



www.karsteau.fr



# Traçages artificiels KarstEAU 2011 - Rapport de synthèse des injections d'Acide Amino G, Sulforhodamine B et Fluorescéine à Cuges les Pins, Ceyreste et Signes

par

Bruno Arfib, Thierry Lamarque



Marseille, le 30/05/2011

# Résumé

Le projet KarstEAU étudie l'hydrogéologie de l'unité du Beausset, afin d'améliorer les connaissances sur les circulations d'eau souterraine. Le secteur étudié s'étend de Cassis à Toulon d'ouest en est, et de la Sainte Baume à la mer du nord au sud. Les roches carbonatées forment un système aquifère complexe constituant une ressource régionale potentielle en eau potable. De plus, l'écoulement karstique donne lieu à de fortes variations de débit et de niveau d'eau dans les sources et cours d'eau.

Un multitraçage artificiel a été réalisé en début d'année 2011 dans le but de caractériser l'écoulement souterrain de l'eau à partir du flanc sud de la Sainte-Baume et du plateau du Camp. Ce secteur est situé à la limite nord de l'unité du Beausset, dans la partie amont du système aquifère. Il peut être drainé suivant plusieurs directions principales qui sont en cours d'investigation : vers Port Miou et Bestouan – Cassis, vers La Ciotat, vers le Grand Vallat, vers le Gapeau, vers le Revest-les-Eaux, ou vers les Gorges d'Ollioules.

Trois traçages artificiels ont été réalisés :

- injection d'acide amino G le 18 janvier 2011 à Cuges les Pins,
- injection de sulforhodamine B le 8 février 2011 à Ceyreste (Grand Caunet),
- injection de fluorescéine le 13 février 2011 à Signes – Plateau du Camp.

Le suivi sur le terrain est assuré par des mesures directes par fluorimètres automatiques et des prélèvements d'eau analysés ensuite au spectrofluorimètre de laboratoire.

Ce rapport présente le contexte général du multitraçage et donne la description de chaque opération d'injection de traceur artificiel.

Le projet KarstEAU bénéficie du soutien financier de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, du Conseil Général du Var, du Conseil Général des Bouches-du-Rhône et de la Région Provence-Alpes-Côtes d'Azur.

Le site internet [www.karsteau.fr](http://www.karsteau.fr) donne accès aux actions en cours du projet KarstEAU, aux résultats, au téléchargement des rapports, aux données en ligne des sources sous-marines de Port Miou et Bestouan, ainsi qu'aux films réalisés autour de l'eau dans le karst.

Ces traçages artificiels ont été grandement facilités par la collaboration de nombreux partenaires bénévoles publics et privés, cités dans la suite de ce rapport pour chaque injection réalisée. Merci à tous.

**Contact :**

Bruno ARFIB – Université de Provence  
Laboratoire de Géologie  
Case 67 - 3 place V. Hugo  
13331 Marseille cedex 3 - France  
Tel : 04 13 55 07 48 / 06 73 68 13 05  
email : bruno.arfib@univ-provence.fr

**Pour citer ce rapport :**

Arfib B., Lamarque T. (2011) Traçages artificiels KarstEAU 2011 - Rapport de synthèse des injections d'Acide Amino G, Sulforhodamine B et Fluorescéine à Cuges les Pins, Ceyreste et Signes. Université de Provence. 53 pages

# Table des matières

<b>1. INTRODUCTION .....</b>	<b>3</b>
<b>2. GÉOLOGIE ET HYDROGÉOLOGIE .....</b>	<b>3</b>
<b>3. MÉTHODES D'INJECTION, DE SUIVI ET D'ANALYSES .....</b>	<b>5</b>
<b>4. SYNTHÈSE DES TROIS TRAÇAGES.....</b>	<b>6</b>
<b>5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>	<b>7</b>
<b>2ÈME PARTIE : LES RAPPORTS DES 3 INJECTIONS DU MULTITRAÇAGE KARSTEAU 2011 .....</b>	<b>8</b>
- Injection d'Acide Amino G à l'embut sud-ouest de Cuges les Pins réalisée le 18 janvier 2011. Compte-rendu de l'injection. 12 pages	
- Injection de sulforhodamine B à la perte de Mauregard (Ceyreste) réalisée le 8 février 2011. Compte-rendu de l'injection. 11 pages	
- Injection de fluorescéine à la perte de la Revengudo (Signes) réalisée le 13 février 2011. Compte-rendu de l'injection. 16 pages	

# 1. Introduction

Le projet KarstEAU étudie l'hydrogéologie de l'Unité du Beausset, afin d'améliorer les connaissances sur les circulations d'eau souterraine, de Cassis à Toulon d'ouest en est, et de la Sainte Baume à la mer du nord au sud.

Une vaste zone située au nord de l'unité du Beausset, entre le plateau du Camp et le flanc sud de la Sainte Baume, reste à ce jour peu connue. Ce secteur peut être drainé suivant 5 directions principales qui seront investiguées : vers Port Miou et Bestouan – Cassis, vers La Ciotat, vers le Gapeau, vers le Revest-les-Eaux, ou vers les Gorges d'Ollioules. Cette zone constitue la ligne de partage des eaux entre la partie occidentale et orientale de l'unité du Beausset.

Un multitraçage a été réalisé en début d'année 2011. La méthode du traçage artificiel consiste à injecter un traceur fluorescent en amont du bassin versant et à le détecter aux niveaux des sources en aval ou sur des forages. Le traçage artificiel permet de mettre en évidence une relation hydraulique entre le point d'injection et le point de sortie de l'eau souterraine. L'analyse quantitative des courbes de restitution du traceur renseigne sur les temps de transit et le mode d'écoulement. L'objectif du multitraçage sur l'unité du Beausset est :

- 1- de compléter les connaissances sur l'origine de l'eau des sources (ou des forages),
- 2- de mieux délimiter les grands bassins versants régionaux,
- 3- d'étudier le mode de circulation des eaux souterraines dans les roches carbonatées karstiques (calcaire) et leur contribution aux risques naturels.

Trois traçages artificiels ont été réalisés entre le 18 janvier et le 13 février 2011, sur les communes de Cuges les Pins, Ceyreste et Signes. Ce multitraçage utilise trois molécules fluorescentes adaptées aux études hydrologiques respectueuses de l'environnement naturel, ayant des caractéristiques distinctes pour être correctement distinguées lors d'analyses chimiques : la Fluorescéine, la Sulforhodamine B, l'Acide Amino G. Le suivi sur le terrain est assuré par des mesures directes par fluorimètres automatiques et des prélèvements d'eau, dans le cadre du partenariat entre l'Université et l'Association SpéléH2O.

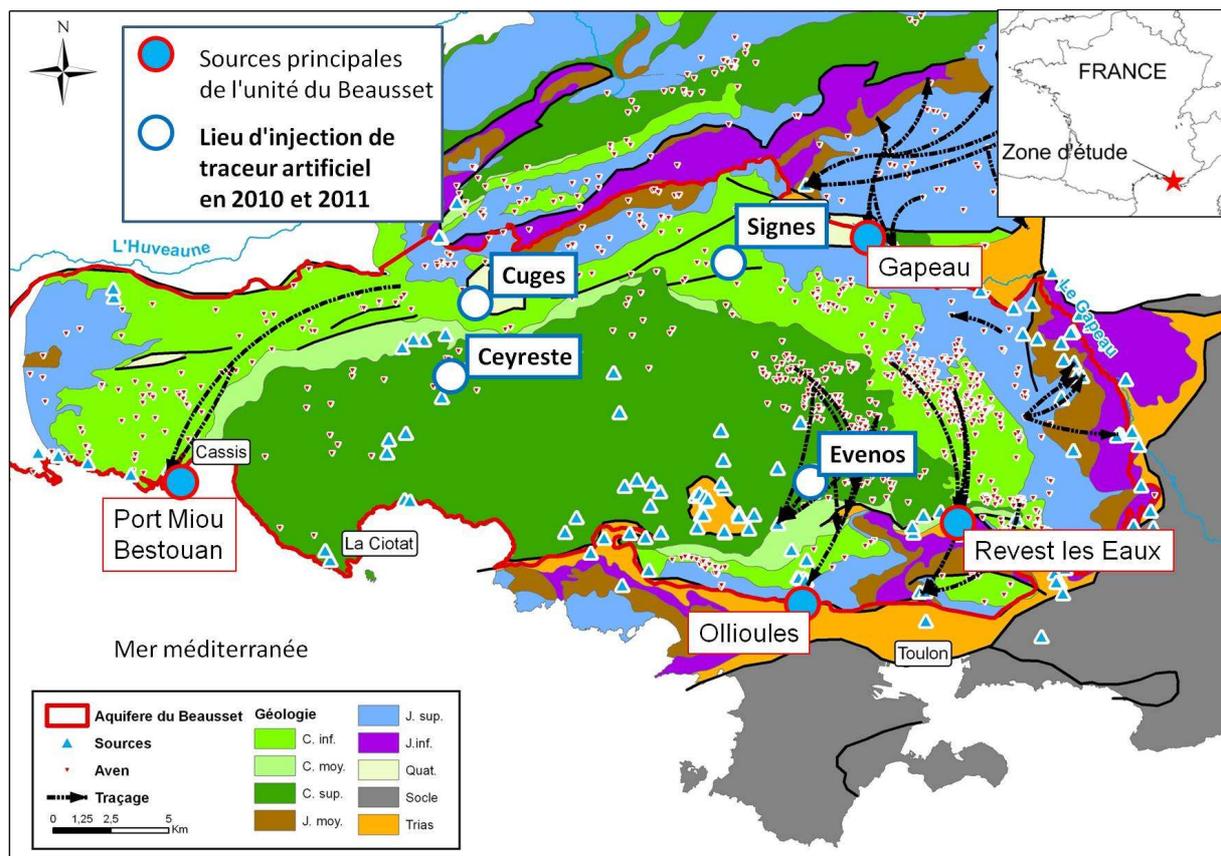
Ce rapport présente le contexte général du multitraçage et donne la description de chaque opération d'injection de traceur artificiel. Aucun résultat n'est donné ; les résultats feront l'objet d'un nouveau rapport. Dans une première partie sont décrits : la géologie et l'hydrogéologie générale, puis les méthodes d'injection, de suivi et d'analyses, et ensuite la synthèse des 3 injections réalisées. Dans une deuxième partie, chaque injection de traceur a fait l'objet d'un rapport distinct qui est repris ici.

## 2. Géologie et hydrogéologie

L'écoulement est étudié dans le cadre géologique du bassin sud-Provençal, sur le synclinal jurassico-crétacé de l'unité du Beausset (BRGM, Cova et Durozoy 1972). L'unité géologique du Beausset est au cœur de trois unités géologiques chevauchantes du sud vers le nord : chevauchée par l'unité de Bandol au sud et chevauchant l'unité de la Sainte Baume au nord. La série est complète du Trias au Crétacé supérieur (Santonien). En effet, la zone était partiellement immergée lors de l'événement médio-crétacé du bombement durancien, excepté sur la limite orientale caractérisée par les bauxites du Revest. Toutefois, les faciès et les

épaisseurs sont variables, pour un même âge en fonction de la distance à l'axe du bassin sédimentaire lors du dépôt. Les éléments les plus caractéristiques, influençant l'écoulement de l'eau souterraine sont les suivants (Figure 1):

- les formations du Jurassique sont principalement dolomitiques,
- le faciès calcaire urgonien (Barrémien) affleure sur toute la frange littorale des calanques de Marseille et forme une auréole au nord de l'unité du Beausset jusqu'à Toulon à l'est
- l'aptien (Crétacé moyen) est marneux à l'ouest, formant un écran à l'écoulement de plus de 80 mètres d'épaisseur, et absent à l'est
- le crétacé supérieur est calcaire, silicoclastique (grès de Ste Anne) ou mixte (calcarénites quartzzeuses) en fonction de la paléogéographie des dépôts nord ou sud du bassin.
- les dépôts oligocènes et néogènes sont quasi-inexistants.



**Figure 1 : Cadre géologique et hydrogéologique général de l'unité du Beausset [infographie A. Fournillon & B. Arfib, 2011]**

L'ensemble de la pile sédimentaire carbonatée est affecté de failles en partie responsables de la compartimentation des aquifères. L'ensemble des formations carbonatées (calcaires, dolomie, calcarénites) est sujet à la karstification. Plusieurs centaines de cavités karstiques (grottes, aven) ont été inventoriées et explorées par les spéléologues. Ces cavités présentent une large palette de morphologies, illustrant l'histoire polyphasée du karst. On retrouve par exemple : 1) des puits verticaux de grand développement creusés par un écoulement gravitaire (ex. l'Aven des Marseillais dans les Calanques), 2) des puits subverticaux au creusement per-ascensum (ex. l'Abime de Maramoye, Bigot 2003), 3) des cavités noyées verticales et subhorizontales (ex. rivières sous-marines de Port Miou et Bestouan à Cassis, Cavalera et al. 2010), 4) des cavités au fort remplissage argileux (ex. l'Avatar sous le plateau du Camp) ...

L'hydrogéologie de cette vaste unité carbonatée est complexe, du fait de son histoire tectonique, de la nature lithologique des roches qui la compose, et des karsts qui recourent (ou non) cet édifice. A l'échelle de l'unité géologique, l'eau souterraine est drainée principalement vers le sud-ouest en mer dans la baie de Cassis et de la Ciotat, et vers l'Est autour du massif de Siou-blanc (vallées du Gapeau et de la Reppe – gorges d'Ollioules, et le Revest les Eaux). Les deux zones de drainage principales sont les sources sous-marines de Port Miou et Bestouan à Cassis (débit moyen supérieur à 3 m<sup>3</sup>/s) et les sources du Revest-les-Eaux alimentant la retenue artificielle de Dardennes. De nombreuses autres sources existent, temporaires ou permanentes, avec un débit moyen de quelques litres ou dizaines de litres par secondes.

Depuis les années 1970, trois secteurs ont été investigués par traçages artificiels :

- Secteur Port Miou : traçages du BRGM dans le tunnel du Mussuguet et l'embut de Coulin (Durozoy et Paloc, 1969). Les sources de Port Miou et du Bestouan (Cassis) drainent un vaste aquifère qui s'étend probablement jusqu'à la Sainte Baume. Toutefois, seule la zone en amont immédiat des sources sous-marines, dans l'urgonien, a donné des résultats positifs.
- Secteur Agnis : traçages d'Eric Gilli (Gilli, 2002). Ces traçages sur le massif d'Agnis ressortent sur les sources du pourtour du massif.
- Secteur de Siou Blanc : traçages du BRGM, de spéléologues et du projet Spélé-Eau (Association SpéléH2O) (Durozoy et Paloc, 1969; Maurel et Lamarque, 2000). Le massif de Siou Blanc est scindé en plusieurs sous-bassins versants drainés vers les sources d'Ollioules, vers les sources de la vallée du Las (Dardennes, St Antoine), ou vers les sources de la rive droite du Gapeau.

Ces traçages sont repris sur la Figure 1 de synthèse. D'autres traçages supposés nous ont été cités lors de nos enquêtes sur le terrain sur les communes de Cuges et de Signes. Il s'agirait d'un traçage effectué dans un embut de Cuges, et d'un autre dans le poljé de Chibron. Toutefois, aucun rapport n'a pu être retrouvé sur ces deux traçages.

Le dernier traçage artificiel recensé a été réalisé en janvier 2010 en amont immédiat de la Foux de Sainte Anne d'Evenos, dans la "Perte et Fracas", par SpéléH2O, les spéléologues et le projet KarstEAU. Ce traçage a permis d'investiguer la relation rapide entre la perte et la source temporaire de trop-plein. Il est décrit par un film ([www.karsteau.fr](http://www.karsteau.fr)) et dans Arfib et al. (2011).

### **3. Méthodes d'injection, de suivi et d'analyses**

Les trois traçages artificiels ont été réalisés suivant le même protocole sur le terrain. Les injections ont eu lieu dans des cavités constituant des pertes actives lors des précipitations (l'eau ruisselle et s'engouffre dans ces cavités), assurant ainsi un meilleur transit du traceur à travers la zone non saturée du karst en direction de la nappe d'eau souterraine. Les pertes n'étant pas en eau lors des injections, les traceurs ont été poussés par de l'eau amenée par camions citernes des pompiers (entre 12 et 20 m<sup>3</sup>). Chaque traceur était préalablement préparé sous forme de solution concentrée stockée en bidons de 20 à 30 litres. La préparation du traceur et les injections ont été réalisées des équipes de bénévoles. Les prélèvements d'eau sur les sources (Figure 2) sont faits par l'équipe du projet KarstEAU. L'indépendance des équipes assure un risque minimum de contamination accidentelle des prélèvements d'eau. Les injections ont eu lieu le 18 janvier, 8 février et 13 février 2011. Les pluies du 14 février 2011 ont mis en eau naturellement les pertes.



**Figure 2 : Photos prises lors des 3 injections du multitraçage KarstEAU 2011**

Une quarantaine de points d'eau ont été suivis sur le terrain afin de détecter le passage des traceurs injectés. Ces points d'eau sont des sources, des forages et des rivières. Deux types de suivis sont réalisés (Figure 3) , soit par des mesures directement sur site (in-situ) à l'aide d'un fluorimètre, soit par des prélèvements d'eau et analyses au laboratoire sur spectrofluorimètre. Sept fluorimètres terrain type GGUN (Albilia- Schnegg 2002) sont installés (source du Gapeau, retenue de Dardennes, Maire les Fontaines Ollioules, Fontaine Romaine de Ceyreste, Forage Carrière Bronzo, sources sous-marines Port Miou et Bestouan). Les prélèvements d'eau sont faits automatiquement avec un préleveur de type ISCO sur les sources de Saint Antoine et Port Miou, et manuellement sur l'ensemble des autres points d'eau au pas de temps variable d'une fois par jour à une fois par semaine (adapté en fonction de la période et du point de suivi). Chaque prélèvement d'eau est stocké dans un flacon neuf en verre ambré de 30 ml (rincé sur site). L'échantillon d'eau est ensuite analysé au spectrofluorimètre de laboratoire SAFAS FLX du projet KarstEAU. Pour chaque échantillon d'eau, les trois traceurs sont systématiquement recherchés. Après chaque mesure en longueurs d'ondes fixes, il est choisi de réaliser un spectre 2D (émission et excitation) ou 3D en fonction des résultats. Le suivi est prévu sur 6 à 12 mois.



**Figure 3 : Photos prises lors des prélèvements d'eau sur le terrain et des analyses au laboratoire**

## 4. Synthèse des trois traçages

Trois secteurs ont été retenus au sud de la Sainte Baume, dans la partie amont des bassins versants principaux de l'unité du Beausset (Figure 1, Figure 4) :

- Cuges les Pins : embut sud-ouest, au point le plus bas du poljé dans l'encaissant calcaire fracturé du crétacé inférieur urgonien (traceur : Acide Amino G).
- Le Grand Caunet (Ceyreste-Plateau du Camp) : versant sud, au lieu-dit Mauregard dans une perte en rive gauche du cours d'eau temporaire s'ouvrant dans les calcarénites du crétacé supérieur (traceur : sulforhodamine B).
- Signes : sur la surface du Camp, dans la perte de la Revengudo s'ouvrant dans les calcaires urgoniens entre la carrière Croquefigue et la ZA de Signes (traceur : Fluorescéine)

Lieu	Traceurs	Quantités injectées	Date d'injection	Volume d'eau apporté par les pompiers	Coloration à forte concentration
Cuges	Acide Amino G	50 kg	18 janvier 2011	20 m <sup>3</sup>	Transparente
Ceyreste	Sulforhodamine B	30 kg	8 février 2011	18 m <sup>3</sup>	Rouge
Signes	Fluorescéine	45,3 kg soit 150 kg en solution ou 60 kg en poudre	13 février 2011	12 m <sup>3</sup>	Verte



**Figure 4 : Photo aérienne de l'unité du Beausset et localisation des 3 injections du multitraçage KarstEAU 2011.**

## 5. Références bibliographiques

- Arfib B., T. Lamarque, P. Maurel, A. Fournillon (2011) Traçages artificiels à travers l'aquifère régional mixte carbonaté-silicoclastique de l'unité du Beausset (SE France) . 9th Conference on Limestone Hydrogeology, 1-3 Sept. 2011, Besançon, France
- Bigot JY. (2003) Observations morphologiques dans l'abîme de Maramoye (Le Beausset, Var). *Karstologia* n°41. pp.27-38
- BRGM – Cartes géologiques de la France au 1/50 000 et 1/250 000.
- Cavalera T., Arfib B., Gilli E. (2010) Les rivières souterraines de Port Miou et Bestouan : les plus longs réseaux noyés des littoraux européens. Ouvrage collectif: *Karst et grottes de France* sous la direction de P. Audra. *Karstologia Mémoires* 19. 358 p.
- Cova R., Durozoy G. (1972) Carte hydrogéologique du département du Var. DDA - BRGM
- Durozoy G, Paloc H. (1969) Bassin du Beausset, enseignements apportés par les expériences de coloration. 69 SGL 212 PRC. 22p.

- Gilli E. (2002) Etude préalable sur le drainage des karsts littoraux – Bouches du Rhône, Var et Corse. Rapport Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse. 85p.
- Maurel P., Lamarque T. (2000) Spélé-H<sub>2</sub>O, Contribution à la connaissance de l'hydrogéologie du plateau de Siou-Blanc. Compte-rendu général des opérations de traçage 1993-2000. 122 pages
- Schnegg P.A. (2002) An inexpensive field fluorometer for hydrogeological tracer test with three tracers and turbidity measurement. Groundwater and Human Development. pp.1484-1488

## 2<sup>ème</sup> partie

# Les rapports des 3 injections du multitraçage KarstEAU 2011

- Arfib B., Lamarque T. (2011) Traçage artificiel KarstEAU : Injection d'Acide Amino G à l'embut sud-ouest de Cuges les Pins réalisée le 18 janvier 2011. Compte-rendu de l'injection. Université de Provence et Spéléo-Club de Cuges. 12 pages

- Arfib B., Lamarque T. (2011) Traçage artificiel KarstEAU : Injection de sulforhodamine B à la perte de Mauregard (Ceyreste) réalisée le 8 février 2011. Compte-rendu de l'injection. Université de Provence. 11 pages

- Arfib B., Lamarque T. (2011) Traçage artificiel KarstEAU : Injection de fluorescéine à la perte de la Revengudo (Signes) réalisée le 13 février 2011. Compte-rendu de l'injection. Université de Provence. 16 pages





# Traçage artificiel KarstEAU : Injection d'Acide Amino G à l'embut sud-ouest de Cuges les Pins réalisée le 18 janvier 2011

## Compte-rendu de l'injection

par

Bruno Arfib, Thierry Lamarque

En collaboration avec le Spéléo-Club de Cuges les Pins :  
François Souret, Alain Gairoard, Romuald Viale,  
Jean-Marc Bérenger, Roger Garonne



Marseille, le 02/02/2011

## **Remerciements :**

- Ce traçage artificiel dans l'embut de Cuges les Pins a été grandement facilité par la collaboration du Spéléo-Club de Cuges, et tout particulièrement François Souret. Merci à tous les injecteurs bénévoles pour leur collaboration et efficacité : Jean-Marc Bérenger, Roger Garonne, Alain Gairoard, François Souret, Romuald Viale.

- Merci aux différents intervenants :

- ✓ les pompiers de Gémenos-Cuges les Pins,
- ✓ la mairie de Cuges les Pins, et M. Aicardi Gilles Maire de Cuges les Pins,
- ✓ les particuliers, collectivités locales, société des eaux qui nous donnent accès à leurs forages pour le suivi du traceur sur le terrain : Commune de Cuges les Pins, Marseille Provence Métropole, Société des Eaux de Marseille, Camargo Foundation, Conservatoire du Littoral, Carrière Bronzo, Ecuries de Fontmagne, Ecuries du Lion d'Or, Pépinière Michel Ferrat.

- Le projet KarstEAU bénéficie du soutien financier de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, du Conseil Général du Var, du Conseil Général des Bouches-du-Rhône et de la Région Provence-Alpes-Côtes d'Azur.

## **Contact :**

Bruno ARFIB – Université de Provence  
Laboratoire de Géologie des Systèmes et Réservoirs Carbonatés  
Case 67 - 3 place V. Hugo  
13331 Marseille cedex 3  
Tel : 04 13 55 07 48 / 06 73 68 13 05  
email : bruno.arfib@univ-provence.fr

## **Pour citer ce rapport :**

Arfib B., Lamarque T. (2011) Traçage artificiel KarstEAU : Injection d'Acide Amino G à l'embut sud-ouest de Cuges les Pins réalisée le 18 janvier 2011. Compte-rendu de l'injection. Université de Provence et Spéléo-Club de Cuges. 12 pages

# 1. Introduction

Le projet KarstEAU a pour but d'améliorer les connaissances sur les eaux souterraines de l'unité géologique du Beausset. Trois traçages artificiels sont programmés durant le premier semestre 2011.

Ce compte-rendu présente le premier traçage réalisé le 18 janvier 2011 dans l'embut sud-ouest du poljé de Cuges les Pins par l'injection d'acide amino G. 50 kg de traceur ont été injectés à 15h15, suivis de 20 m<sup>3</sup> d'eau apportée par les pompiers.

Ce traçage fait suite au test d'absorption de l'embut réalisé le 17 décembre 2010 (Arfib, Lamarque, Souret, 2011) qui a permis de valider le site de l'embut sud-ouest comme favorable pour une injection de traceur artificiel.

Suite à cette injection, la surveillance de multiples forages situés entre Cuges les Pins et Cassis démarre pour plusieurs mois, ainsi que les sources sous-marines de Port Miou et du Bestouan.

## 2. Participants

- **Equipe KarstEAU:** Bruno Arfib, Arnaud Fournillon (Université de Provence), Thierry Lamarque (Spéléo-H2O)
- **Préparateurs/Injecteurs du traceur:** Jean-Marc Bérenger, Roger Garonne, Alain Gairoard, François Souret, Romuald Viale (Spéléo-Club de Cuges)
- **Pompiers de Gémenos-Cuges :** Lieutenant Gérard Bocquillon, Caporal-Chef Gérard Tendero, Caporal-Chef Didier Héraud.

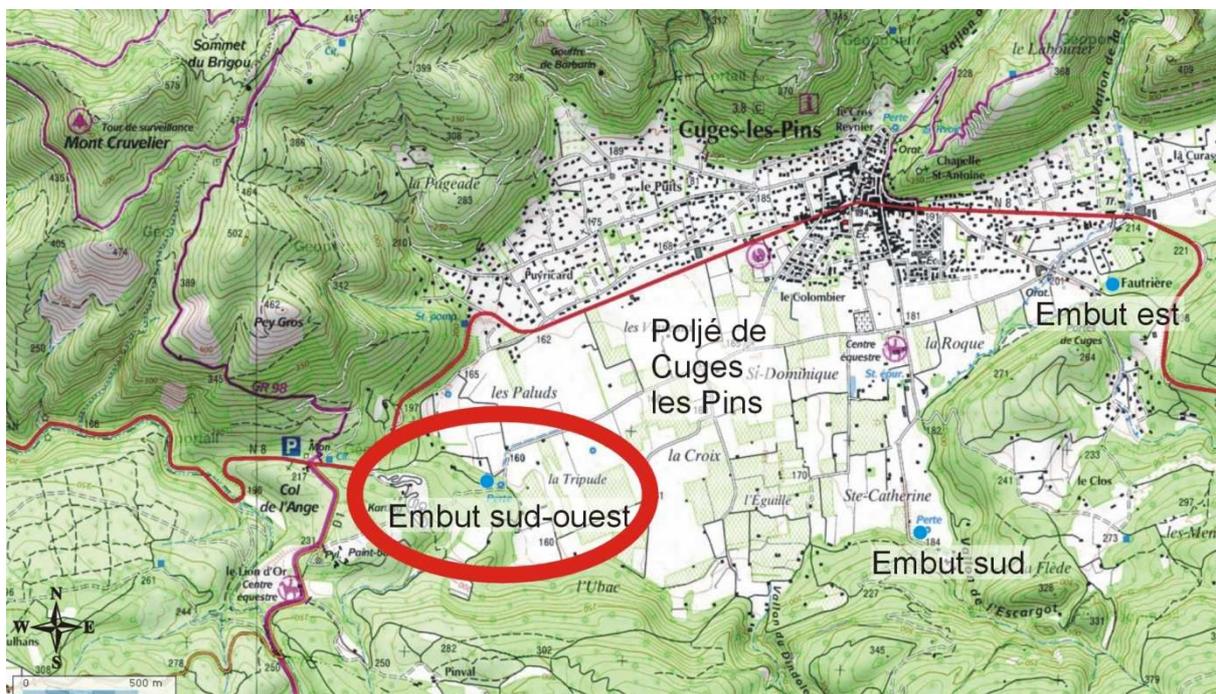
## 3. Lieu de l'injection

L'embut sud-ouest de Cuges les Pins draine la partie ouest du poljé (Figure 1, Figure 2). C'est le point le plus bas du poljé, à 160 mètres d'altitude. Son débit d'absorption n'étant pas assez élevé, un bassin de rétention des eaux de ruissellement de la plaine a été construit une cinquantaine de mètres en amont, pour limiter les inondations.

L'embut a été aménagé par l'homme. Il s'agit à l'origine d'une faille ouverte dans les calcaires urgoniens, très bien visible sur la Photo 2. Cette faille est bordure du poljé comblé d'alluvions. La faille est couverte par des dalles de pierre, limitant ainsi l'entrée de matériaux qui combleraient la perte. Environ 2-3 mètres sous l'entrée, la faille laisse place à un puits sub-vertical d'environ 2,4 m<sup>2</sup> de surface. Au fond du puits (environ 13 mètres), le passage se resserre et la progression humaine s'arrête sur un niveau d'eau obstruant le passage. Ce niveau d'eau est variable au cours de l'année. Le niveau d'eau était le même, à environ 13 mètres de profondeur par rapport au haut du puits (longueur prise à partir des amarrages spéléo en Y visibles sur la Photo 2), lors du test d'absorption du 17 décembre 2010 et lors de l'injection du traceur le 18 janvier 2011.



**Figure 1 : Localisation des embuts de Cuges sur une photo aérienne (source: géoportail.fr, mise en forme B. Arfib)**



**Figure 2 : Localisation des embuts de Cuges sur une carte IGN 1/25 000 (source: géoportail.fr, mise en forme B. Arfib)**



Photo 1 : Accès à l'embut (photo 17/12/10)



Photo 2 : L'entrée de l'embut (photo du 17/12/10)



Photo 3 : L'embut, vue du fond (photo du 17/12/10)

## **4. Déroulement de l'injection du 18/01/11**

### **4.1. Préparation de la solution d'acide amino G**

- 11h15 : 10 bidons de 20 litres propres sont remplis d'eau brute au forage de Coulin (Gémenos) par T. Lamarque et B. Arfib [Photo 4, Photo 5]

- 12h30 à 14h30 : l'équipe des préparateurs/injecteurs (Spéléo Club de Cuges) répartie les 50 kg d'acide amino G en poudre dans les 10 bidons d'eau, soit environ 5 kg par bidon (Photo 6, Photo 7, Photo 8).

La solubilité de l'acide amino G étant de 100 g/l (soit 2 kg/ 20 litres), les 5 kg de poudre dilués dans les bidons forment une pâte très liquide, de couleur rosée (Photo 13).

### **4.2. Equipement de la cavité et dispositif d'injection**

- 13h-14h30 : l'équipe KarstEAU installe un tuyau qui permettra d'injecter le traceur artificiel à partir de la surface, directement dans le plan d'eau au fond de l'embut.

Le tuyau fait 15 mètres de long, 75 mm de diamètre (Photo 9, Photo 10, Photo 11). Il arrive en surface où il est connecté avec un cône faisant office d'entonnoir (Photo 12, Photo 13). A la base du puits de l'embut, le tuyau est bloqué avec des pierres (Photo 11), permettant à l'eau de se déverser dans le plan d'eau après 2 mètres d'écoulement sur le plan inclinée raccordant le fond du puits au plan d'eau. Le plan d'eau est au même niveau que le 17 décembre 2010, soit environ 13 mètres sous la surface.

Le fonctionnement du dispositif est testé avec de l'eau (Photo 12).

### **4.3. Injection du traceur artificiel**

- 15h15-15h30 : l'équipe des préparateurs/injecteurs verse les 10 bidons de solution concentrée d'acide amino G préalablement préparée. Les bidons sont ensuite rincés à l'eau

apportée par les pompiers, et la solution de nettoyage déversée dans l'embut par le tuyau. Pour finir, le tuyau est rincé.

- 15h35-15h54 : les pompiers déversent 20 m<sup>3</sup> d'eau (eau du réseau d'adduction) dans le puits de l'embut. L'eau a été acheminée par deux véhicules : un camion citerne grande capacité (CCGC) de 14 m<sup>3</sup>, et un camion citerne feu de forêt spécial de 6 m<sup>3</sup>. Romuald Viale suit la montée du niveau d'eau dans le puits. L'eau monte jusqu'à environ 4,5 m sous l'amarrage en Y de la corde. Le niveau d'eau est descendu d'environ 30 cm vingt minutes plus tard (16h17).

- 16h00-16h30 : les pompiers plient les tuyaux et repartent. Les bidons et le tuyau d'injection sont rangés et évacués du site par l'équipe du Spéléo-Club de Cuges (Photo 17, Photo 18).

## 5. Le traçage du 18 janvier 2011 en photos

### 5.1. Préparation du traceur artificiel



Photo 4 : Remplissage en eau brute des bidons pour le mélange avec l'acide amino G



Photo 5 : Transport des bidons d'eau



Photo 6 : Installation pour la préparation de la solution concentrée d'acide amino G. Mélange de l'acide amino G en poudre (2 x 25 kg) dans les bidons



**Photo 7 : Mélange de l'acide amino G en poudre (2 x 25 kg) dans les bidons**

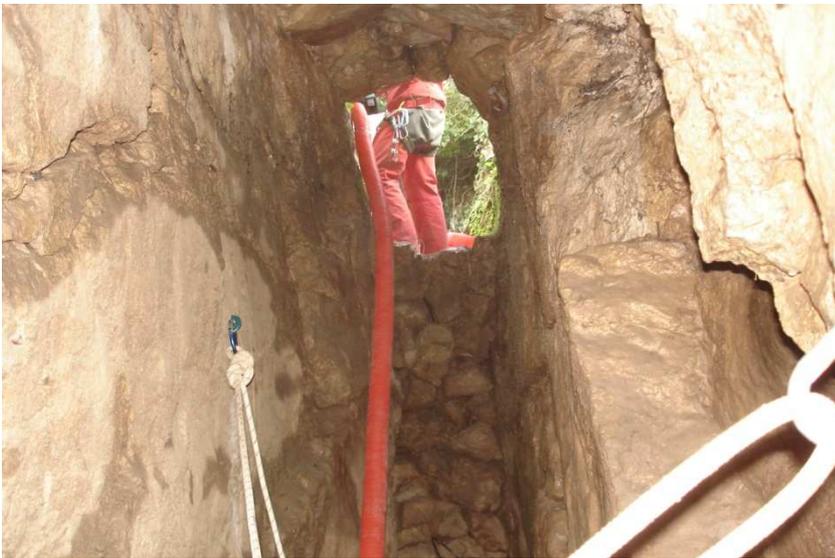


**Photo 8 : Mélange de l'acide amino G en poudre (2 x 25 kg) dans les bidons**

## 5.2. Equipement de l'embut sud-ouest de Cuges les Pins



**Photo 9 : Le puits de l'embut sud-ouest vu du haut**



**Photo 10 : L'embut sud-ouest vu du haut du puits en direction de l'entrée**



**Photo 11 : Le puits de l'embut sud-ouest vu du haut – Installation du tuyau (75 mm diamètre) d'injection au fond de l'embut**



**Photo 12 : L'entrée de l'embut sud-ouest –  
Tuyau (75 mm diamètre) d'injection  
installé en sortie.**

### 5.3. Injection de l'acide amino G (50 kg) préparé en solution



Photo 13 : Injection de l'acide amino G en solution à partir de l'entrée de l'embut



Photo 14 : Après injection : nettoyage des bidons et du tuyau d'injection avec de l'eau apportée par les pompiers devant l'entrée de l'embut



Photo 15 : Camions pompiers apportant l'eau ( $14 + 6 \text{ m}^3$ ) pour la "chasse" de la solution d'acide amino G injectée



Photo 16 : Injection dans l'embut de  $20 \text{ m}^3$  d'eau amenée par camions pompiers pour pousser la solution d'acide amino G injectée

#### 5.4. Rangement des tuyaux et du matériel d'injection



Photo 17 : Rangement des tuyaux pompiers



Photo 18 : Rangement du tuyau d'injection installé dans l'embut

**CERTIFICAT DE CONFORMITE :**

<b>PRODUIT :</b> ACIDE AMINO G ( <i>sodium salt</i> )	<b>Date de l'analyse :</b> 7/03/2008
<b>LOT :</b> 7567	<b>Emballages :</b> 69513

**CARACTERISTIQUES TECHNIQUES**

PARAMETRES	TYPE LABO	LOT 7567
<b>Apparence :</b>	Poudre blanc cassé	Identique
<b>Insolubles :</b>	< 0.2 %	0.15 %
<b>Pureté :</b>	≥ 77 %	77 %

**Date :** 08/07/2010





# Traçage artificiel KarstEAU : Injection de sulforhodamine B à la perte de Mauregard (Ceyreste) réalisée le 8 février 2011

## Compte-rendu de l'injection

par

Bruno Arfib, Thierry Lamarque



Marseille, le 09/02/2011

## **Remerciements :**

- Ce traçage artificiel dans la perte de Mauregard a été grandement facilité par la collaboration des Spéléo-Club du GAS, LGG, Aragnous et Cuges les Pins, l'Association Explo-Canyon-Provence ainsi que les doctorants du Laboratoire de Géologie de l'Université de Provence. Merci à tous les bénévoles pour leur collaboration et efficacité, et tout particulièrement : Pierre Jeanne, Pierre-Olivier Bruna, Alex Hairabian, Arnaud Gallois, Arthur Lavenue, Franck Prevost, Yves Lecouvez, Denis Laty, Laurent Jovet.

- Merci aux différents intervenants :

- ✓ les pompiers de La Ciotat-Ceyreste,
- ✓ M. Aicardi Gilles Maire de Cuges les Pins,
- ✓ les particuliers, collectivités locales, société des eaux qui nous donnent accès à leurs forages pour le suivi du traceur sur le terrain,
- ✓ les amis curieux, spéléos ou non, qui nous ont accompagné lors de cet après-midi.

- Le projet KarstEAU bénéficie du soutien financier de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, du Conseil Général du Var, du Conseil Général des Bouches-du-Rhône et de la Région Provence-Alpes-Côtes d'Azur.

## **Contact :**

Bruno ARFIB – Université de Provence  
Laboratoire de Géologie des Systèmes et Réservoirs Carbonatés  
Case 67 - 3 place V. Hugo  
13331 Marseille cedex 3  
Tel : 04 13 55 07 48 / 06 73 68 13 05  
email : bruno.arfib@univ-provence.fr

## **Pour citer ce rapport :**

Arfib B., Lamarque T. (2011) Traçage artificiel KarstEAU : Injection de sulforhodamine B à la perte de Mauregard (Ceyreste) réalisée le 8 février 2011. Compte-rendu de l'injection. Université de Provence. 11 pages

# 1. Introduction

Le projet KarstEAU a pour but d'améliorer les connaissances sur les eaux souterraines de l'unité géologique du Beausset. Trois traçages artificiels sont programmés durant le premier semestre 2011.

Le premier traçage artificiel a été réalisé le 18 janvier 2011 dans l'embut sud-ouest du poljé de Cuges les Pins par l'injection de 50 kg d'acide amino G.

Ce compte-rendu présente le deuxième traçage réalisé le 8 février 2011 dans la perte de Mauregard (Ceyreste) par l'injection de Sulforhodamine B (ou Sulphorhodamine B). 30 kg de traceur (dilués dans 600 litres d'eau) ont été injectés entre 13h30 et 15h30, suivis de 18 m<sup>3</sup> d'eau apportée par les pompiers.

La perte de Mauregard s'ouvre au fond d'un vallon sec, en rive gauche, dans les calcarénites du coniacien. L'objectif de ce traçage est d'étudier les écoulements souterrains dans les formations du crétacé supérieur de l'unité du Beausset et de vérifier les directions de drainage vers la baie de La Ciotat ou de Cassis.

## 2. Participants

- **Equipe KarstEAU:** Bruno Arfib (Université de Provence), Thierry Lamarque (Spéléo-H2O)
- **Injecteurs du traceur:** Pierre Jeanne, Pierre-Olivier Bruna, Alex Hairabian, Arnaud Gallois, Arthur Lavenu (Doctorants du Laboratoire de Géologie de l'Université de Provence)
- **Injecteurs d'eau :** Franck Prevost, Yves Lecouvez (Spéléo-Club GAS)
- **Pompiers de La Ciotat - Ceyreste :** Adjudant-Chef Eric Maréchal, Caporal-Chef Ludovic Gougler, Volontaire Dann Djebali.

## 3. Lieu de l'injection

La perte de Mauregard est une cavité naturelle qui s'ouvre en rive gauche du "Mauvais vallon" (Photo 1) à 345 mètres d'altitude, à environ 1 km au sud du Grand Caunet sur la commune de Ceyreste (Figure 1). La cavité présente un orifice de 1 mètre de diamètre (Photo 2), situé 30 centimètres au dessus du fond du vallon. Le vallon est sec, parcouru par un cours d'eau temporaire lors des événements pluvieux exceptionnels. Lorsque le niveau d'eau est suffisamment haut, l'eau s'engouffre dans la perte, et remplit la cavité. La surface forme alors un tourbillon, indiquant un fort écoulement dans la perte. Cette cavité est un gouffre (ou aven ou puits) de belles dimensions, d'une vingtaine de mètres de profondeur, pour 4 mètres de diamètre. Le fond du puits présente un amoncellement d'éléments rocheux, formant un éboulis à travers lequel l'eau peut s'infiltrer. Ce puits s'ouvre dans les calcarénites du coniacien. Ces formations sont observées à l'affleurement jusqu'à La Ciotat, reposant sur les calcaires du Turonien.

Lors de l'injection du traceur, le 8 février 2011, le vallon est sec depuis plus d'un mois et il n'y a pas d'eau dans la cavité.



Figure 1 : Localisation de la perte de Mauregard sur fond de carte 1/25000 (source: géoportail.fr, mise en forme B. Arfib)



Figure 2 : Localisation des tracés à la perte du Mauregard et à l'Embut de Cuges sur photo aérienne (source: géoportail.fr, mise en forme B. Arfib)



Photo 1 : Le "Mauvais vallon" au droit de la perte de Mauregard (photo du 13/12/2009)



Photo 2 : L'entrée de la perte de Mauregard (photo du 08/02/11)

## 4. Traceur artificiel

Le traceur artificiel employé pour ce traçage est de la Sulphorhodamine B, lot n°77267 acheté chez ArtEColor (Lozanne- France).

30 kg de traceur ont été dilués par le vendeur à 50 g/l, soit 600 litres de solution, conditionnés dans 20 bidons de 30 kg. La sulphorhodamine B (ou sulforhodamine B) est un colorant fluorescent, visible à forte concentration avec une couleur rouge et invisible à faible concentration.

## 5. Déroulement de l'injection du 08/02/11

### 5.1. Equipement de la cavité et dispositif d'injection

Le 3 février 2011, Thierry Lamarque (SpéleH2O) et Laurent Jovet (Explo-Canyon-Provence) équipent la cavité Aven-perte de Mauregard. Un tuyau de 50 mm de diamètre et 25 mètres de long est installé entre l'entrée de la cavité et le fond. Ce tuyau servira à déverser les 600 litres de solution de sulphorhodamine B directement au fond à partir de la surface. Un second tuyau de 75 mm de diamètre et 15 mètres de long est installé dans la cavité à partir du ressaut situé à 3 mètres de profondeur sous l'entrée. Ce tuyau servira à envoyer l'eau des pompiers directement au fond quelques mètres au dessus du déversement du traceur.

Le 8 février 2011, lors de l'injection du traceur, le système d'entonnoir du tuyau de 50 mm est modifié pour assurer une totale étanchéité lors du versement des bidons. L'entonnoir fait par un cône de signalisation routière est installé au raz de l'entrée de manière à déverser les bidons lourds de 30 kg sans difficulté (Photo 3, Photo 4).



Photo 3 : Le tuyau de 50 mm de diamètre pour l'injection du traceur, avant son déplacement au raz de l'entrée de la cavité



Photo 4 : Installation de l'entonnoir à l'entrée de la perte de Mauregard

## **5.2. Injection du traceur artificiel et de l'eau de chasse.**

- 12h45 - 13h00 : Les 20 bidons de solution de sulphorhodamine B sont descendus par une chaîne humaine jusqu'à l'entrée de la cavité.

- 13h30 – 15h30 : Les bidons de traceur sont déversés un après l'autre à partir de l'entrée par l'équipe d'injecteurs. Thierry Lamarque, Franck Prévost et Yves Lecouvez sont dans la cavité pour vérifier le bon déroulement de l'opération.

- 14h45 : les pompiers arrivent sur site avec un camion citerne Feu de Forêt de 6000 litres (CCF 6000).

- 15h10 – 15h25 : La première citerne de 6 m<sup>3</sup> d'eau est versée dans la cavité par l'intermédiaire du tuyau de 75 mm installé préalablement. 8 bidons de traceurs ont déjà été déversés.

- 15h25 – 15h50 : Les pompiers sont allés remplir le CCF 6000 à la borne incendie. Les 12 autres bidons de traceur sont déversés entre 15h10 et 15h30, puis évacués par l'équipe des injecteurs qui les amènent à la déchèterie.

- 15h55 – 16h05 : La deuxième citerne de 6 m<sup>3</sup> d'eau est versée dans la cavité par le tuyau 75 mm.

- 16h30 – 17h10 : La troisième citerne de 6 m<sup>3</sup> d'eau est versée dans la cavité, en partie par le tuyau 75 mm, puis par le tuyau 50 mm afin de le nettoyer, et enfin directement par aspersion à partir de l'entrée de la cavité pour un nettoyage final.

L'eau des pompiers est utilisée pour entrainer le traceur plus rapidement vers la profondeur et limiter le piégeage dans la zone non saturée. Les 18 m<sup>3</sup> d'eau injectés se sont immédiatement infiltrés au fond de la cavité.

## 6. Le traçage du 08 février 2011 en photos

### 6.1. Descente des 20 bidons de 30 kg de solution de sulphorhodamine B



Photo 5 : L'équipe d'injecteurs descend les bidons jusqu'au fond du vallon



Photo 6 : L'équipe d'injecteurs descend les bidons jusqu'au fond du vallon

## 6.2. Les injecteurs



Photo 7 : Les injecteurs de traceur et d'eau. Yves Lecouvez manque sur la photo

### 6.3. Injection



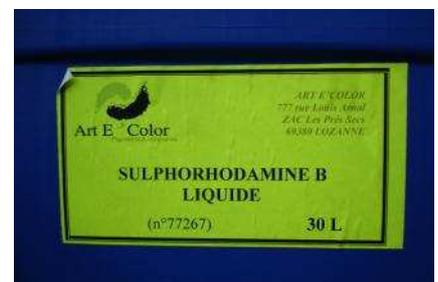
Photo 8 : Injection de sulporhodamine B à la perte de Mauregard



Photo 9 : Injection de sulporhodamine B à la perte de Mauregard



Photo 10 : Injection de sulporhodamine B à la perte de Mauregard



#### 6.4. Les pompiers de La Ciotat - Ceyreste



Photo 11 : Le Camion Citerne Feu de Forêt 6000 litres



Photo 12 : Le Camion Citerne Feu de Forêt 6000 litres



Photo 14 : Tuyau dans le versant jusqu'à la perte de Mauregard



Photo 13 : Remplissage du camion citerne

## 6.5. Fin de l'injection et évacuation des bidons vides



Photo 15 : Injection dans la perte de Mauregard



Photo 16 : Evacuation des bidons vides



Photo 17 : Evacuation des bidons vides

## 6.6. Injecteurs d'eau, chasse du traceur et nettoyage



Photo 18 : Injection de la 3<sup>ème</sup> citerne d'eau des pompiers et nettoyage de l'entrée de la cavité par Franck



Photo 19 : Sortie de Thierry, resté au fond de la cavité pour suivre le passage du traceur



Photo 20: Yves, positionné au fractionnement durant les injections, et ici en soutien pour le nettoyage

# Traçage artificiel KarstEAU : Injection de fluorescéine à la perte de la Revengudo (Signes) réalisée le 13 février 2011

## Compte-rendu de l'injection

par

Bruno Arfib, Thierry Lamarque

En collaboration avec les spéléologues du CDS 83



Marseille, le 17/03/2011

## **Remerciements :**

- Ce traçage artificiel dans la perte de la Revengudo (Signes) a été grandement facilité par la collaboration des spéléologues du Var et des Bouches du Rhône.

Merci à tous les bénévoles pour leur collaboration et efficacité, et tout particulièrement :

- ✓ Les spéléologues présents lors de l'injection du colorant : Franck Prévost, Laure Mattéoli, Clémence Prévost, Luc Rossi, Herrick Fessard, Philippe Michel, Chantal Balssa, Christian Liguori, Adèle Mirlit, Denis Laty, Julien Laty, Louisa Arfib, Manon Arfib, Etienne Arfib, Philippe Maurel, Jean-Pierre Lucot, Lucas Susini-Mercier, Valérie Mercier, Sandrine Chaubaud, André Taxil, Jean-Marc Bérenger ; ainsi que ceux qui ont pu participer aux réunions préparatoires du CDS (particulièrement Hervé Tainton pour les cavités proposées).
- ✓ Christian Liguori (LGG Le Beausset), François Souret (Cuges) et Alain Gairoard (Cuges) pour la recherche active de la cavité d'injection.
- ✓ Franck Prévost pour la mise à disposition de son camion et d'une cuve de 1000 litres d'eau, Philippe Michel pour la clé de la borne incendie.
- ✓ Philippe Maurel pour le suivi vidéo et les contacts presse.

- Nous tenons également à remercier :

- ✓ les pompiers de Signes,
- ✓ M. Jean MICHEL, Maire de Signes,
- ✓ les particuliers, collectivités locales, société des eaux qui nous donnent accès à leurs forages pour le suivi du traceur sur le terrain,

- Le projet KarstEAU bénéficie du soutien financier de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, du Conseil Général du Var, du Conseil Général des Bouches-du-Rhône et de la Région Provence-Alpes-Côtes d'Azur.

## **Contact :**

Bruno ARFIB – Université de Provence  
Laboratoire de Géologie des Systèmes et Réservoirs Carbonatés  
Case 67 - 3 place V. Hugo  
13331 Marseille cedex 3  
Tel : 04 13 55 07 48 / 06 73 68 13 05  
email : bruno.arfib@univ-provence.fr  
www.karsteau.fr

## **Pour citer ce rapport :**

Arfib B., Lamarque T. (2011) Traçage artificiel KarstEAU : Injection de fluorescéine à la perte de la Revengudo (Signes) réalisée le 13 février 2011. Compte-rendu de l'injection. Université de Provence. 16 pages

# 1. Introduction

Le projet **KarstEAU** étudie l'hydrogéologie de l'Unité du Beausset, afin d'améliorer les connaissances sur les circulations d'eau souterraine, de Cassis à Toulon d'ouest en est, et de la Sainte Baume à la mer du nord au sud. Trois traçages artificiels sont programmés durant le premier semestre 2011.

Le **premier traçage** artificiel a été réalisé le 18 janvier 2011 dans l'embut sud-ouest du poljé de Cuges les Pins par l'injection de 50 kg d'acide amino G.

Le **second traçage** artificiel a été réalisé le 8 février 2011 dans la perte de Mauregard (Ceyreste) par l'injection de 30 kg de Sulphorhodamine B.

Ce compte-rendu présente le **troisième traçage** réalisé le 13 février 2011 dans la perte de la Revengudo (Signes) par l'injection de Fluorescéine. 150 litres de traceur (teneur en fluorescéine 30,2%, soit 45,2 kg de fluorescéine pure) ont été injectés entre 14h00 et 14h45, suivis de 12 m<sup>3</sup> d'eau apportée par les pompiers.

La **perte de la Revengudo** est une cavité naturelle qui s'ouvre dans les calcaires urgoniens sur le plateau du Camp, au nord de la Zone d'Activité de Signes et au sud de la carrière Croquefigue. L'objectif de ce traçage est d'étudier l'écoulement souterrain à partir de la zone d'infiltration la plus au nord de l'unité du Beausset. Cette zone constitue une limite de partage des eaux souterraines entre les bassins versants du Gapeau, du Revest les Eaux (le Las), des gorges d'Ollioules (la Reppe), du Grand Vallat, de la baie de La Ciotat et de Cassis (sources sous-marines de Port Miou et Bestouan).

## 2. Participants

- **Equipe KarstEAU**: Bruno Arfib (Université de Provence), Thierry Lamarque (Spélé-H<sub>2</sub>O)
- **Aménagement du site et participation générale** : l'ensemble des spéléologues présents lors de l'injection, cités dans les remerciements.
- **Injecteurs du traceur**: Herrick Fessard (LGG le Beausset, Président du CDS 83), Chantal Balssa (LGG, Aragnous), Denis Laty (LGG)
- **Injecteurs d'eau** : Franck Prevost, Herrick Fessard, Chantal Balssa, Denis Laty
- **Test d'absorption du 3 février 2011** : Alain Gairoard (Spéléo-Club de Cuges), Laurent Jovet (Explo canyon Provence), Thierry Lamarque (Spélé-H<sub>2</sub>O)
- **Pompiers de Signes** : Caporal Gérard Mazzola, Sapeur Cyril Mauric.

## 3. Test préalable d'absorption de la perte de la Revengudo du 3 février 2011

La perte de la Revengudo a été repérée sur le terrain parmi la dizaine de cavités visitées se trouvant dans le secteur ([www.fichier topo.fr/](http://www.fichier topo.fr/)) : Le Loire qui prie, Le Rhino, Le Céros, le B2000, L'Avatar avec le Spéléo-Club du Beausset (LGG) ainsi que dans la carrière de Croquefigue (Spéléo-Club de Cuges). Cette cavité présente l'avantage d'être facilement accessible et répond au critère de s'ouvrir dans les calcaires urgoniens sur la limite supposée ouest-est des bassins versants régionaux. De plus, c'est une perte qui draine les eaux de ruissellement lors des pluies, nous assurant que le traceur sera bien entraîné vers la profondeur. A l'origine, l'entrée de la perte était obstruée par de l'argile et des cailloutis, ce qui

a nécessité quelques séances de désobstruction avec Christian Liguori pour atteindre la diaclase finale 4 mètres plus bas.

Toutefois, étant d'un développement exploré par l'homme très limité (4 mètres de longueur!), un test d'absorption d'eau sans traceur a été réalisé préalablement au traçage artificiel réel afin de vérifier que la cavité draine bien rapidement l'eau en profondeur. Un test similaire avait été réalisé préalablement à la mise en œuvre du premier traçage artificiel 2011 sur l'embut de Cuges (Cf. le rapport Arfib, Lamarque, Souret, 2011<sup>1</sup>).

Déroulement du test d'absorption de la perte de la Revengudo du 3 février 2011 :

- Arrivée vers 10h45 d'Alain avec un tracteur et une remorque chargée de 2 cuves d'1 m<sup>3</sup> remplies d'eau (Photos 1).

- 11h : installation des tuyaux d'injection et positionnement des cuves au dessus de la perte.

- 11h10 à 11h15 : Injection des 2 m<sup>3</sup> d'eau. Thierry se trouve dans la cavité pour prendre quelques photos et observer l'opération : *"Le niveau d'eau est monté de 10 cm remplissant le fond de la diaclase, puis le reste de l'eau s'est infiltré rapidement dans les entrailles de la cavité. On pouvait entendre un léger bruit de cascade."*

La cavité absorbe bien et sera donc retenue pour le troisième traçage 2011.



**Photos 1 : Tracteur, cuves et tuyau d'eau d'Alain lors du test d'absorption préalable de la perte de la Revengudo [photos T. Lamarque, 03/02/11]**

#### **4. Lieu de l'injection : la perte de la Revengudo**

La perte de la Revengudo est une cavité naturelle qui s'ouvre sur le plateau du Camp (commune de Signes) à 457 mètres d'altitude (Figure 1), à moins d'une centaine de mètres du croisement entre la route D2 et la route D402 qui relie le plateau du Camp à Signes. A 1,3 km au sud de la perte se trouve la zone d'activité de Signes, et à 1,1 km au nord-ouest la carrière Croquefigue.

La perte de la Revengudo s'ouvre dans une dépression d'une dizaine de mètres de diamètre dans les calcaires urgoniens. La perte est une cavité de petites dimensions, explorée jusqu'à - 3 m sous la surface du sol (Figure 2), au droit d'une diaclase d'orientation NO-SE. L'eau des

---

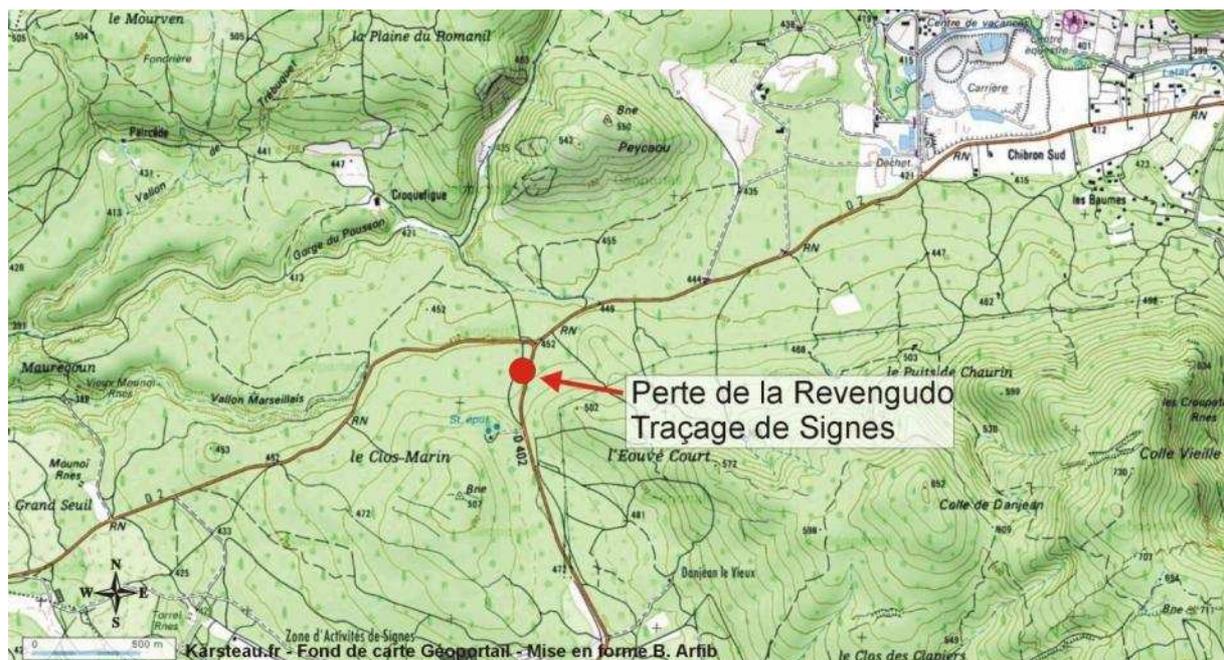
<sup>1</sup> Arfib B., Lamarque T., Souret F. (2011) Test d'infiltration dans l'embut sud-ouest de Cuges les Pins réalisé le 17 décembre 2010. Préparation des traçages artificiels KarstEAU. Rapport Université de Provence du 15/01/11. 16 pages

pluies ruisselant sur les terrains alentour du sud vers le nord est absorbée par l'orifice, puis s'écoule en cascates au fond de la diaclase.

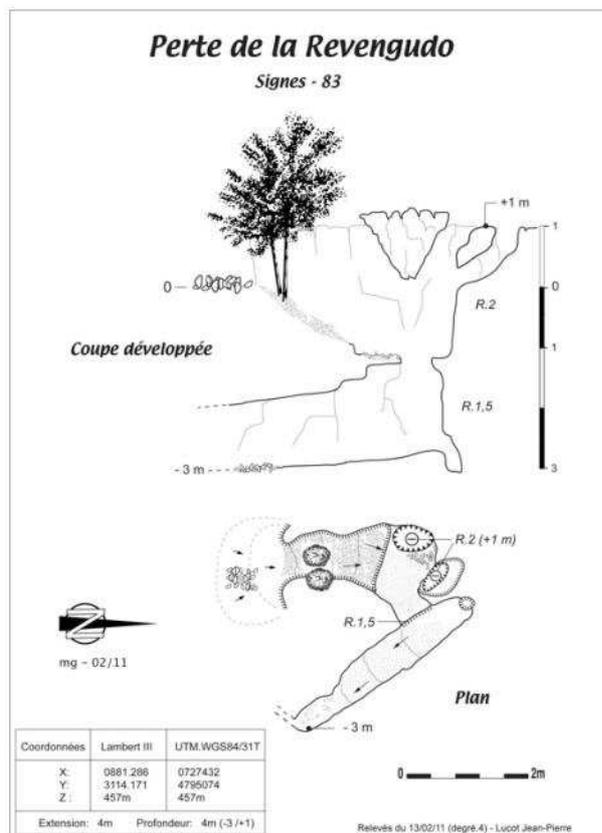
Lors de l'injection du traceur, le 13 février 2011, le temps est beau, aucun écoulement de surface n'a lieu. A 20 mètres à l'ouest de l'orifice, des marques de ruissellement montrent un écoulement temporaire du sud vers le nord dans le chemin (Figure 1). Un petit barrage est aménagé sur le bord du chemin, ainsi qu'une tranchée, en vue de drainer les eaux de ruissellement futur en direction de la perte de la Revengudo. Cette tranchée sera efficace, comme nous le constaterons sur le terrain dès le 14 février 2011 lors de pluies importantes sur le secteur ; la perte absorbera alors l'eau de ruissellement durant plusieurs heures.

Ce troisième traçage consécutif sur le nord de l'unité du Beausset est le plus oriental (Figure 3). Il se trouve sur la limite Est-Ouest de partage des eaux, entre les deux exutoires vauclusiens de Port Miou à l'Ouest et du Ragas de Dardennes à l'Est.

Pour mémoire, rappelons que ce troisième traçage était initialement prévu dans les pertes du Latay, à 5,2 km au nord-nord-est de la perte de la Revengudo. Ce point d'injection des pertes du Latay a été finalement abandonné (ou reporté) afin de ne pas prendre de risque d'avoir une coloration potentielle de la source embouteillée de Beaupré (Signes). Toutefois, le risque était faible car le bassin d'alimentation de Beaupré est connu pour s'étendre sur le massif d'Agnis (communication personnelle E. Gilli et source Beaupré).



**Figure 1 : Localisation de la perte de la Revengudo (Signes) sur fond de carte 1/25000 (source: géoportail.fr, mise en forme B. Arfib)**



**Figure 2 : Topographie et photos de l'entrée de la Perte de la Revengudo (Topographie J-P. Lucot, Photos B. Arfib)**



**Figure 3 : Localisation des traçages à la perte de la Revengudo (Signes), à la perte du Mauregard (Ceyreste) et à l'Embut sud-ouest de Cuges sur photo aérienne (source: géoportail.fr, mise en forme B. Arfib)**

## 5. Traceur artificiel

Le traceur artificiel employé pour ce traçage est de l'uranine, appelé communément Fluorescéine. La fluorescéine a été achetée en solution chez ArtEColor (Lozanne- France), conditionnée en 6 bidons de 25 kg (lot 8865, emballages n°76608, 76609, 76610, 76611, 76612, 76613 ; certificat de conformité donné à la fin de ce rapport).

La teneur en fluorescéine de la solution est de 30,2%. 150 kg de traceur ont été injectés représentant 45,3 kg de fluorescéine pure. La fluorescéine est un colorant fluorescent, visible à forte concentration avec une couleur verte et invisible à faible concentration.

**Remarque** : la fluorescéine peut être achetée en solution ou en poudre. La solution présente l'avantage d'être facilement injectée sur le terrain, par déversement direct des bidons. La fluorescéine en poudre doit préalablement à l'injection être diluée dans de l'eau. La poudre est environ deux fois plus concentrée que la solution, présentant une teneur de l'ordre de 75%. A titre de comparaison, les 150 kg de solution de fluorescéine injectés à la perte de la Revengudo représentent environ 60 kg de fluorescéine en poudre.

## 6. Déroulement de l'injection du 13/02/11

### 6.1. Tranchée de drainage des eaux de ruissellement et dispositif d'injection

Le 13 février 2011, nous sommes une vingtaine de spéléologue au rendez-vous donné à 10h30. Certains s'affairent à creuser une tranchée sur une longueur d'une vingtaine de mètre pour drainer les eaux de ruissellement futur (lors des pluies) du chemin sud-nord vers la perte (Photo 2). D'autres installent le tuyau de 75 mm de diamètre reliant la surface et le fond de la cavité, qui permettra d'injecter directement les bidons de colorant à partir de la surface (Photo 3).



Photo 2 : Creusement de la tranchée



Photo 3 : Installation du tuyau à l'entrée de la perte de la Revengudo

### 6.2. Injection du traceur artificiel et de l'eau de chasse.

- 11h30 : La cuve de 1000 litres d'eau de Franck est remplie au village de Signes sur la borne incendie du Canal de Provence (eau brute) en face du stade.

- 13h40 : La cuve est amenée en camion jusqu'au bord de la cavité. 800 litres d'eau sont déversés afin d'humecter la cavité et de préparer ainsi le passage du colorant.

- 14h00 – 14h45 : Les 6 bidons de 25 kg de fluorescéine liquide sont injectés par l'équipe d'injecteurs. Les bidons sont vidés l'un après l'autre à partir de la surface dans le tuyau de 75

mm de diamètre, se déversant ainsi directement au bas de la cavité 4 mètres plus bas (Photos 4). Les bidons sont ensuite rincés avec environ 100 litres d'eau de la cuve de Franck.

- 14h45 : Les pompiers de Signes arrivent avec le Camion Citerne Grande Capacité de 12 000 litres. Se garant au nord de la cavité, ils tirent 60 mètres de tuyau.
- 15h00 – 15h20 : Les 12 000 litres d'eau sont injectés à partir de la surface directement vers la profondeur à l'aide du tuyau 75 mm en place.
- 15h30 : L'entrée de la cavité est lavée avec les 100 derniers litres de la cuve de Franck
- 16h00 : Tout le matériel est évacué, principalement par Denis et Chantal.

L'eau des pompiers est utilisée pour entrainer le traceur plus rapidement vers la profondeur et limiter le piégeage dans la zone non saturée. Les 12 m<sup>3</sup> d'eau injectés se sont immédiatement infiltrés au fond de la cavité.



**Photos 4 : Injection de fluorescéine à la perte de la Revengudo le 13/03/11**

### **6.3. La pluie dès le lendemain**

Le 14 février, soit le lendemain de l'injection de fluorescéine à la perte de la Revengudo, la région a subi des pluies importantes. Le barrage en travers du chemin sud-nord et la tranchée jusqu'à la perte ont permis de drainer les eaux de ruissellement vers la perte. L'eau ne ruisselait pas encore à 15h (observation Chantal Balssa). Le ruissellement et l'entrée d'eau dans la perte de la Revengudo a probablement dû commencer vers 18h le 14 février 2011, au moment d'un énorme orage autour du Beausset (observation au Beausset Bruno Arfib). Le 15 février, Thierry Lamarque observait sur la perte de fortes traces d'écoulement et un faible écoulement résiduel (<0,5l/s).

## 7. Le traçage du 13 février 2011 en photos



**Photo 5 : La cuve de 1000 litres de Franck, qui permettra de "lubrifier" la cavité avant l'injection du colorant, puis de nettoyer les bidons et les abords du site**

**← Photo 6 : Mise en place du barrage au ruissellement de surface du chemin sud-nord situé à 20 mètres à l'ouest de la perte de la Revengudo**



**Photos 7 : Installation du tuyau d'injection à partir de la surface**



**Photos 8 : Les spéléos bénévoles à l'heure de la pause déjeuner**



**Photo 9 : La perte de la Revengudo – vue en direction du nord (photo du 16 mars 2011, la perte absorbe)**



**Photos 10 : La fluorescéine liquide en bidons**



**Photo 11 : Injection de fluorescéine liquide par Herrick et Chantal à la perte de la Revengudo, filmés par Philippe Maurel.**



**Photo 12 : Le déversement de la fluorescéine liquide très concentrée**



**Photo 13 : Rincage des bidons après injection. L'eau est verte, teintée par la fluorescéine**



**Photos 14 : Les pompiers de Signes – Camion Citerne Grande Capacité 12 000 litres**



**Photo 15 : Injection des 12 m<sup>3</sup> d'eau des pompiers dans la perte de la Revengudo à partir de la surface**



**Photo 16 : Nettoyage du site pour éliminer les quelques traces de fluorescéine en surface**



**Photo 17 : Traces de fluorescéine diluée, couleur verte, dans la perte de la Revengudo**

**Le 16 mars 2011 : Ruissellement de surface lors des pluies et écoulement dans la perte**



Photo 18 : Le chemin d'axe sud-nord, situé à 20 mètres à l'ouest de la perte, transformé en ruisseau temporaire lors des pluies du 16/03/11. L'eau est déviée vers la perte par le barrage fait le 13/02/11 lors de l'injection de fluorescéine.

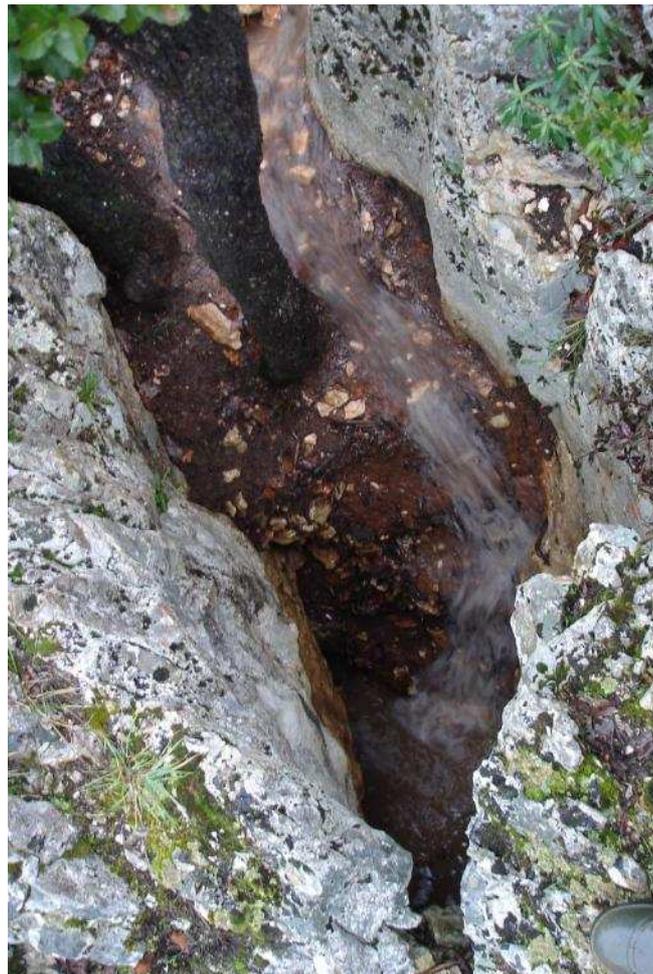


Photo 19 : La perte de la Revengudo absorbant l'eau de ruissellement de surface le 16/03/11, provenant du chemin drainé par la tranchée faite le 13/02/11 lors de l'injection de fluorescéine

Photo 20 : La perte de la Revengudo absorbant l'eau de la tranchée le 16 mars 2011 (vue en direction du nord)



**CERTIFICAT DE CONFORMITE :**

CI : A.Y.73

<b>PRODUIT : FLUORESCÉINE Liquide</b>	<b>DATE : 13/02/2010</b>
<b>LOT : 8865 (09-10/002)</b>	<b>Emballages : 76608 - 76613</b>

**CARACTERISTIQUES TECHNIQUES**

PARAMETRES	STANDARD	LOT 8865 (09-10/002)
<b>Apparence</b>	Liquide brun rouge foncé	Identique
<b>Insolubilité en solution aqueuse alcaline</b>	0,2 % max.	0,12 %
<b>pH (à 20°C)</b>	9.0 min.	9.7
<b>Teneur en fluorescéine</b>	32 ± 2 %	30.2%

**Date : 08/07/2010**



777 rue Louis Arnal - ZAC Les Prés Secs - F-69380 LOZANNE - France  
 ☎ 33.(0)4.78.57.88.82 📠 33.(0)4.78.57.88.84 ✉ contact@artecolor.fr Site : www.artecolor.fr  
 SAS au capital de 179 128 € - RCS LYON B 321 225 914 - N° TVA : FR 20 321 225 914 - APE : 4675Z