc</b>
Date d'injection du traceur (to)	12/02/95	12/02/95
Lieu d'injection du traceur	aven de la Solitude	aven de la Solitude
Opérateurs	Spélé H2O	Spélé H2O
pluviométrie pendant la restitution	58 mm	58 mm
Apport et quantité d'eau	30000 litres d'eau, pluie	30000 litres d'eau, pluie
Masse de traceur à l'injection : Mo	fluorescéine	fluorescéine
<b>Paramètres d'étude Courbe de restitution</b>	<b>Vallée du Las</b>	<b>Vallée du Las</b>
Restitution à l'exutoire de :	La Foux de Dardennes	Saint-Antoine
Particules les plus rapides : t1	le 25/02/95	le 01/03/95
Particules les moins rapides : t2	le 23/03/95	le 12/03/95
Durée restitution : tr = t2 - t1	27 jours	12 jours
exutoire-injection	5588 mètres	9475 mètres
Pente exutoire-injection : P %	9,6	6,5
Temps modal de transit : Tmodal	15 jours	19 jours
Temps minimal d'arrivée : Tm	13 jours	17 jours
Vitesse modale de transit : Vmodal = L/Tmodal	15,52 m/h	20,7 m/h
Vitesse des particules les plus rapides : Vmax = L/t1	17,9 m/h	23,22 m/h
Concentration maximale de sortie : Cmax s	2200 nano g/l	180 nano g/l
Concentration moyenne de nuage de traceur : Cmoy s	344,84 nano g/l	52,11 nano g/l
l'exutoire	336960000 litres	235008000 litres
l'exutoire	606528000 litres	165888000 litres
Masse de traceur restituée : Mr	256 g	8,6 g
Pourcentage de restitution : r % = Mr/Mo	0,64	0,021



- **26 novembre 1995** : injection du traceur dans L'abîme des morts, le traceur est détecté.
- **21 février 1997** : injection du traceur dans l'aven Perte du Caniveau, le traceur est détecté.

Paramètres d'étude pendant injection	Siou-Blanc	Tourris
Date d'injection du traceur (to)	26/11/95	21/02/97
Lieu d'injection du traceur	abîme des morts	aven-perte du Caniveau
Opérateurs	Spélé H2O	Spélé H2O
pluviométrie pendant la restitution	69 mm	0 mm
Apport et quantité d'eau	40000 litres d'eau	5060 litres d'eau
Masse de traceur à l'injection : Mo	fluorescéine	19000 g / lithium
Paramètres d'étude Courbe de restitution	Vallée du Las	Vallée du Las
Restitution à l'exutoire de :	La Foux de Dardennes	Saint-Antoine
Particules les plus rapides : t1	le 10/12/95	le 03/03/97
Particules les moins rapides : t2	le 10/12/95	le 27/03/97
Durée restitution : tr = t2 - t1	1 jours	24 jours
exutoire-injection	7362 mètres	5575 mètres
Pente exutoire-injection : P %	7,38	5,7
Temps modal de transit : Tmodal	14 jours	30 jours
Temps minimal d'arrivée : Tm	14 jours	11 jours
Vitesse modale de transit : Vmodal = L/Tmodal	21,91 m/h	7,74 m/h
Vitesse des particules les plus rapides : Vmax = L/t1	21,91 m/h	21 m/h
Concentration maximale de sortie : Cmax s	0,3 micro g/l	12,4 micro g/l
Concentration moyenne de nuage de traceur : Cmoy s	0,3 micro g/l	9,53 micro g/l
l'exutoire	586656000 litres	161568000 litres
l'exutoire	8640000000 litres	88128000 litres
Masse de traceur restituée : Mr	2592 g	4899 g
Pourcentage de restitution : r % = Mr/Mo	5,76	25

- **17 avril 2002** : injection du traceur dans les pertes de la carrière de Fiéraquet (Revest), le traceur est détecté au bout de 22 jours dans la retenue de Dardennes sur une durée de 20 jours.





## 5) Problématique de l'étude

Le but premier de l'étude est d'évaluer, en situation de fonctionnement normal des exploitations et dans le cas d'une pollution accidentelle, les risques de contamination de la nappe alluviale par transfert des eaux de surface depuis les points d'infiltrations sur la rivière du Las jusqu'aux exutoires (Saint-Antoine, puits Peyret).

Au préalable, il convient de préciser la nature et la qualité des eaux du Las.

### 5.1) Nature et qualité des eaux de ruissellement du Las :

Pour les secteurs non imperméabilisés, l'eau de pluie ruisselle sur les zones urbanisées jusqu'en contrebas de la rivière .

Pour les secteurs goudronnés, les eaux de pluies sont récupérées et canalisées dans des pluviaux qui les rejettent à la rivière.

Ces eaux pluviales percolent donc à travers des zones urbanisées et polluées (ordures ménagères, hydrocarbures, etc.), d'où une pollution dans la rivière.

Aucun réseau de collecte n'a été aménagé et raccordé à un bassin de confinement. Les eaux ainsi récoltées sont rejetées dans le milieu récepteur sans contrôle de leur qualité et sans traitement approprié (massif filtrant, bac déshuileur, bassin de décantation etc ..).



Rejet direct dans le Las (Photo Val d'As)

### 5.2) Nature et qualité des eaux souterraines du Las :

Comme nous avons pu le voir dans le chapitre précédent, la majeure partie des eaux souterraines du Las provient du barrage. Celui-ci est alimenté par les précipitations tombant sur les reliefs du plateau de Siou-Blanc et les hauteurs de la carrière de Fiéraquet.

Un canal de colature entourant le barrage permet de récupérer les eaux de ruissellement pour les dévier vers la rivière. Ce canal fut construit pour empêcher tout type de pollution dans le barrage.

Seul problème : la fine (calcaire poudreux) et des graviers qui proviennent de la carrière. Ceux-ci sont charriés par les eaux de surface et canalisés par le vallon du Ragas échappant au canal de colature. Fort heureusement, aujourd'hui les eaux de pluie de la carrière sont récupérées dans des bassins de rétentions.

A priori, l'eau du barrage semble être protégée, mais il faudrait pour s'en assurer, réaliser des opérations de traçage sur le plateau de Tourris. Il y a des activités industrielles diverses (camp militaire, déchetterie, carrières etc ....).

Rappelons que la législation préconise le **suivi de la qualité des eaux souterraines** pour toute installation présentant un risque notable pour le milieu (études d'impact et de danger).



### 5.3) Nature et qualité des eaux rejetées dans la rivière du Las :

Au cours de notre visite dans la rivière, nous avons constaté :

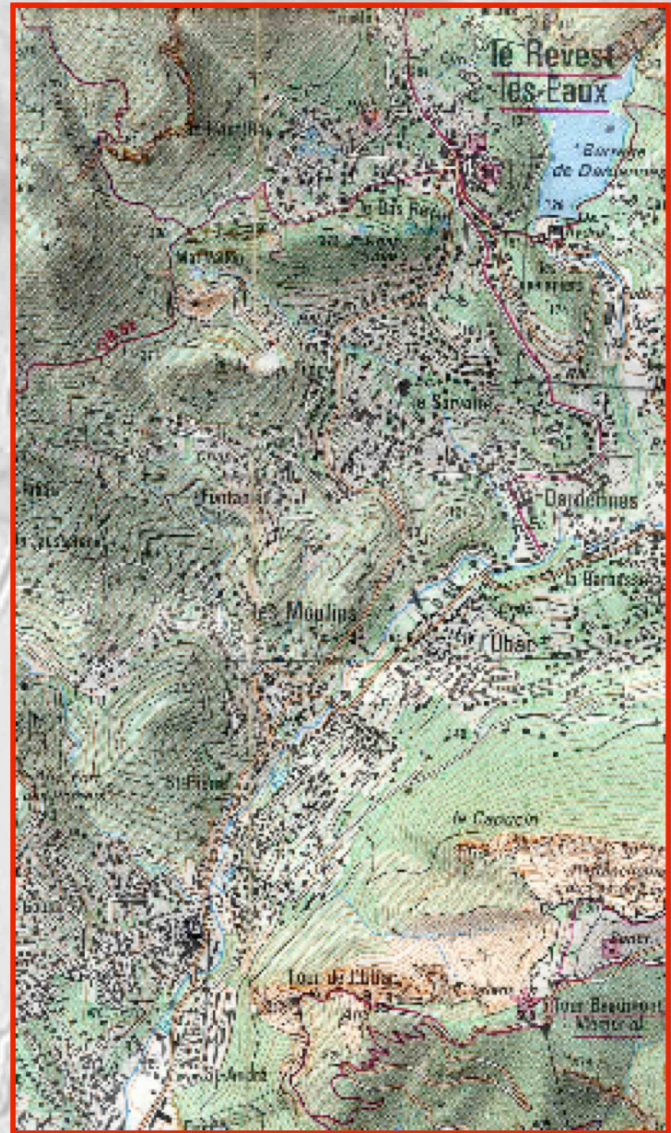
- des assainissements individuels et collectifs non conformes et non entretenus (rejets directs dans le Las).

- Les eaux pluviales des routes (RD 46) et notamment de la voie rapide ne sont pas soumises à des traitements avant rejet (absence de récupérateurs d'hydrocarbures).

- présence de rejets directs industriels et domestiques d'hydrocarbures et autres produits polluants dans la rivière.

- présence d'une quantité importante de macro déchets.

- rejets de particules fines par l'usine de traitement d'eau potable (usine de Dardennes) réduisant considérablement la qualité de l'habitat pour l'ensemble des espèces peuplant la rivière.



Le Las, une rivière dans la ville (carte IGN Toulon 3346 O)



Pompage riverain dans le Las (Photo Val d'As)

La liste des infractions à la réglementation est longue et non exhaustive , les services concernés devaient travailler à l'amélioration de ce cours d'eau :

- d'une part pour la faune et la flore habitant la rivière,

- et d'autre part pour la qualité de l'eau des captages (puits Peyret, pompage des riverains et peut être Saint-Antoine)



## 6) La méthode de traçage

### 6.1) 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).



Le Las au niveau de la Baume (Photo Val d'As )



Le Las au niveau du parc Burnett (Photo Val d'As )

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 la 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.



## 6.2) Préparation du traçage

### 6.2.1) 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 fluorescéine (Photo T.L)

Dans cette étude nous utiliserons l'uranine plus connue sous le nom de fluorescéine. L'uranine a la particularité de ne pas être adsorbée (fixation de molécules sur la surface de corps poreux) par la roche, l'argile ou la matière organique des sols, ce qui entraînerait des rétentions à l'intérieur du karst et des taux de restitutions plus ou moins faibles.

De plus la fluorescéine apparaît comme étant le traceur le moins toxique pour le milieu. En effet aucun traceur n'est totalement inoffensif, surtout lorsqu'il est concentré, comme 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 le karst suffit à les rendre, pour la plupart, parfaitement inoffensifs lorsqu'ils réapparaissent aux émergences.

Il existe plusieurs formules pour doser correctement le produit. Une trop faible quantité entraînerait des résultats négatifs, une quantité trop importante, risquerait 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 présumée. Il suffit que le traceur ressorte à une autre émergence pour que les calculs n'aient plus guère de valeur.



Traçage Siou-Blanc



### 6.2.2) Choix du lieu d'injection et de surveillance

Le secteur du Las à étudier étant défini (entre le hameau de Dardennes et le pont Saint-Pierre), il reste à trouver un point d'injection pour le traceur. Le cas le plus favorable serait une cavité recoupant une circulation pérenne suffisante, ou mieux une perte.

Cette situation se présente ici; l'eau du Las se perd dans ses alluvions entre la cascade de Dardennes et le pont Saint-Pierre. En période d'étiage, toute l'eau superficielle s'y infiltre .



Point de réapparition du Las (Photo Val d'As )



Baume de Dardennes (Photo Val d'As )

### Points d'émergence

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 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 issue de formations superficielles telles que des éboulis...),

En ce qui concerne la surveillance, nous avons choisi les émergences et captages suivants :

- la Baume de Dardennes
- Saint-Antoine
- le Puits Peyret
- sous le pont de l'autoroute (pont des Gaux)
- point de réapparition du Las



Saint-Antoine (Photo Val d'As )





### 6.2.3) Le choix de la période d'injection

Si l'eau coule, on a toute liberté dans le choix de la date de l'injection.

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.



Le Las entre calcaire et béton (Photo Val d'As)

Mais une question se pose : Quelle période est la plus-favorable ?

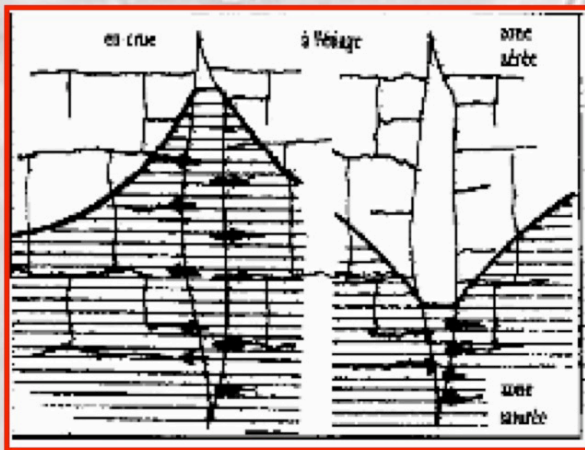


Figure 4 : Le drain dans le karst

- **À l'étiage**, même si l'on dispose d'un écoulement suffisant, les vitesses de circulation sont lentes.

On risque de voir s'étendre l'opération sur des semaines ou des mois, ce qui alourdirait d'autant plus la logistique de prélèvement et d'analyse.

Par ailleurs, le traceur peut se stocker dans des bassins, se diluer dans les zones noyées, bref la concentration à la sortie risque d'être faible, voire indétectable.

- **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 survient après un long étiage pendant lequel ces systèmes annexes se sont vidangés. De la même manière, la végétation, les sols, l'épikarst (partie superficielle du karst intensément fissurée), la masse fissurée de la zone vadose sont susceptibles d'intercepter une bonne partie de l'écoulement lors des premières pluies. Surtout lorsque ces pluies surviennent à la suite d'un long étiage estival ou hivernale (ce sera le cas pour l'hiver 2004 dans notre région). Par ailleurs, les forts débits risquent de diluer 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.





### 6.2.4) Les acteurs du traçage :

Il est indispensable de recourir à plusieurs collaborateurs pour les différentes étapes de l'opération.

#### L'équipe des traceurs

La fluorescéine brute ou faiblement diluée est susceptible (comme tous les autres traceurs) 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 traçage (Photo T.L).



L'équipe de surveillance à la Baume (Photo P.M)

#### L'équipe de surveillance

Dès l'injection, elle se rendra sur les points de sorties d'eau à surveiller et collectera des échantillons d'eau. La périodicité est fixée à un échantillon d'eau, par jour et par émergence, sur une durée indéterminée.

Les échantillons sont prélevés dans des flacons de verre anti-actinique (1), conservés au frais et dans l'obscurité puis envoyé au laboratoire.

Le laboratoire déterminera la concentration de la fluorescéine par spectrofluorémétrie (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

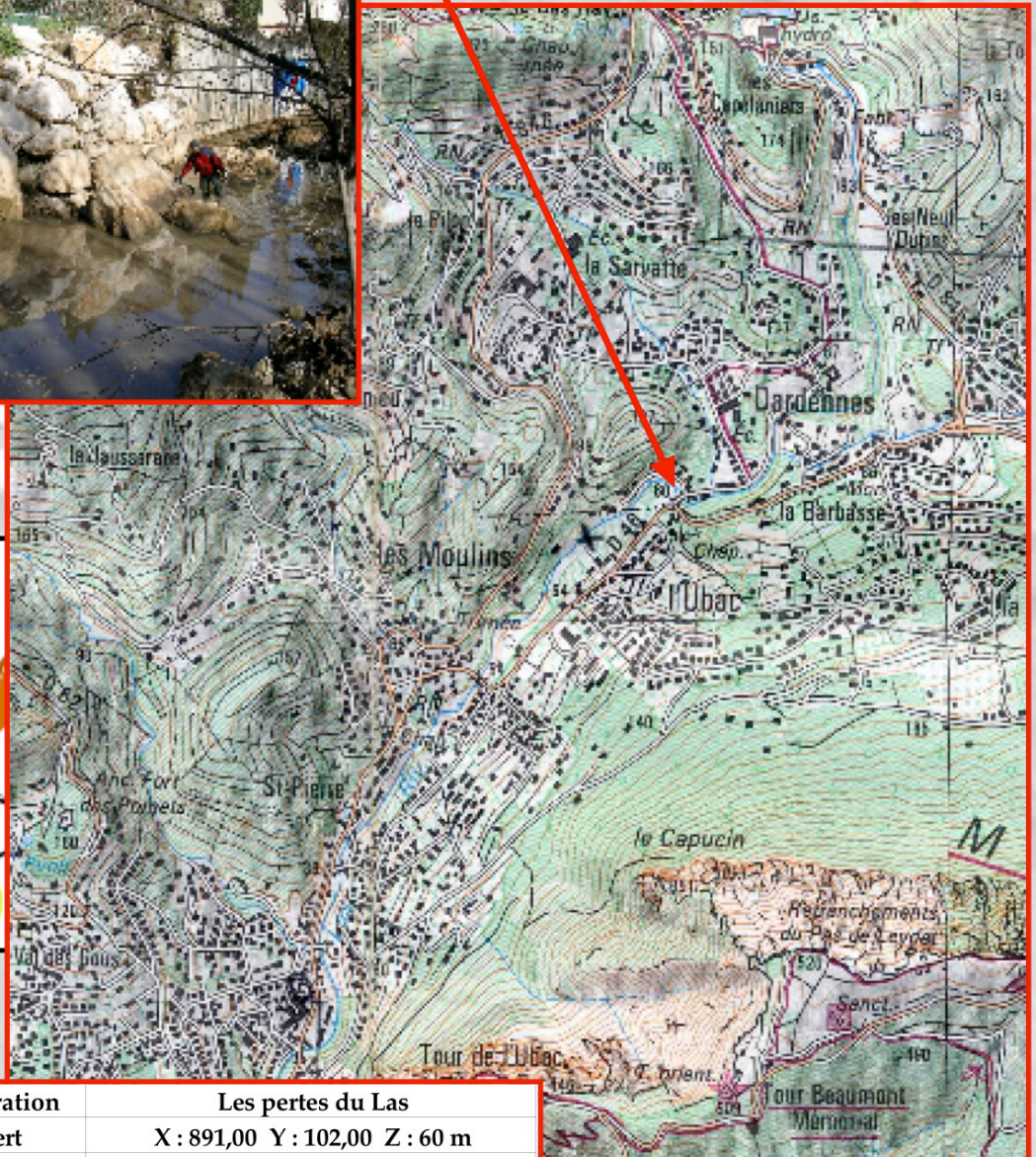
(2) Chaque échantillon est illuminé à partir d'une lampe tungstène sous un angle de 45° pour minimiser les effets de brillance. Le spectre renvoyé par l'échantillon où reflectance est capté. Après diffraction, une barrette de diode mesure le spectre de 380 à 780 nm par incrément de 10 nm. S'il correspond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



### 7) Point d'infiltration des pertes du Las



Le Las aux moulins



Nom du point d'infiltration	Les pertes du Las
Coordonnées lambert	X : 891,00 Y : 102,00 Z : 60 m
Carte I.G.N N°	Toulon 3346 ouest
Commune	Toulon
Propriété	?
Type	Source vaclusienne
Géologie	Barrémien à faciès Urgonien
Débit à l'étiage	0 l/s
Débit moyen	?
Débit en crue	200 m3/s



En étiage, le Las se perd dans ses alluvions entre le hameau de Dardennes et le pont Saint-Pierre. Le traçage permettra d'améliorer la connaissance hydrologique des circulations souterraines du Las.





## 7.1) Le barrage du Revest



Nom du point de sortie	La Foux et ses sources (Fig 4)
Coordonnées lambert	X : 892,2 Y : 103,9 Z : 90 m
Carte I.G.N N°	Toulon 3346 ouest
Commune	Le Revest
Propriété	Toulon
Type	Exutoire situé au fond du barrage de Dardennes
Géologie	Turonien ou cénomaniens (moyennement perméable)
Débit à l'étiage	50 l/s
Débit moyen	115 l/s
Débit en crue	20000 à 82000 l/s avec le Ragas
Distance point injection-Barrage	1500 mètres
Dénivellés point injection-Barrage	66 mètres
Pente Point injection-Barrage	Environ 5 %



Ce barrage, construit de 1909 à 1912, a une superficie de 20 ha pour une capacité de réserve de 1 100 000 m<sup>3</sup>.

Il permet de stocker l'eau de ses sources.

Dardennes contribue ainsi à l'alimentation de la ville de Toulon et assure, avec Saint-Antoine, 48 % de la distribution.



### 7.2) La Foux : origine des eaux du Las

La Foux et les autres exurgences constituent la source du Las. En 1879, la ville captait l'eau au fond du Ragas par un souterrain de 90 mètres de long.

Aujourd'hui ce sont les exutoires comme la Foux de Dardennes (90 m), la petite Foux (96,3 m), la Foux (102,4 m), le figuier (106,7 m), le Rabas (109,3 m) et les trop-pleins comme le valet des Roux (121 m), le Pin (133,4 m), et le Ragas (149 m), qui alimentent le barrage lors de leurs crues.



La Foux de Dardennes

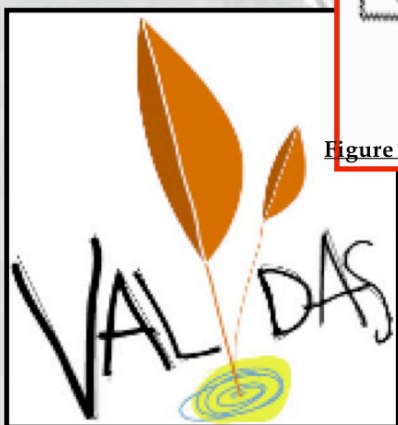
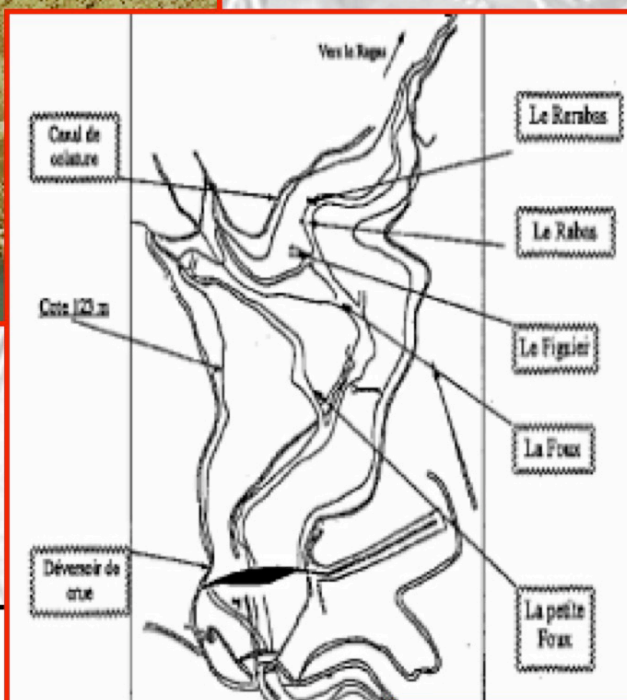
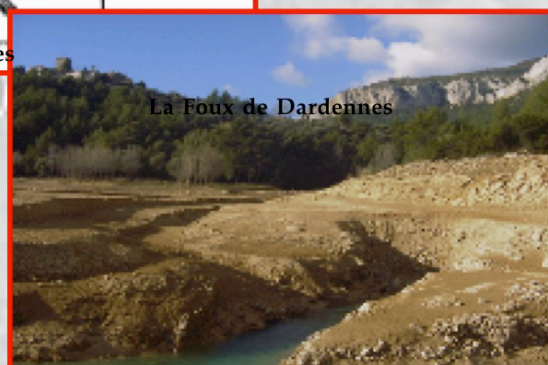


Figure 4 : Le barrage et ses exutoires



La Foux de Dardennes

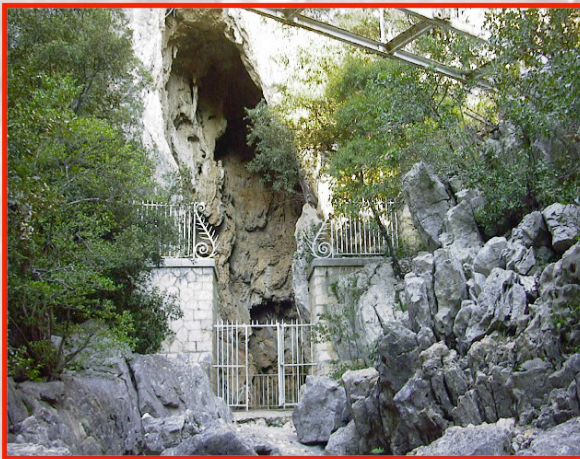




### 7.3) Le Ragas

Cette source vaclusienne se situe au point d'affleurement le plus bas des calcaires urgoniens, sur une faille importante. Nous sommes en présence d'un karst barré.

Lors de crues importantes, le Ragas déverse un volume d'eau exceptionnel, c'est l'excédent de crue de la Foux située à 90 m. Le débit de la Foux et du Ragas est de 200 l/s en moyenne, mais lors de crues violentes, le Ragas se met en charge et crache dans la retenue.



Le Ragas (Photo P.M)

On a alors un débit couplé moyen de 20 m<sup>3</sup>/s avec un maximum atteint de 82 m<sup>3</sup>/s. Ces crues sont fonctions des averses sur le plateau et du niveau d'eau du barrage.

Le gouffre se divise en trois parties, la première est verticale et à sec (-40 m), la deuxième est verticale et noyée (-90 m), puis vient une large galerie sur une centaine de mètres qui aboutit à un vaste volume noyée.

Les plongeurs ont touché le fond à la côte - 150 mètres, ils n'ont pas trouvé de suite.



Coupe du ragas

Nom du point de sortie	Le Ragas (trop-plein du barrage)
Coordonnées lambert	X : 892,4 Y : 104,6 Z : 149 m
Carte I.G.N N°	Toulon 3346 ouest
Commune	Le Revest
Propriété	Toulon
Type	Source vaclusienne
Géologie	Barrémien à faciès Urganien
Débit à l'étiage	0 l/s
Débit moyen	480 l/s
Débit en crue	60000 l/s

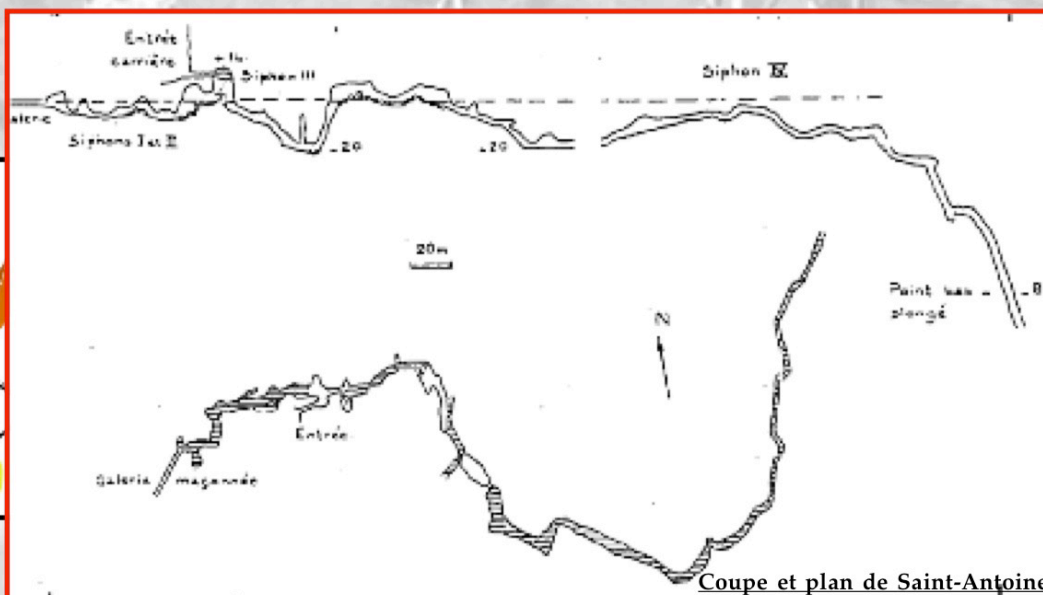


## 8) Les points de surveillance

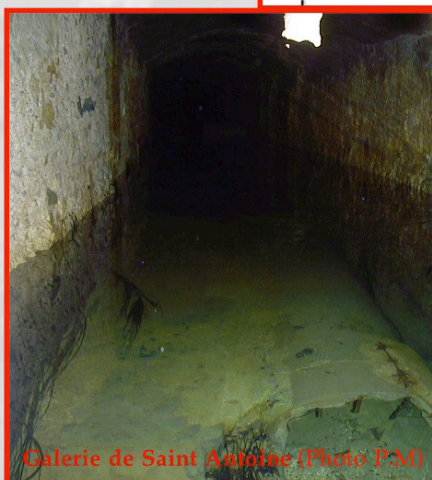
### 8.1) Saint-Antoine

La source est importante (1 à 1,5 millions de m<sup>3</sup> par an), l'eau est captée par la C.E.O et utilisée pour l'alimentation de la ville de Toulon.

De l'entrée, on accède à une grande galerie souterraine d'une soixantaine de mètres, puis on se retrouve dans des galeries naturelles entrecoupées par des siphons (voir topographie). Ces eaux viennent pour partie de Siou-Blanc comme l'a démontré le traçage de la Solitude.



Coupe et plan de Saint-Antoine



Galerie de Saint Antoine (Photo P.M)

Nom du point de sortie	Source Saint-Antoine
Coordonnées lambert	X : 890,9 Y : 101,2 Z : 20 m
Carte I.G.N N°	Toulon 3346 ouest
Commune	Toulon
Propriété	Toulon
Type	Source d'eau potable
Géologie	Bathonien calcaire (perméable)
Débit à l'étiage	50 l/s
Débit moyen	165 l/s
Débit en crue	1250 l/s
Débit à l'injection	?
Distance point injection-Antoine	2250 mètres
Dénivellés point injection-Antoine	40 mètres
Pente Point injection-Antoine	Environ 2 %

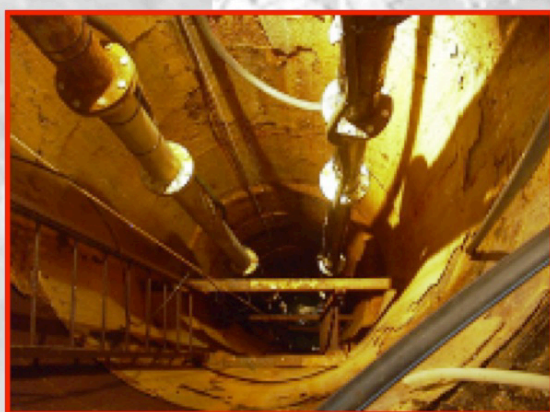




## 8.2) Le puits Peyret

La marine utilisait, à cette époque, la source de Rodeilhac, qui sortait dans le lit même du Las. Elle était captée à cinquante mètres, environ, du pont de Rodeilhac, à la côte 8. Bien que pérenne, cette source ne possédait qu'un très faible débit.

Effectivement après le captage du Ragas, la source ne débita plus qu'en hiver. Elle devait se tarir complètement lors de l'exploitation intensive des puits Peyret. Elle semble n'avoir été qu'un exutoire, un trop-plein, de la nappe qui alimente ces derniers.



D'après le BRGM, une nappe s'étendrait dans les alluvions très perméables de la basse vallée du Las, ainsi que dans les dépôts de pente de rive droite (vers l'Oratoire) et de rive gauche (pied du Mont Faron). Cette nappe autrefois très utilisée (5000 puits en 1900), est maintenant en zone urbaine.

L'exploitation de ce point d'eau, tributaire du Las, parut insuffisante à la marine. En 1924, la marine chercha à améliorer le rendement en faisant quelques études.

Elle pensait qu'un colmatage partiel des bancs de galets par des injections de ciment d'argile, en aval des galeries, pourrait relever le niveau hydrostatique et présenter la possibilité d'un pompage plus intense, tout en éliminant la saumure des eaux. Un sondage dans le puit nord fut exécuté; il permit de constater l'existence d'un banc de galets de 45 mètres de profondeur.

Nom du point de sortie	Le puits Peyret
Coordonnées lambert	X : 890,84 Y : 100,85 Z : 8 m
Carte I.G.N N°	Toulon 3346 ouest
Commune	Toulon
Propriété	La marine nationale
Type	Source d'eau potable
Géologie	Cailloutis de piedmont et Rhétien
Débit à l'étiage	5 l/s
Débit moyen	34 l/s
Débit en crue	115 l/s
Débit à l'injection	?
Distance point injection-Puits Peyret	3500 mètres
Dénivelés point injection-Puits Peyret	52 mètres
Pente Point injection-Puits Peyret	Environ 1,5 %





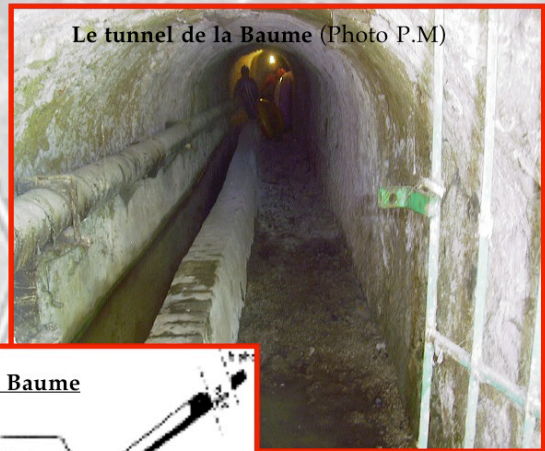
### 8.3) La Baume de Dardennes

La Baume est une grotte d'environ 1000 mètres de long qui se dirige en direction de la pointe du Croupatier.

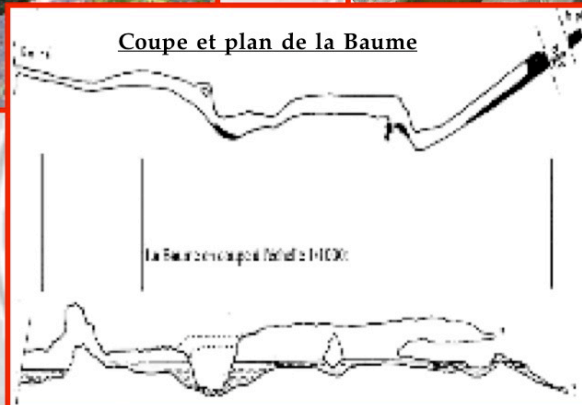
L'eau sort à la base d'un petit massif calcaro-dolomitique du jurassique supérieur en rive droite de la vallée du Las.



La Baume de Dardennes (Photo P.M)



Le tunnel de la Baume (Photo P.M)



Nom du point de sortie	La Baume de Dardennes
Coordonnées lambert	X : 890,57 Y : 100,12 Z : 24,5 m
Carte I.G.N N°	Toulon 3346 ouest
Commune	Toulon
Propriété	Les Témoins de Jehova
Type	Source d'eau potable jusqu'en 1816
Géologie	PiedmontWurmien; Jurassique supérieur
Débit à l'étiage	5 l/s
Débit moyen	10 l/s
Débit en crue	25 l/s
Débit à l'injection	?
Distance point injection-la Baume	2250 mètres
Dénivellés point injection-la Baume	35,5 mètres
Pente Point injection-la Baume	Environ 1,6 %



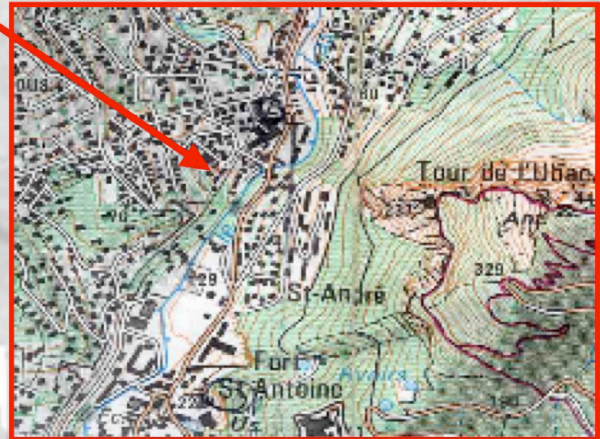


### 8.4) Point de réapparition du Las

Une partie des eaux souterraines du Las sourdent entre le quartier Val St-André et la Baume redonnant au cours d'eau un aspect normal.

Est-ce une nouvelle source ? ou tout simplement l'eau des pertes du Las du hameau de Dardennes ?

Seul un traçage pourra répondre à nos interrogations, nous surveillerons cette sortie d'eau.



Point de réapparition du Las.(Photo T.L.)



Nom du point de sortie	Point de réapparition du Las
Coordonnées lambert	X : 891,00 Y : 100,00 Z : 30 m
Carte I.G.N N°	Toulon 3346 ouest
Commune	Toulon
Propriété	?
Type	exurgence
Géologie	?
Débit à l'étiage	10 l/s
Débit moyen	?
Débit en crue	?
Débit à l'injection	?
Distance point injection-exurgence	1750 mètres
Dénivellés point injection-exurgence	30 mètres
Pente Point injection-exurgence	Environ 2 %



### 8.5) Pont des Gaux

Au niveau de l'autoroute (Bon Rencontre), le cours d'eau du Las retrouve son débit initial.

Au débit de l'exurgence du Val St-André s'ajoute les débits d'eaux de la Baume de Dardennes et de Saint-Antoine qui permettent de gonfler le débit d'eau de la rivière.



Sous le pont de l'autoroute à l'Escaillon (Photo Val d'As)

D'autres affluents se jettent dans la rivière entre le dégrilleur et la fin de sa couverture.

Au niveau de l'autoroute (Escaillon) le débit du Las est important (50 l/s en étiage), nous surveillerons ce point lors du traçage pour ne rien manquer.

Nom du point de sortie	pont des Gaux
Coordonnées lambert	X : 890,050 Y : 98,650 Z : 5 m
Carte I.G.N N°	Toulon 3346 ouest
Commune	Toulon
Propriété	toulon
Type	Forage d'eau potable
Géologie	calcaires (impermeables)
Débit à l'étiage	50 l/s
Débit moyen	?
Débit en crue	?
Débit à l'injection	?
Distance point injection-Carrefour	4750 mètres
Dénivellés point injection-Carrefour	55 mètres
Pente Point injection-Carrefour	Environ 1%

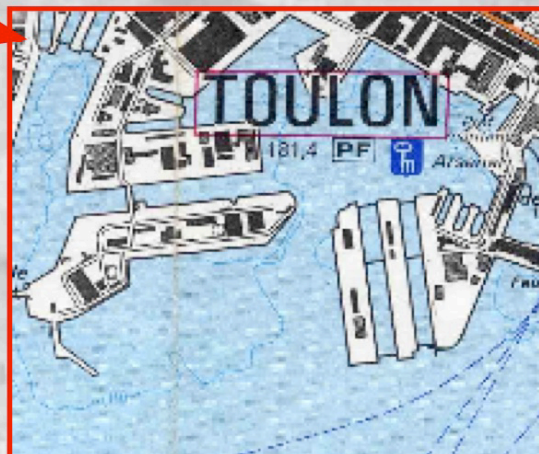




### 8.6) Les sources de Missiessy ?

En 1927 une équipe de plongeurs observe à 2m au large du quai ouest de la darse de Missiessy des bouillonnements d'eau au dessus du niveau de la mer.

Ils prirent les températures et constatèrent une énorme différence entre celle du bouillonnement et celle de l'eau de mer. Il s'agissait incontestablement d'arrivées d'eaux douces.



En parcourant un vieux journal de 1929 nous trouvons d'autres renseignements sur cet apport d'eau douce de Missiessy.

*“ Dans le quartier de Missiessy ou de la Teoulière, situé à l'ouest de la ville et s'étendant jusqu'à la plage nord de la petite rade, existait un ancien château féodal, dont la date la plus ancienne connue remonte à 1560.*

*A l'est de ce château et à son pied, sortait une eau abondante et limpide, qui avait creusé un ruisseau pour se jeter sur le rivage de la petite rade. Les eaux de la rade élargirent ce ruisseau jusqu'à la limite des marées hautes, ce qui permit aux embarcations des navires de s'avancer au pied du château afin de s'approvisionner en eau douce .En 1861 la darse de Missiessy fut creusée, et fit disparaître la source du château de Missiessy “ .*

Nom du point de sortie	Missiessy
Coordonnées lambert	X : 891,00 Y : 96,800 Z : - 5 m
Carte I.G.N N°	Toulon 3346 ouest
Commune	Toulon
Propriété	La marine nationale
Type	émergence
Géologie	?
Débit à l'étiage	?
Débit moyen	?
Débit en crue	?
Débit à l'injection	?
Distance point injection-Missiessy	6000 mètres
Dénivellés point injection-Missiessy	65 mètres
Pente Point injection-Missiessy	Environ 1 %

Quand en 1909 -1910 les bassins 1 et 2 de Missiessy furent allongés et portés à 200 mètres de longueur utile, l'épuisement des souilles ouvertes pour cet allongement, nécessita le pompage de 1000 m<sup>3</sup> d'eau à l'heure poursuivi nuits et jours.

Ces eaux provenaient du cheminement souterrain de la rivière du Las. On sait que le lit de cette rivière fut détourné vers 1680 pour la création de la darse de Missiessy. On détourna les eaux de surface, la rivière souterraine n'en subsiste pas moins.





- L'évolution de la concentration du traceur en fonction du temps traduit une augmentation rapide de la concentration, suivie d'une baisse rapide au début, puis lente.

- Les concentrations maximales mesurées ( $6,2 \mu\text{g/l}$ ) sont faibles; **elles traduisent une dilution importante.**

-Le taux de restitution est de 3%. Il est très faible mais significatif.

Bien que faible, ce taux de restitution **témoigne d'une relation entre les eaux superficielles de la carrière et les eaux du barrage.**

Les pertes peuvent être provoquées 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).

D'après les séries de calculs, les vitesses de transit sont comprises entre **3,7 et 4,2 m/h.** ces vitesses sont faibles.

Ces faibles vitesses permettent d'expliquer :

- L'allure de la courbe (montée rapide de la concentration suivie d'une décroissance plus ou moins lente selon la distance parcourue)

- La présence d'une zone noyée

Le rapport de la vitesse maximale sur la vitesse modale (**1,13**) est faible.

**Cela signifie que le parcours souterrain se déroule dans des conduits bien hiérarchisés.**



Source de la Figuière du Barrage (Photo P.M)



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

La simulation du transit de substances polluantes nocives par des substances dénués de toxicité est une démarche fréquemment envisagée, mais les différences de propriétés physiques et chimiques de ces substances (souvent probable) sont à prendre en compte.

La fluorescéine ne s'apparente pas à des hydrocarbures.



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 du traçage.

on rappellera ici que l'on a utilisé des forages d'injection artificiels et que les conditions météorologiques ont été optimales pour la diffusion du traceur. En cas d'une pollution accidentelle, la carrière a déjà le matériel et les produits nécessaires à la récupération de la pollution.

**Le taux de dilution de ce traçage est relativement élevé, de l'ordre de  $2,5 \cdot 10^{-6}$** . Si une substance polluante est déversée sur le poste primaire de la carrière celle-ci se retrouverait dans des conditions de hautes dilutions dans le barrage.

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.

**Le taux de restitution de la fluorescéine est très faible (3%)**. On peut en déduire qu'une grande partie du polluant serait piégé et dilué dans le sous-sol.

Si la concentration maximale de sortie ( assimilable aux matières polluantes ) est inférieure au seuil de toxicité (pour l'homme  $10 \mu\text{g}/\text{l}$  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.

En raison des mesures prises (ou en cours de réalisation), par l'exploitant en matière d'environnement (cf. paragraphe "qualité des eaux de surface sur le poste secondaire et tertiaire" ) et aux vues des résultats obtenus (dilution, pluviométrie, vitesse d'arrivée etc...), nous pensons qu'il y a peu de risque de contamination des eaux potables.



## Références bibliographiques

Mesures de débits et traçages - Philippe Audra

Influence de la Reppe sur la qualité de l'eau du puits de Pépiole - Spélé H<sub>2</sub>O

Etude d'impact sur la carrière de Fiéraquet - ENCEM

Rapport technique recherches spéléologiques et hydrogéologiques sur le massif de Siou Blanc - Spélé H<sub>2</sub>O

Rapport 1 technique recherches spéléologiques et hydrogéologiques sur le massif de Siou Blanc - Spélé H<sub>2</sub>O

Rapport 2 technique recherches spéléologiques et hydrogéologiques sur le massif de Siou Blanc - Spélé H<sub>2</sub>O

Rapport 3 technique recherches spéléologiques et hydrogéologiques sur le massif de Siou Blanc - Spélé H<sub>2</sub>O

Synthèse des rapports 1-2-3 Massif de Siou Blanc - Spélé H<sub>2</sub>O

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

Relation avec la carrière de Fiéraquet - Spélé H<sub>2</sub>O

Relation avec la Reppe - Spélé H<sub>2</sub>O

Thèse de Lucienne Grimaud " Toulon et son eau "





SPELE-H<sub>2</sub>O



DEFI  
Jeunes