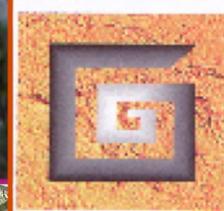


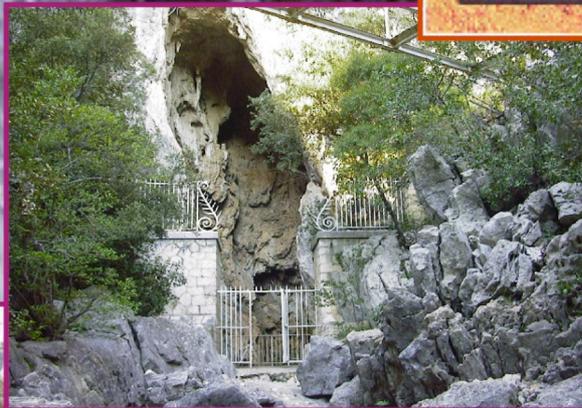
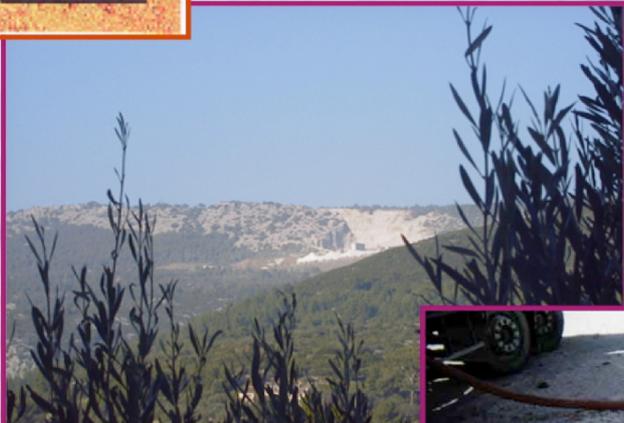
SOMECA



SOMECA



Relation entre la Carrière de Fiéraquet et les captages en eau de la vallée de Dardennes



Spélé H2O



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



Plan

	Page
1) Objet de l'étude	1
2) Présentation générale du site de la carrière	2
3) Contexte géologique et hydrogéologique de la carrière	3
3.1) Présentation géologique du massif de Siou Blanc	3
3.2) Etude du système karstique de Siou blanc	3
3.2.1) limites spatiales du système karstique de Siou Blanc	4
3.2.2) Situation du système Siou Blanc par rapport aux différents types de karst	5
4) Problématique de l'étude	6
4.1) Nature des eaux de ruissellement	6
4.2) Qualité des eaux de surface sur le poste secondaire et tertiaire	7
4.3) Le devenir des eaux de surface depuis les points d'infiltration	7
5) La méthode de traçage	8
5.1) Principe de la méthode	8
5.2) Préparation du traçage	9
5.2.1) Le choix du traceur et la quantité injectée	9
5.2.2) Choix des lieux d'injection et de surveillance	10
5.2.3) Le choix de la période d'injection	11
5.2.4) Les acteurs du traçage	12
6) Mise en oeuvre du traçage	13
6.1) Avant l'injection du traceur	13
6.2) L'injection du traceur	13
6.3) Surveillance des points de réapparition	14
7) Les résultats des mesures réalisées aux points de surveillance	15
7.1) La baume de Dardennes	15
7.2) Le forage C.E.O	16
7.3) Le forage du stade	17
7.4) La source Saint Antoine	18
7.5.1) Le barrage du Revest - La Foux	19
7.5.2) Les points de surveillance sur le barrage	20
7.5.3) Le Ragas	21
8) Exploitation des résultats	22
8.1) Analyse qualitative	22
8.2) Analyse quantitative	23
8.2.1) La courbe de restitution	23
8.2.2) Le volume d'eau écoulé	24
8.2.3) Les flux du traceur	25
8.2.4) La fonction d'entrée	26
9) Interprétation des résultats	27
10) Intégration des résultats dans une stratégie de prévention des risques de contamination des eaux	30
11) Conclusion et perspective	31





1) Objet de l'étude :

La loi du 19 juillet 1976 et son décret d'application du 21 septembre 1977 stipulent que les installations qui peuvent présenter des dangers ou des inconvénients:

- Pour la commodité du voisinage.
- Pour la santé, la sécurité, la salubrité publique.
- Pour l'agriculture.
- Pour la conservation des sites et des monuments définie par la

nomenclature des installations classées.

sont soumises à des procédures d'autorisation ou de déclaration.

Ces textes concernent un grand nombre d'activités industrielles, mais aussi certaines activités économiques telles que les élevages, les décharges, les carrières (depuis juin 1994)...

Les installations classées doivent également respecter les règles de fond établies par la loi sur l'eau du 3 janvier 1992; toutefois, elles sont soumises aux seules règles de procédure de la législation des installations classées.

L'autorisation d'une ICPE est accordée (ou refusée) par le préfet après enquête publique, consultation des services et au vu, entre autres, d'une étude de dangers.

La présente étude a été demandée par l'hydrogéologue agréé du Var (Mr.A.GOUNUN) lequel préconise "un essai de traçage à partir du drain évacuant dans le sous-sol les eaux de ruissellement collectées sur l'exploitation actuelle".

Ce drain est situé au poste primaire, il correspond à des conditions d'injection maximales dans le massif karstique (forage d'injection) et donc à des pertes artificielles dans ce massif perméable en grand. Il s'agit donc d'un site privilégié pour un essai.

La carrière de Fiéraquet, le barrage du Revest (Photo Philippe MAUREL)



2) Présentation générale du site de la carrière :

La carrière du Revest est située sur le territoire de la commune du Revest-les-Eaux, au lieu-dit "Fiéraquet". Elle est exploitée par la société SOMECA (Fig 1). Elle est intégrée dans le massif de Siou Blanc.

La carrière forme une sorte de cirque où se concentrent et s'infiltrent les eaux de pluies.

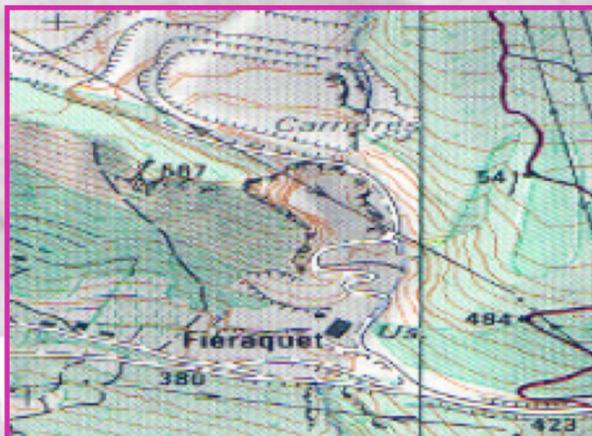


Figure 1 : Situation de la Carrière de Fiéraquet

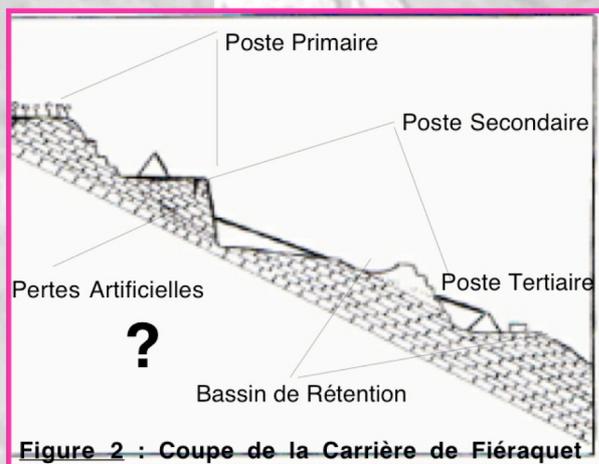


Figure 2 : Coupe de la Carrière de Fiéraquet

Les extractions de matériaux se répartissent sur trois étages :

- le poste primaire situé au coeur de la zone exploitée ;
- les postes secondaires et tertiaires implantés en partie basse du site (Fig 2).

Le cirque est, en fait découpé en plusieurs bassins-versants et forme 3 impluviums :

- Le premier impluvium constitué par la partie haute de la carrière; il se situe depuis le palier supérieur jusqu'au carreau sur lequel est positionné le stock primaire de matériaux.

- Le second impluvium constitue la partie basse de la carrière; les eaux sont collectées dans un bassin de rétention et de décantation de 3000 m³.

- Le troisième impluvium est constitué par la plate-forme des installations; une rigole en béton a été mise en place pour permettre l'évacuation de l'eau.

Un bassin, d'une capacité de 6 000 m³ environ, collecte les eaux ruisselant sur la plate-forme inférieure, les eaux ne ruissellent plus vers l'extérieur du site, et notamment sur le talus bordant le chemin communal.



3) Contexte géologique et hydrogéologique de la carrière

3.1) Présentation géologique du massif de Siou Blanc :

La carrière se situe sur le massif de Siou Blanc. Le massif se présente en un plateau qui s'étend du nord de Toulon jusqu'à Signes sur une superficie de 9 km par 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.

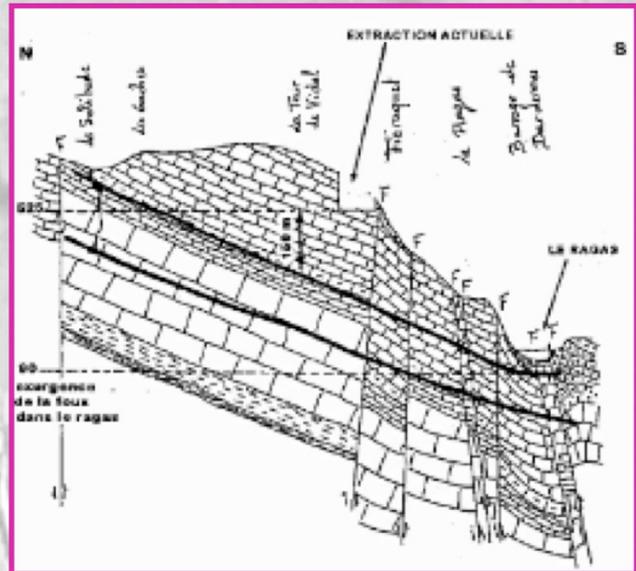
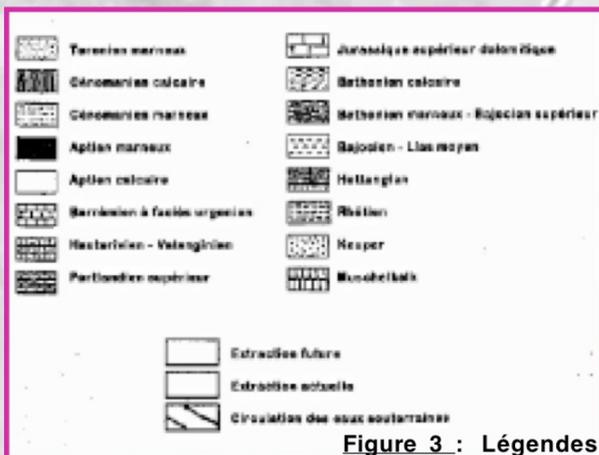


Figure 3 : coupe géologique de Siou-Blanc



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

Il est traversé de plusieurs gouffres dont le Cyclopibus (-369m) et le Sarcophage (-362m) qui sont parmi les plus profonds.

Aucun de ces gouffres n'a encore recoupé la rivière souterraine qui alimente le Ragas (exutoire du Barrage).

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 n'atteint les eaux souterraines et les exutoires, peu nombreux, ont des débits de crue impressionnants (jusqu'à 60 m³/s).

3.2) Etude du système karstique de Siou Blanc :

Il couvre une superficie de 57 km². Il est recoupé de grandes failles orthogonales alors que 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 3).

Les eaux souterraines de ce système karstique aboutissent dans la grande dépression de la plaine des Selves, elles sont drainées par le Ragas et la source de Saint Antoine.

3.2.1) 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.

Leur étude fine relève d'un véritable travail de spécialiste. C'est le cas du système Siou-Blanc sur lequel se trouve la carrière de Fiéraquet.

Toutefois une étude menée par Spélé H₂O en 93 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 4), 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 (voir document ci-joint) :

- 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.



Usine Saint Antoine (Photo P.M)

3.2.2) Situation du système de Siou Blanc par rapport aux différents types de systèmes karstiques

Schématiquement, on distingue 3 types de karst:

- **Les karsts perchés** (Fig 5), 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.

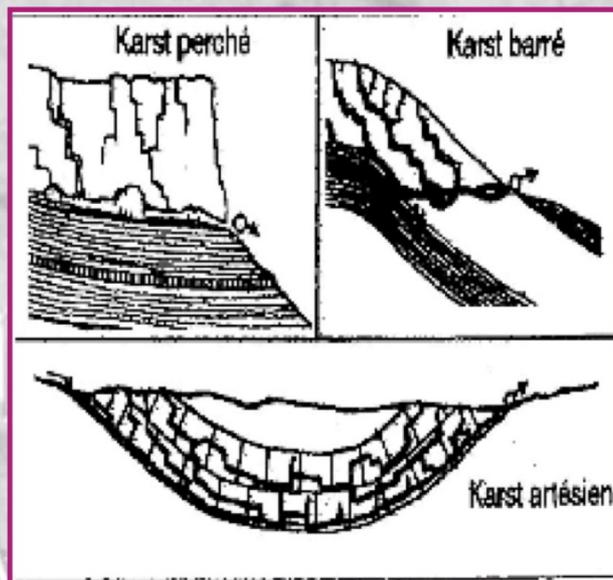


Figure 5 : Les différents types de Karsts.

- **Les karsts barrés** (Fig 5), 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 le karst fonctionnent comme un barrage, derrière lequel est retenue un volume d'eau dans les vides du massif, d'où son nom de karst barré.

- **Les karsts artésiens** (Fig 5), 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 où 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 telles que l'utilisation des traceurs courant 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.

Dans le cadre de la présente étude, la présence d'une zone noyée détermine la quantité de traceur et la durée de surveillance; celles ci sont d'autant plus importante que le volume probable de la zone noyée est grand.





4) Problématique de l'étude

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 système karstique par transfert des eaux de surface depuis les points d'infiltrations sur la carrière jusqu'aux exutoires.

En préalable, il convient de préciser la nature et la qualité des eaux de ruissellement sur l'ensemble de l'exploitation.

4.1) Nature des eaux de ruissellement sur le poste primaire :

L'eau de pluie tombant sur les terrains exploités du poste Primaire ruisselle jusqu'en contrebas du pré-stock primaire, où une tranchée a été creusée et remplie de graviers.

Les eaux percolent au travers de ces derniers avant de s'infiltrer par deux forages d'injection dans les zones broyées.

le poste Primaire (Photo Philippe MAUREL)

Les eaux de pluie récupérées sur les carreaux sont filtrées par les graviers (constitution de fosses remplies de graviers au niveau des points bas, par lesquelles transitent les eaux avant de s'infiltrer).

Ces pertes sont artificielles, elles ont été créées par minage pour permettre l'infiltration des eaux pluviales.

Perte du poste Primaire (Photo Thierry LAMARQUE)

Selon la législation, en cas de risque d'entraînement de pollution par les eaux pluviales, un réseau de collecte doit être aménagé et raccordé à un bassin de confinement du premier flot. Les eaux ainsi récoltées ne peuvent être rejetées au milieu récepteur qu'après contrôle de leur qualité et si besoin, traitement approprié (massif filtrant, bac déshuileur, bassin de décantation etc ..).

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





4.2) Qualité des eaux de surface sur Le poste secondaire et tertiaire :

Les fines d'origine minérale contenues dans les eaux de ruissellement qui parcourent les différents niveaux de la carrière ne présentent pas d'effets toxiques pour la santé dans la mesure où ces fines sont d'origine naturelle.

Il n'y a aucun lavage des matériaux, donc aucun rejet d'eau chargée de matières en suspensions, et l'eau utilisée pour l'abattage des poussières est absorbée par les granulats.



le poste tertiaire de la carrière (photo Philippe MAUREL)

Pour éviter tout risque de pollution des eaux superficielles et du sous-sol, les mesures suivantes sont et seront prises :

- La réserve de carburant est associée à un bac de rétention.
- Le ravitaillement en carburant est réalisé au-dessus d'une aire étanche.
- La réserve d'huiles neuves et la citerne d'huiles usagées sont entreposées dans un local dont le sol est bétonné.
- Les gros engins sont réparés et entretenus sur une aire étanche équipée d'un récupérateur à hydrocarbure. Les eaux recueillies dans ce dispositif sont régulièrement évacuées par une entreprise agréée.
- L'exploitant veille et veillera au bon état général de ses engins, ce qui limite tout risque d'accident mécanique.
- Les eaux usées issues des sanitaires sont conduites vers une fosse septique équipée d'une ligne d'épandage et installée en conformité avec les normes de la DDASS.
- La carrière dispose de produits antidispersif en cas de pollution accidentelle.

Les déchets produits par le fonctionnement de la carrière sont stockés à proximité de l'atelier. Ils connaissent des destinées différentes :

- Toutes les pièces métalliques sont et seront récupérées par un ferrailleur,
- Les pièces mécaniques (pneus, batteries, filtres à huile) sont et seront récupérées par les entreprises spécialisées,
- les engins usagés sont et seront collectés par un récupérateur agréé.

L'exploitant veille à ce qu'aucune décharge sauvage ne s'installe sur le site.

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

L'essentiel des travaux réalisés sur le terrain, pour la présente étude, consiste en des opérations de traçage qui permettent de déterminer les modalités de circulation des eaux de surface infiltrées depuis le poste primaire dans le système karstique jusqu'à leurs points d'émergence.

Nous développerons, dans le paragraphe suivant la technique de traçage.





5) La méthode de traçage

5.1) 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 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)

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.

Le barrage de Dardennes (Photo P.MAUREL)

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.





Points d'émergence

Dans le prolongement de l'étude structurale, on détermine le ou les points de sortie d'eau. Ils se situeront au point le plus bas de l'aquifère, à proximité du niveau de base.

D'éventuelles sources de trop-plein seront repérées (le Ragas). Enfin, toutes les autres sorties d'eau en périphérie du massif 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...),

photo P.MAUREL : Le vallon du Ragas vue du barrage

Etude critique des traçages antérieurs

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

Tout d'abord, on examinera soigneusement la méthode utilisée et les résultats obtenus, afin de savoir si ces traçages peuvent être pris en compte ou au contraire si les résultats sont particulièrement douteux. S'il en existe des valables, on les utilise pour deux raisons :

- le traçage envisagé sera complémentaire, en étudiant un autre secteur du bassin d'alimentation,
- les résultats permettent de "Caler" les choix, tels que le volume de traceur à employer, la durée et la périodicité de surveillance que l'on déduit des vitesses et des durées de restitution ...

C'est heureusement le cas, une série de traçage a déjà été réalisé sur le plateau de Siou-Blanc et le plateau de Tourris, ce qui nous a permis de mettre en place rapidement ce traçage.



5.2) Préparation du traçage

5.2.1) 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 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 fluorescéine 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 le karst suffit à les rendre, pour la plupart, parfaitement inoffensifs lorsqu'ils réapparaissent aux émergences.

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 présumée. Il suffit que le traceur ressorte à une autre émergence pour que les calculs n'aient plus guère de valeur.

Fort de quelques traçages, notamment sur ce même bassin, et en tenant compte de la complexité des émergences à surveiller (le barrage avec ces 1 millions de m³ d'eau) nous injecterons 15 kg d'uranine.





5.2.2) Choix des lieux d'injection et de surveillance

Le secteur de la carrière à étudier étant défini (secteur primaire), il reste à trouver un point d'injection pour le traceur. Le cas le plus favorable est l'existence d'une cavité recoupant une circulation pérenne suffisante, ou mieux une perte.

Cette situation se présente ici; deux pertes ont été creusé artificiellement dans le secteur Primaire. En période de pluie, toute l'eau superficielle s'y infiltre .

Perte du poste primaire (Photo T.L)

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

- Le forage du Stade
- Le forage de la CEO
- Le secteur du Barrage
- La baume de Dardennes
- Saint Antoine

Forage du Stade (Photo T.L)

Forage C.E.O (Photo T.L)

Leur situation et les données caractéristiques seront exposées ultérieurement.

Baume de Dardennes (Photo P.M)

Saint Antoine (Photo P.M)

La Foux de Dardennes (Photo P.M)



5.2.3) 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.

Apport d'eau par camion citerne (Photo T.L)

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

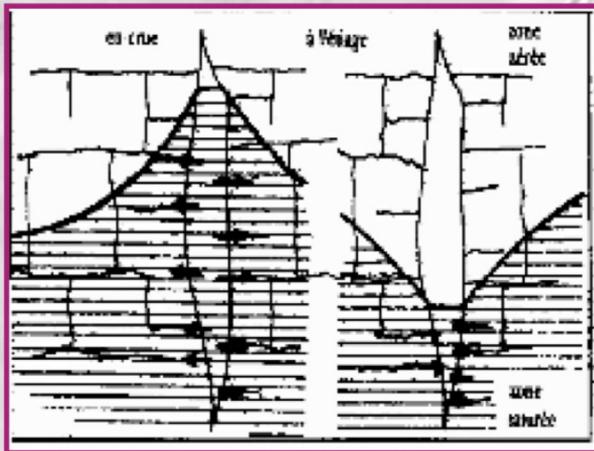


Figure 6 : Le drain dans le karst

- 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 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, 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.



5.2.4) 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 fluorescéine (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 de sortie 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 à l'obscurité puis envoyé au département de Géoscience à l'université de Besançon.

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

Le laboratoire dirigé par le professeur Jacques Mudry 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 réflectance est capté. Après diffraction, une barrette de diode mesure le spectre de 380 à 780 nm par incrément de 10 nm. Si il correspond à la longueur d'onde de la fluorescéine(491nm), on calculera sa concentration



6) Mise en oeuvre du traçage

6.1) 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.

6.2) L'injection du traceur (Tableau 1):

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

Nous avons transféré le traceur en poudre dans deux bidons étanches afin d'y être préalablement dilué. On a employé pour cela un solvant (alcool à brûler) pour faciliter la dilution. Deux bidons contenant chacun 7,5 kg de fluorescéine ont été préalablement préparés la veille. Un camion citerne mis à disposition par la carrière apportera 40000 litres d'eau nécessaires à l'opération.

Lors de l'injection nous avons simulé une impulsion de dirac (2). Dans ce but , l'injection instantanée a été réalisé le mercredi 17 avril à 10h dans la première perte du secteur primaire. A 12h l'injection des 15 kg de fluorescéine été terminé.

Paramètres d'étude pendant injection	Paramètres d'étude traçage carrière de Fiéraqet
Date injection (to)	le mercredi 17 avril à 10 heures
Traceur et quantité utilisé	Fluorescéine, 15000 grammes
Pluviométrie pendant la restitution	67,8 mm
Apport et quantité d'eau	Camion citerne, 40000 litres d'eau brute
Nom de l'injecteur	Gilles JOVET
Nom des opérateurs	Thierry LAMARQUE (H20), Mr LEMOUR (SOMECA)

Tableau 1 : 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.



6.3) Surveillance des points de réapparition

Un opérateur passe 1 fois par jour pour collecter directement un échantillon d'eau.

Les échantillons sont prélevés dans des flacons de verre anti-actinique, conservés au frais et à l'obscurité puis envoyé à l'université de Besançon où ils subissent une analyse par détermination spectrofluorimétrique.

Le Las (Photo P.M)

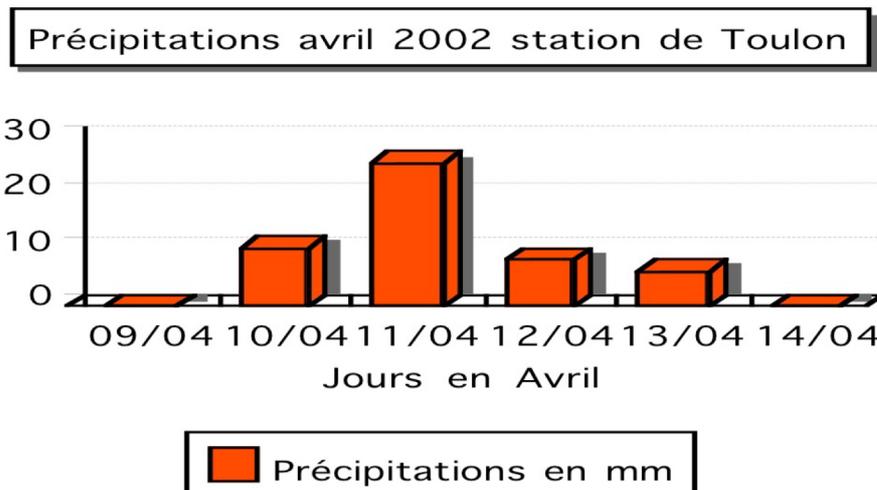
Pluviométrie :

Depuis décembre 2001, la région est soumise a 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 le karst. Du 10/04 au 13/04, les réserves annexes du karst 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)



7) Les résultats des mesures réalisées aux points de surveillance**7.1) La Baume de Dardennes**

sortie d'eau 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	7 l/s
Distance point injection-la Baume	6000 mètres
Dénivellés point injection-la Baume	565,5 mètres
Pente Point injection-la Baume	Environ 10 %
Mode et fréquence de la surveillance	1 échantillon 1 fois par jours
Durée de la surveillance	du 16 avril au 06 juin 2002
Trace de fluo ?	le 5/05/02 à 12h, 92,8 µg/l

Coupe et plan de la Baume

Le tunnel de la Baume (Photo P.M)

La baume est une grotte avec une galerie de 80 à 100 mètres en direction de la pointe du Croupatier, la rivière souterraine est d'une longueur de 440 mètres. L'eau sort à la base d'un petit massif calcaro-dolomitique du jurassique supérieur en rive droite de la vallée du Las.



7.2) Le Forage C.E.O



Le Forage C.E.O (Photo T.L)

Nom du point de sortie	Forage C.E.O
Coordonnées lambert	X : 892,27 Y : 103,4 Z : 100 m
Carte I.G.N N°	Toulon 3346 ouest
Commune	Le Revest
Propriété	C.E.O
Type	Forage d'eau potable
Géologie	Rhétien ou Hettangien calcaires (imperméables)
Débit à l'étiage	0
Débit moyen	0
Débit en crue	0
Débit à l'injection	0
Distance point injection-Forage	2625 mètres
Dénivellés point injection-Forage	490 mètres
Pente Point injection-forage	Environ 19 %
Mode et fréquence de la surveillance	1 échantillon 1 fois par jours
Durée de la surveillance	du 16 avril au 06 juin 2002
Trace de fluo ?	0

C'est un forage d'une dizaine de mètres qui n'a jamais été exploité. La C.E.O (Compagnie de l'eau et de l'Ozone) le garde en réserve, en cas de pénurie du barrage.

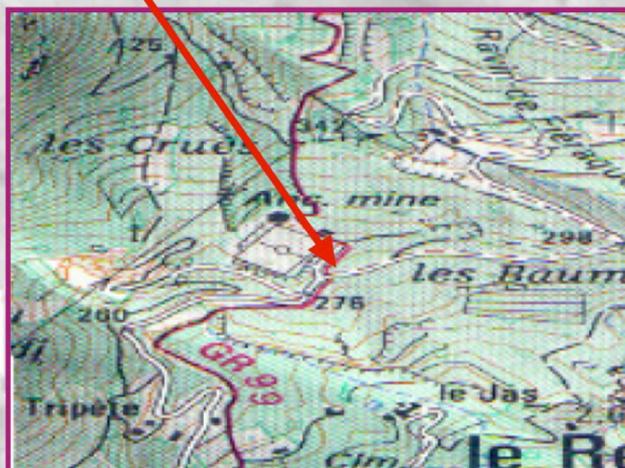
Des expériences ont montré que le débit augmente lorsque celui de la Foux de Dardennes baisse, ou lorsqu'il y a des fuites dans le barrage. Il y a effectivement des fissures sous le barrage qui pourraient alimenter les couches sous-jacentes : le Rhétien ou l'Hettangien.

Des analyses montrent que l'eau du forage n'a pas les mêmes qualités chimiques que celles du Ragas ou du Barrage. Les géologues ont en déduit que l'eau pouvait circuler dans des couches peu solubles. Nul ne sait si l'eau du Forage de la C.E.O a la même provenance que celle de la retenue.

A noter que, lors d'un de nos précédents traçages, la fluorescéine a été détecté dans le forage, mais pas dans le barrage.



7.3) Le Forage du Stade



Le Forage du stade.(Photo T.L)

Nom du point de sortie	Forage du Stade
Coordonnées lambert	X : 891,625 Y : 104,625 Z : 280 m
Carte I.G.N N°	Toulon 3346 ouest
Commune	Le Revest
Propriété	Le Revest / SOMECA
Type	Forage d'eau potable
Géologie	?
Débit à l'étiage	?
Débit moyen	?
Débit en crue	?
Débit à l'injection	?
Distance point injection-Forage	1425 mètres
Dénivellés point injection-Forage	310 mètres haut forage / 660 mètres bas forage
Pente Point injection-Forage	Environ 22 % haut forage / 46 % bas forage
Mode et fréquence de la surveillance	1 échantillon 1 fois par jours
Durée de la surveillance	du 16 avril au 06 juin 2002
Trace de fluo ?	0

Ce forage est tout récent et il n'est pas exploité. Il mesure plus de 350 mètres et on trouve l'eau à 80 mètres. Les prélèvements d'eau se font à -320 mètres.

Il n'a jamais fait l'objet d'étude et n'a jamais été surveillé lors des opérations de traçage.

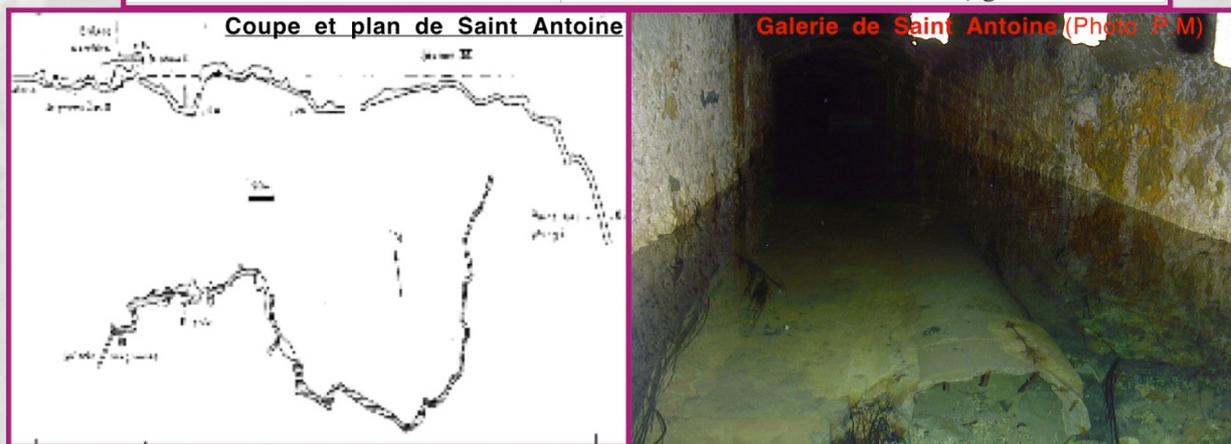
A noter, une forte odeur d'huile laissée par le foreur.



7.4) La source de Saint Antoine



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	60 l/s
Distance point injection-Antoine	5875 mètres
Dénivelés point injection-Antoine	570 mètres
Pente Point injection-Antoine	Environ 10 %
Mode et fréquence de la surveillance	1 échantillon 1 fois par jours
Durée de la surveillance	du 16 avril au 06 juin 2002
Trace de fluo ?	le 27/04/02 à 11h; 2,4 µg/l



La source est importante (1 à 1,5 millions de m³ 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 de Siou -Blanc comme l'a démontré le traçage à la Solitude.



7.5.1) Le barrage du Revest / La Foux



le barrage de Dardennes (Photo P.M)

Nom du point de sortie	La Foux et ses sources (Fig 7)
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
Débit à l'injection	100 l/s
Distance point injection-Barrage	2250 mètres
Dénivelés point injection-Barrage	500 mètres
Pente Point injection-Barrage	Environ 22 %
Mode et fréquence de la surveillance	1 échantillon 1 fois par jours
Durée de la surveillance	du 16 avril au 06 juin 2002
Trace de fluo ?	oui, voir page suivante

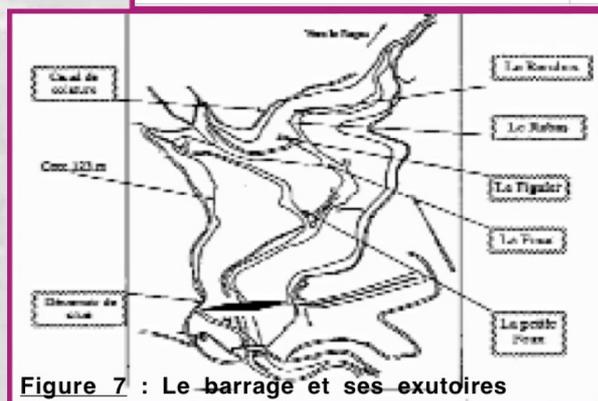


Figure 7 : Le barrage et ses exutoires



L'usine C.E.O du Barrage (Photo P.M)

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 longueur.

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 plein comme le valet des Roux (121 m), le Pin (133,4 m), et le Ragas (149 m) lors de ses crues, qui alimentent le barrage.



7.5.2) Les points de surveillance sur le Barrage

Le barrage avant les orages (Photo P.M)



Date	Heure	Débit en l/s	Débit en l/j	Con. Fluo en µg/l	Pluvio en mm
07/05/02	9h10	162	1400000	0	
08/05/02	18h	162	1400000	0,3	6,4
09/05/02	18h	162	1400000	0	5,2
10/05/02	18h	162	1400000	1,1	
11/05/02	17h	162	1400000	6,2	
12/05/02	18h	162	1400000	4,8	
13/05/02	15h30	162	1400000	3,5	
14/05/02	18h33	162	1400000	2,4	
15/05/02	19h50	162	1400000	1,8	
17/05/02	14h30	162	1400000	1,1	
20/05/02	10h30	162	1400000	0,3	4,6
22/05/02	12h	162	1400000	0,8	
25/05/02	15h45	162	1400000	0,3	
28/05/02	14h45	162	1400000	0,7	
29/05/02	10h	162	1400000	0	

Tableau 1 : Concentration jour par jour de la Fluorescéine sur le barrage

Ce barrage, construit de 1909 à 1912, a une superficie de 20 ha pour une capacité de réserve de 1 100 000 m³. Il permet de stocker l'eau de ses sources.

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

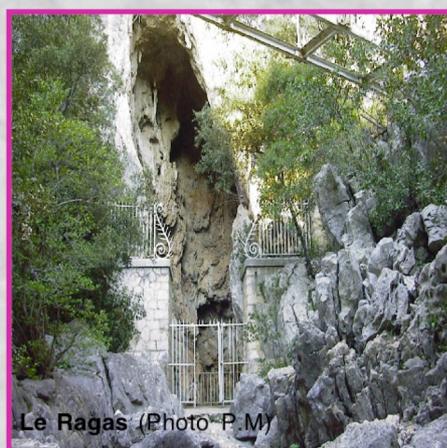
Nous avons surveillé l'eau du barrage sur quatre secteurs : Le barrage haut (l'eau de la retenue), le barrage bas (l'eau qui alimente le Las), le déversoir (l'eau du trop plein du barrage), le tunnel (eau d'infiltration du barrage).

Les résultats figurant dans le tableau 1 sont une synthèse de ces quatre points de surveillance.

La fluorescéine a été détectée du 08/05 au 28/05/02.

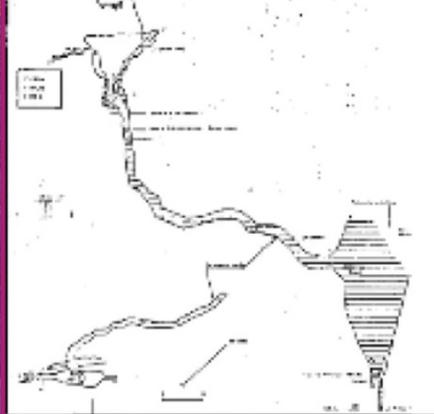


7.5.3) Le Ragas



Le Ragas (Photo P. M)

Plan et 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 Urgonien
Débit à l'étiage	0 l/s
Débit moyen	480 l/s
Débit en crue	60000 l/s
Débit à l'injection	0 l/s
Distance point injection-Ragas	1750 mètres
Dénivellés point injection-Ragas	441 mètres
Pente Point injection-Ragas	Environ 25 %
Mode et fréquence de la surveillance	Aucune, car le gouffre ne s'est pas mis en charge
Durée de la surveillance	du 16 avril au 06 juin 2002
Trace de fluo ?	?

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. On a alors un débit couplé moyen de 20 m³/s avec un maximum atteint de 82 m³/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 une large galerie fait suite sur une centaine de mètres pour aboutir dans un vaste volume noyée. Les plongeurs ont touché le fond à la côte - 150 mètres, ils ne voyaient pas les parois.

La coloration à l'aven de la solitude est ressortie 13 jours après l'injection. Pendant notre étude le Ragas ne s'est pas mis en crue. Il n'y a pas eu de surveillance.





- 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 $2,5 \text{ E-6}$. 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 $10 \mu\text{g/l}$ 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 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 Fiéraquet - 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



