



Traçages et suivi hydrogéologique du massif du Dévoluy

(Subvention 2016_4795)

Rapport technique

Alexandre Zappelli¹, Arnaud Belleville², Marianna Jagercikova
¹Comité Spéléologique Régional PACA, ²Electricité de France - Division Technique

Porté par le Comité Spéléologique Régional PACA



En collaboration avec
la Fédération française de spéléologie
le Comité départemental de spéléologie des Hautes-Alpes
le Comité départemental de spéléologie et de canyon des Bouches-du-Rhône
et la Division technique générale d'Électricité de France



Avec le soutien
de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse
du département des Hautes-Alpes



Présentation

Dans le cadre de cette étude, deux traçages ont été réalisés dans différentes cavités du massif avec un suivi aux Petites et Grandes Gillardes. Ils reprennent deux expériences « historiques » avec une bonne maîtrise des débits aux exutoires. Cette étude présente donc pour la première fois des traçages quantitatifs sur le massif. L'objectif général est de mieux comprendre l'organisation des écoulements souterrains. La masse d'eau des calcaires sénoniens du massif a été classée « réserve stratégique » par l'Agence de l'Eau RMC [1].

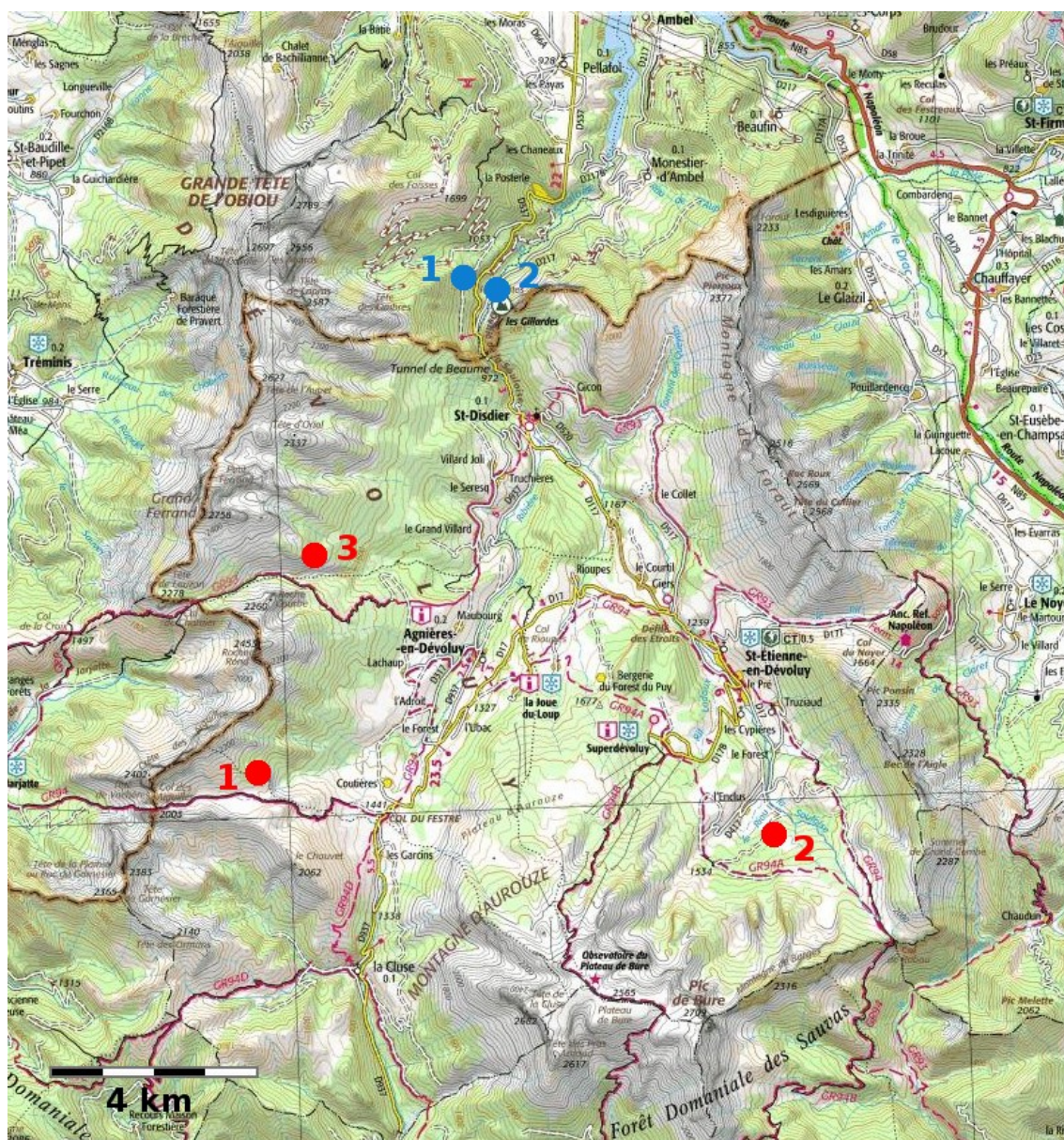


Figure 1 : Les points rouges sont les cavités d'injection : Chourum des Aiguilles (1), Trous de la Tune (2), Chourum des Fruits (3). Les points bleus sont les sources suivies : Grandes Gillardes (1), Petites Gillardes (2).

Le massif du Dévoluy se structure comme un vaste ensemble synclinal déversé vers le nord. Il est constitué de deux plis majeurs : le synclinal de Saint-Disdier à l'ouest et le synclinal de Saint-Etienne à l'est. L'ensemble est traversé par une faille chevauchante d'axe nord-sud dont on observe bien la trace au nord et au sud du massif. Au niveau stratigraphique, les affleurements sont dominés par les calcaires sénoniens du crétacé supérieur. Le cœur du synclinal quand à lui abrite des dépôts tertiaires. La puissance de ces calcaires sénoniens est souvent importante (de l'ordre de 500 mètres d'épaisseur), ils reposent sur des séries marno-calcaires du crétacé inférieur pouvant constituer un niveau de base hydrogéologique.

Il est hors de propos ici de détailler toute la complexité de la géologie locale. Des descriptions précises peuvent être trouvées sur le site « Geo-Alp » et sur la notice géologique de la carte de Saint-Bonnet. Cependant, il est intéressant de souligner une activité de recherche toujours actuelle sur la structure et la stratigraphie du Dévoluy. Lors d'une étude récente, une équipe de géologues de Grenoble a défendu l'existence d'une importante lacune stratigraphique au niveau des calcaires marneux du crétacé inférieur [2]. Cette lacune, observée sur le terrain (voir le site « Geo-Alp » pour des photos et commentaires de discordances), ne se rencontrerait pas dans tout le massif, mais pourrait changer localement les conditions d'écoulement.

Sur le plan de l'hydrogéologie, deux thèses de doctorat (Luparini, 1975 [3] et Bonhomme, 1972 [4]) servent toujours de références. Il existe aussi dix colorations déjà réalisées, souvent anciennes. Il existe une « controverse » qui porte sur la nature des écoulements souterrains : sous forme de drains ou de nappe ? Bonhomme avance une série d'arguments en faveur d'une nappe. Luparini en s'appuyant sur les résultats de traçages (dont deux qu'il a mené en collaboration avec des clubs de spéléologie au Chourum des Aiguilles et au Chourum Clot) et des analyses physico-chimiques des eaux, penche nettement pour l'existence d'écoulement rapides sous formes de drains. De plus, les deux auteurs mentionnés ci-dessus avaient déjà noté le caractère singulier du Puit des Bans. Plus récemment, des scientifiques et des spéléologues se sont intéressés à cette curiosité ancestrale du massif. Des luirographes ont été déposés dans cette cavité pour suivre en continu le niveau de mise en charge [5]. Suite à cette première étude, en s'appuyant sur des données complémentaires, Lismonde et al. ont proposé un modèle théorique cohérent qui expliquerait à la fois les débits observés aux Gillardes et les niveaux de mise en charge dans le Puit des Bans [6]. Plusieurs enseignements importants peuvent être tirés de cette étude. D'abord, le Puit des Bans ne fonctionne pas comme un simple piézomètre branché sur une éventuelle nappe. Un argument fort de cette affirmation est l'existence d'une relation linéaire « anormale » entre le niveau de mise en charge au Puit des Bans et le débit des Gillardes.

Conditions d'injection et résultats

Les critères retenus pour le choix des cavités à tracer sont les suivants par ordre d'importance :

- présence d'un actif significatif même en période d'étiage ;
- au moins une cavité située de chaque côté du massif par rapport à l'accident médian ;
- la zone à tracer doit être relativement facile d'accès ;
- plutôt une cavité ayant déjà eu un traçage positif.

Le premier critère, fondamental pour la bonne réussite des opérations n'est pas si simple à réaliser sur le massif du Dévoluy et restreint déjà drastiquement la liste des cavités possibles. Parmi les candidates on peut citer sur l'ouest du massif, le Chourum de la Parza, le Chourum des Fontaines, le Chourum des Fruits, le Chourum Gnoccis-Forcenés, le Chourum de la Combe aux Buissons, Le Chourum des Aiguilles et la Tune au Renards. Sur l'est du massif, le Chourum La Fille ou les Trous de la Tune.

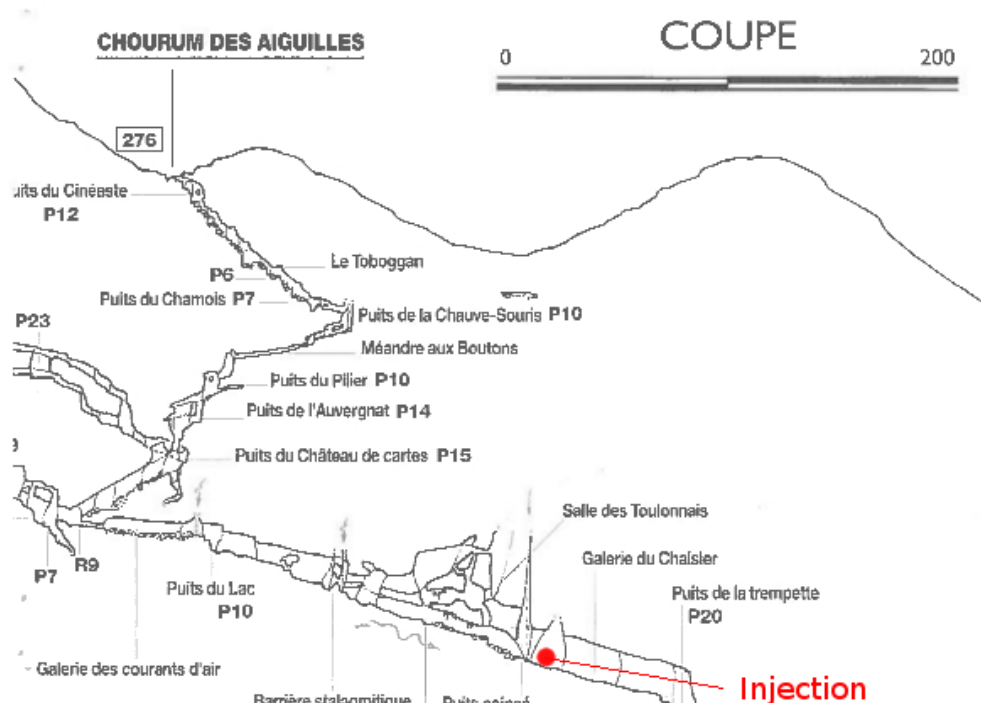
Parmi la liste ci-dessus, nous avons retenu le Chourum des Fruits, le Chourum des Aiguilles et les Trous de la Tune (Figure 1).

Les tableaux ci-dessous présentent les conditions d'injection et les résultats aux sources des Gillardes pour les campagnes de juin 2015 (muti-traçage aux Chorum des Aiguilles, des Fruits et aux Trous de la Tune) et d'avril 2017 (injection unique aux Trous de la Tune).

Chourum des Aiguilles / juin 2015

Conditions d'injection

Equipe	Frédéric Damasko, Jacque Laverdure, Charles Coulier, Nicolas Le Saux, Bernard Sillano
Traceur	Fluorescéine
Masse injectée	3 kg
Débit au point d'injection	Environ 2 l/s
Date/heure	Dimanche 7 juin 2015 / 12h30
Description du lieu	Grande salle vers -250m avec une vasque alimenté par une arrivée d'eau en plafond. L'eau circule rapidement de la vasque vers le fond de la cavité.



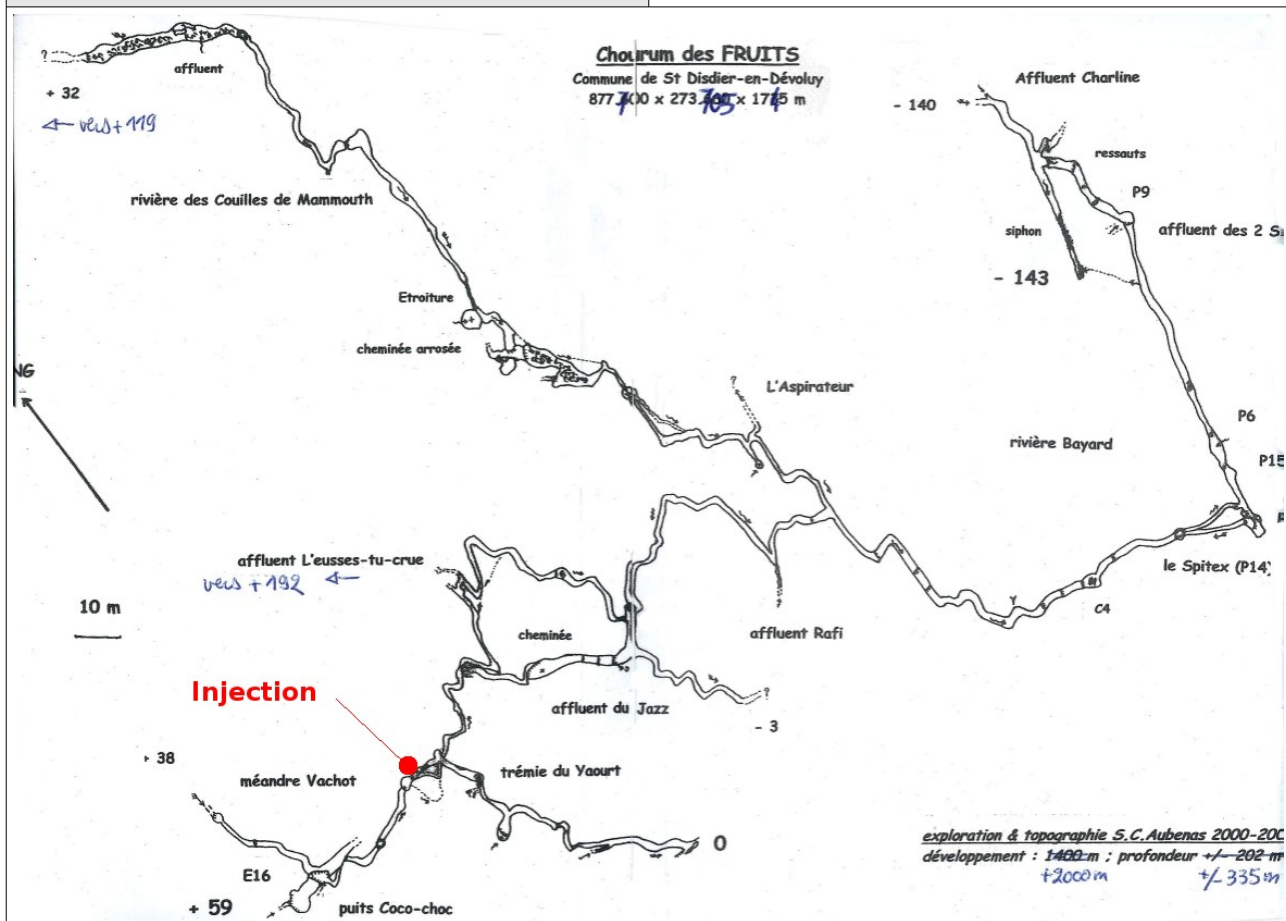
Résultats

Temps apparition	5 jours
Temps conc. max.	6 jours
Temps passage	13 jours
Masse restituée	85 %

Chourum des Fruits / juin 2015

Conditions d'injection

Equipe	Maël Gourmelon, Thierry Marchand, Patrick Harlez, Guillaume Poliol
Traceur	Sulforhodamine B
Masse	3,680 kg
Débit à l'injection	5 l/s
Date/heure	Dimanche 7 juin 2015, 11h35
Description du lieu	Vasque avec un dépôt argileux. Mélange dans la vasque après constitution d'un barrage d'argile. Remplissage de la vasque, puis largage à 11h45.



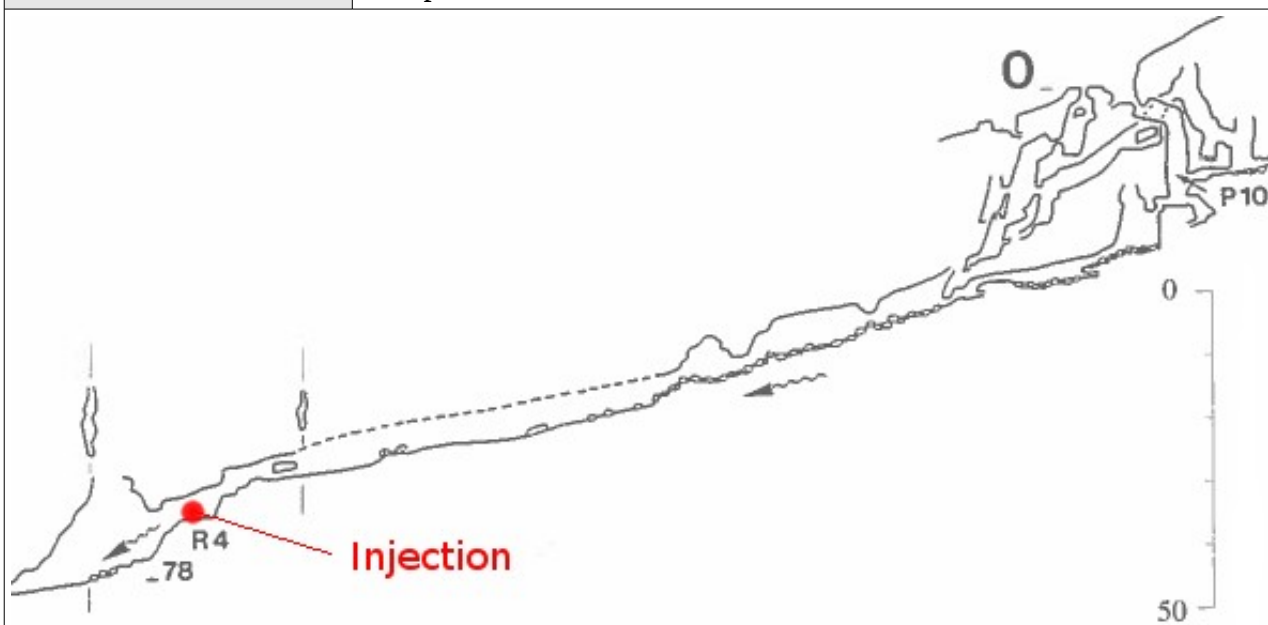
Résultats

Pas de détection

Trous de la Tune / juin 2015

Conditions d'injection

Equipe	Alain Wadel, Thierry Rique, Pascal Caton, Olivier Sausse, Elodie Grisoni, Liliane Xicluna
Traceur	Acide amino G
Masse	15 kg
Débit à l'injection	Très faible, environ 1 l/min
Date/heure	dimanche 7 juin 2015 / 11h05
Description du lieu	Pied de R4 après le méandre étroit. Mélange dans une vasque (3x4m). Très peu de circulation d'eau !



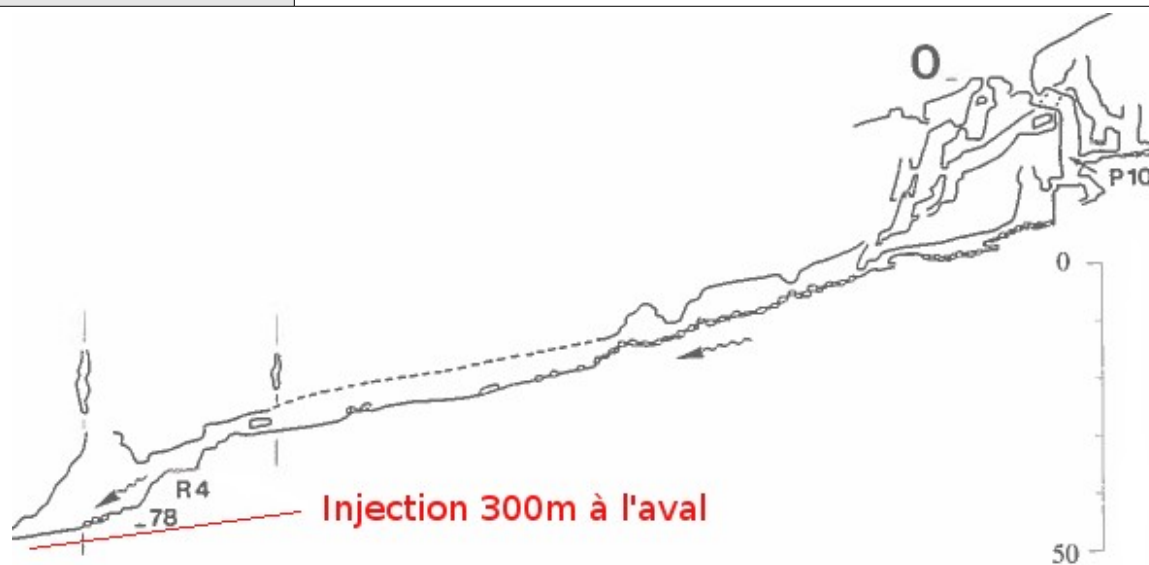
Résultats

Pas de détection

Trous de la Tune / avril 2017

Conditions d'injection

Equipe	Bernard Baudet, Thibaut Navarettes, Alexandre Zapepli
Traceur	Fluorescéine
Masse	6,250 kg
Débit à l'injection	Environ 0,5 l/sec
Date/heure	Dimanche 9 avril 2017 / 15h30
Description du lieu	Environ 300m à l'aval du point d'injection 2015 au niveau du premier affluent rencontré.



Résultats

Temps apparition	6,5 jours
Temps conc. max.	10 jours
Temps passage	13 jours
Masse restituée	85 %

Interprétations et conclusions

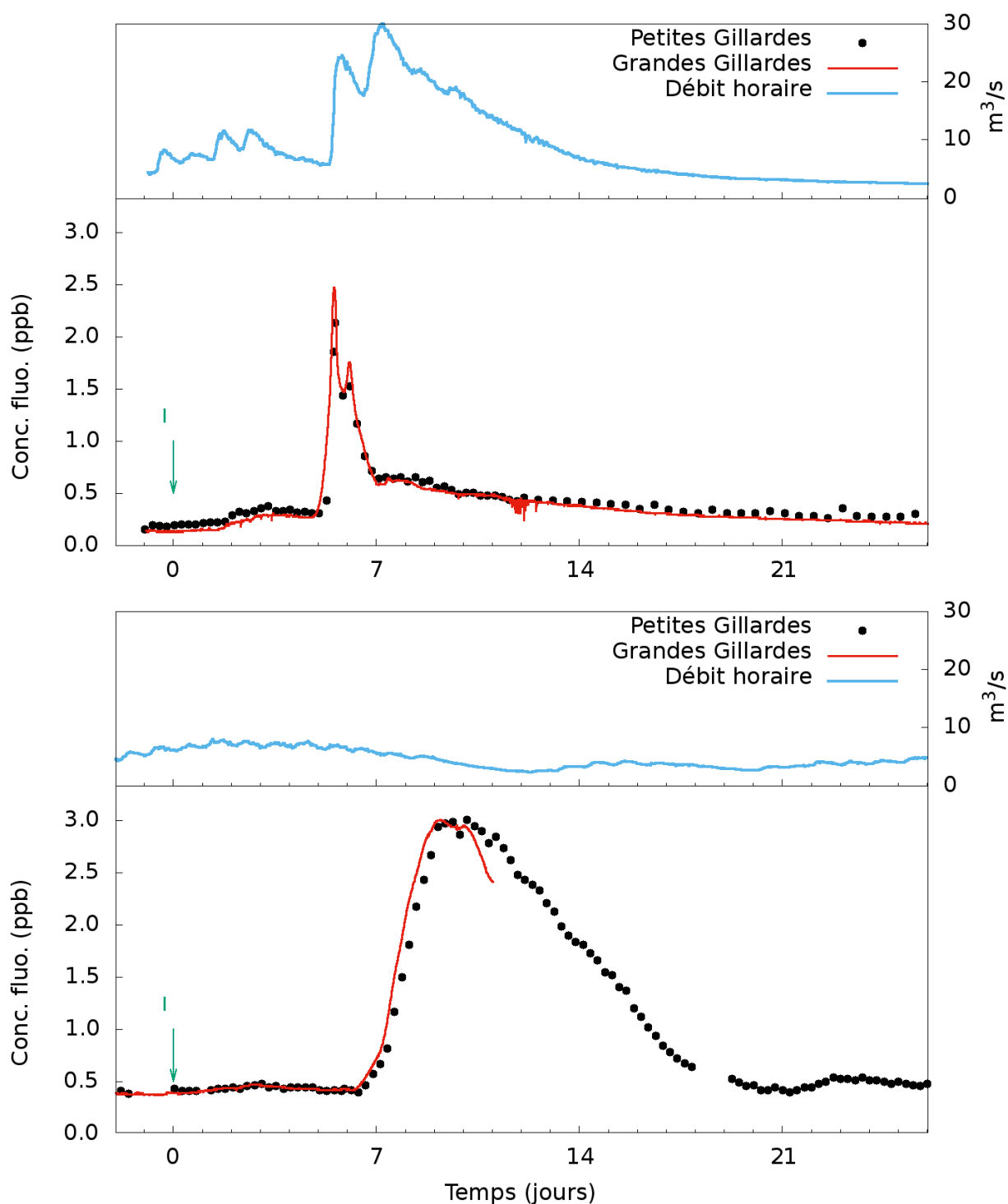


Figure 2 : Courbes de restitution au Petites Gillardes (points noirs) et Grandes Gillardes (courbes rouges). La figure du haut est la restitution correspondant à l'injection au Chorume Aiguilles en juin 2015, celle du bas à l'injection aux Trous de la Tune d'avril 2017. L'évolution du débit aux sources est montré sur la période du suivi (courbes bleues). La flèche verte marque le moment de l'injection et est choisi comme origine des temps.

La mise en place d'une station limnimétrique supplémentaire au niveau du Pont de la Baume nous a autorisé une bonne maîtrise des débits des Petites et Grandes Gillardes. C'était un préalable obligé pour prétendre mener des traçages qualitatifs.

Lors de la campagne de 2015, les traceurs injectés aux Trous de la Tune et au Chorum des Fruits n'ont pas été détectés aux Gillardes. Nous pensons que la cause principale est le très faible débit constaté aux points d'injections. Cela nous a incité à réaliser les traçages suivants au printemps, période plus propice aux circulations d'eau souterraines issues de la fonte des neiges.

Les deux expériences de traçage commentées ci-dessous sont celle avec injection au Chorum des Aiguilles (juin 2015) et avec injection aux Trous de la Tune (avril 2017). Dans les deux cas, le suivi a été réalisé aux Grandes Gillardes avec un fluorimètre automatique de type Ggun de la marque Albillia avec un pas d'acquisition de 15 minutes (courbe rouge). Aux Petites Gillardes, le suivi a été assuré par des préleveurs automatiques ISCO au pas de temps de 6 heures (points noirs). Les échantillons ont ensuite été analysés avec le même fluorimètre de terrain utilisé aux Gillardes.

Le suivi aux Grandes Gillardes du printemps 2017 (courbe rouge du bas) montre un arrêt du suivi dû à une panne électronique du fluorimètre. Néanmoins, le suivi aux Petites Gillardes a été assuré.

L'expérience de traçage avec injection au Chorum des Aiguilles (courbe de restitution du haut) s'est déroulée avec un fort épisode pluvieux au début de la restitution. Nous observons en conséquence un double pic. Par contre, l'expérience avec injection aux Trous de la Tune d'avril 2017 s'est déroulée dans des conditions hydrauliques stables. Vu les conditions hydrologiques différentes, la comparaison directe des deux courbes de restitution est rendu difficile. Malgré tout, nous pouvons dire que le temps de première apparition du traceur, n'a pas été influencé par la crue de juin 2015. Ces temps sont comparables pour les deux expériences avec des distances aux exutoires similaires (environ 10,5km).

Pour les deux traçages, les restitutions aux Petites et Grandes Gillardes sont identiques. Seule une petite différence (non significative..?) s'observe au niveau du pic de restitution sur la courbe du bas. Ceci confirme que les deux sources appartiennent au même système. Ce fait n'est pas surprenant vu la proximité immédiate des deux sources (150 mètres).

Le fait remarquable est un taux de restitution du traceur très élevé avec près de 85 % dans les deux cas. Cela nous autorise à proposer quelques contraintes fortes sur le système étudié :

- Comme pressenti vu la structure géologique de massif, les sources des Gillardes sont les exutoires principaux, du massif.

- L'horizon hydrogéologique constitué par les calcaires-marneux du crétacé inférieur constitue un écran extrêmement efficace.

- Vu que les deux cavités test sont situées de part et d'autre de la faille chevauchante qui traverse le massif du nord au sud et vu les similarités des courbes de restitution, celui ci n'aurait aucun effet structurant sur les écoulements souterrains.

Nous savons que sous le niveau des résurgences, le réservoir sénonien est fracturé et sans doute très karstifié. Une plongée spéléologique réalisée en 2005 dans une cavité du massif confirme ce dernier point [7]. L'existence de drains karstiques noyés développés à l'échelle du massif est donc une hypothèse raisonnable. Dans les conditions hydrologiques des traçages réalisés (petite crue et fonte de printemps), ces drains karstiques seraient le principal vecteur de transport des traceurs. Dans

l'objectif de confirmer et éventuellement de quantifier cette hypothèse, d'autres expériences de traçages à des régimes différents (crue importante, étiage) seront entrepris ultérieurement. Une modélisation du transport dans le massif pourra aussi apporter des contraintes intéressantes.

Références

- [1] « Massif calcaire crétacé du Dévoluy », Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, FRDG108, 2014.
- [2] A. Michard, T. Dumont, L. Andreani, et N. Loget, « Cretaceous folding in the Dévoluy Mountains (Subalpine Chains, France): Gravity-driven detachment at the European paleomargin versus compressional event », *Bull. Société Géologique Fr.*, vol. 181, n° 6, p. 565–581, 2010.
- [3] V. Luparini, « Etude hydrogéologique du massif du Dévoluy », Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, 1975.
- [4] J.-L. Bonhomme, « Etude hydrogéologique et hydrodynamique du karst des calcaires sénoniens. Massif du Dévoluy, Hautes-Alpes », Conservatoire National des Arts et Métiers, Laboratoire de géologie appliquée, Paris, 1972.
- [5] P. Bertochio, « Les mystères du puits des Bans », *Spelunca*, n° 106, p. 23-30, 1997.
- [6] Baudoin Lismonde, P. Morel, et P. Bertochio, « Hydrologie du Dévoluy La Souloise, les Gillardes et le puits des Bans.pdf », *Karstologia*, n° 51, p. 33-44, 2008.
- [7] P. Bertochio, « Le Puit des Bans », *Info-Plong.*, vol. 94, p. 8-10, 2007.