

# Les relations karst-rivière dans les calcaires barrémo-bédouliens du Diois (Drôme – France) Exemple de la Gervanne

B. Couturier · J. C. Fourneaux

**Résumé** Le karst de la rivière Gervanne est un système bien développé au sein d'une série calcaire d'âge barrémo-bédoulien de quelques 400 m d'épaisseur. Si ses limites ne sont pas connues avec précision, elles sont peu différentes de celles du bassin versant géographique de la Gervanne. L'exploration de ce karst a mis en évidence un réseau dense de cavités et un exutoire principal: la source des Fontaigneux qui a un débit pérenne. Il existe des relations complexes entre la rivière et le karst qui peuvent être analysées par l'étude des données hydrologiques et par des traçages. En période de basses eaux, des pertes se produisent dans la rivière avec parfois un débit nul de cette dernière. Une opération de traçage a été réalisée pour vérifier les conditions de circulation des eaux dans le karst. Le rapport entre la vitesse des premières arrivées du traceur et la vitesse du pic montre le type d'écoulement en chenal du système avec une très faible dispersion longitudinale en période de basses eaux. Ce n'est qu'en hautes eaux que la dispersion apparaît, quand le karst réalimente la rivière avec un écoulement qui prend alors en compte les fissures et les joints de la roche. Le débit des pertes de la Gervanne dépend donc du niveau de remplissage du karst. En fait, il n'apparaît pas envisageable d'intervenir artificiellement sur ce niveau pour le maintenir assez haut et éviter les pertes de la

rivière vers le karst. Si on voulait soutenir artificiellement le débit du cours d'eau en étiage, avec un barrage par exemple, on ne pourrait pas garantir l'étanchéité de la cuvette beaucoup trop perméable.

**Mots clef** Karst · Barrage · Traceur · Ecoulement

**Abstract** The karst in the Gervanne river is a well-developed system found in a limestone formation from the Barremian-Bedoulian that is about 400 m thick. Although its limits are not known to any great precision, they are very similar to those of the geographical area of the Gervanne watershed. Explorations have brought to light a dense system of cavities and one main outlet: Les Fontaigneux spring, a permanent spring. The relationships between the river and the karst are complex. They can be analysed by studying the hydrological data and tracer information. During low waters, seepage from the river often reduces river flow to nothing. Tracer tests were carried out to check the conditions in which water circulates in the karst. The rate between the first arrivals of the tracer and the peak velocity shows that the flow takes place in a channel pattern with very low longitudinal dispersal during low waters. Dispersion was only seen to occur during high waters, when the karst feeds water back into the river in a flow that takes into account the fissuring and joints between the rock. The seepage discharge in the Gervanne therefore depends on the amount of water in the karst. In fact, it does not seem possible to conduct artificial maintenance of the water level in order to avoid losses from the river into the karst. If artificial measures were to be taken to maintain a minimum water level in the river, for instance, by building a dam, watertightness could not be guaranteed because the basin is much too permeable.

**Key words** Karst · Dam · Tracer · Flow

Received: December 1997 · Accepted: July 1998

B. Couturier (✉)  
LIRIGM, Université de Grenoble 1, BP 53,  
F-38041 Grenoble Cedex 9, France  
BRL ingénierie, BP 4001, F-30001 Nîmes Cedex 5, France

C. Fourneaux  
Laboratoire CIBAMAR, Université de Bordeaux I,  
Avenue des Facultés, F-33405 Talence, France

## Préambule

“Les calcaires sont certainement, de toutes les roches, celles qui inspirent à juste titre le plus de méfiance pour l'aménagement de réservoirs” (Gignoux et Barbier 1955). En effet, de nombreuses retenues n'ont jamais pu stocker de l'eau à cause de pertes importantes. Cela a été le cas pour les barrages de Maria Cristina, de Monte Jacque, de Camarasa en Espagne ou de l'Alpe de Cavalli en Italie. Ceci est d'autant plus vrai que l'ensemble de l'aménagement, c'est-à-dire site et cuvette, se développe dans une série calcaire plus ou moins profondément karstifiée. Les témoins de ces circulations sont le plus souvent des résurgences situées à une cote inférieure à celle du futur plan d'eau.

Il ne faut cependant pas penser que toutes les retenues en pays calcaire ne sont pas réalisables. De nombreux exemples prouvent le contraire comme le barrage de Sainte Croix sur le Verdon ou le barrage de Castillon en France (Thérond 1973). Ces sites ont fait l'objet de recherches ciblées sur la morphologie du karst et ont montré que, dans ces cas précis, les calcaires fracturés, de par leur disposition et leur structure, n'entraînaient pas de conditions géologiques rhéobitoires pour la réalisation des aménagements prévus.

Dans l'exemple exposé ci-après, un barrage avait été envisagé au sein d'un important massif calcaire qui se développe à l'échelle régionale dans le Diois, au sud du département de la Drôme. Une étude poussée des relations karst-rivière dans ces formations a montré l'inanité d'un tel projet sur la simple prise en compte des conditions géologiques et avec un minimum de travaux de reconnaissance.

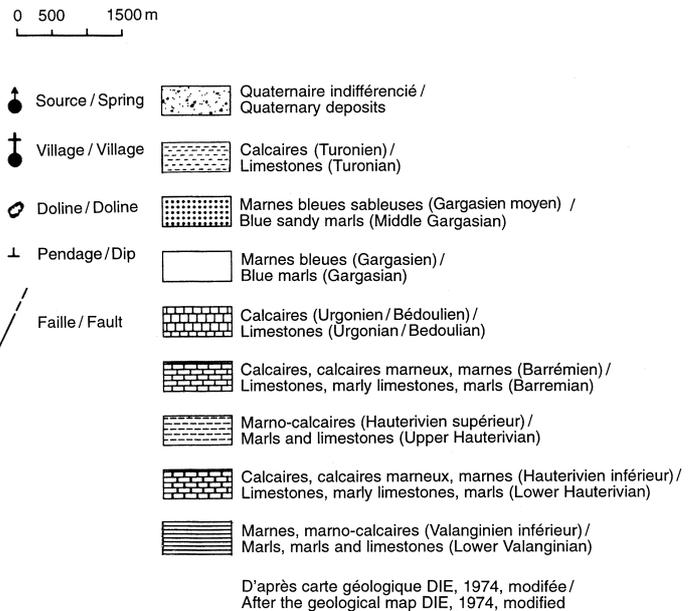
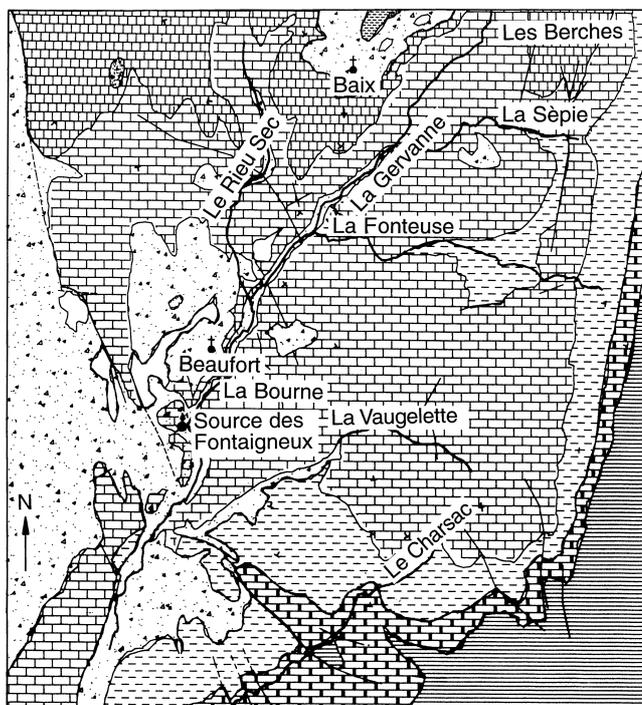
## Introduction

La Gervanne est un affluent rive droite de la Drôme qui rejoint celle-ci à quelques kilomètres en amont de Crest. Sur une grande partie de son cours jusqu'en aval du village de Beaufort-sur-Gervanne, la rivière est en relation étroite avec un vaste réseau karstique développé dans l'ensemble du bassin versant, au sein de la série des calcaires barrémo-bédouliens. Il avait été envisagé de réaliser un barrage sur la rivière afin d'assurer un soutien artificiel des débits d'étiage de la Gervanne. Des travaux récents réalisés dans ce secteur permettent aujourd'hui de préciser les conditions de fonctionnement de ce karst.

## Géologie du site

En amont de Beaufort-sur-Gervanne (Fig. 1), le bassin versant de cette rivière est constitué par les formations barrémo-bédouliennes composées de bancs calcaires métriques et d'interlits marneux décimétriques. Vers le sommet on trouve des calcaires à silex. L'ensemble représente une série à dominante calcaire de plus de 400 m d'épaisseur. La structure est relativement simple. Il s'agit d'un vaste synclinal présentant un plongement axial vers le Sud-Ouest et dont les flancs sont peu pentus. Toutefois, de nombreux replis peu marqués sont visibles dans toute la zone où les calcaires barrémiens affleurent.

**Fig. 1**  
Carte géologique  
**Fig. 1** Geological map



On note une fissuration importante et l'existence de plusieurs failles avec une orientation préférentielle N 170°. Les alluvions récentes ne sont pas présentes partout. Elles n'ont jamais des épaisseurs importantes. Par contre, il existe de nombreux placages d'alluvions qui correspondent aux restes d'anciennes terrasses ainsi que des éboulis qui peuvent être assez épais au pied des reliefs.

## Le karst

La présence d'une épaisse série calcaire induit l'existence d'un système karstique bien développé. La morphologie superficielle montre surtout des dolines. Celles-ci sont bien visibles dans la partie Ouest et Nord-Ouest du bassin. A 600 m au Nord-Ouest de Beaufort une vaste doline est en relation directe avec le réseau souterrain, comme l'a montré la spéléologie (Leger 1984).

Les explorations spéléologiques ont mis en évidence un important réseau avec des affluents qui draine une grande partie du bassin versant de la Gervanne. Ce réseau a été reconnu sur une distance horizontale de plus de 2,300 m et une profondeur de 43 m par rapport au niveau de l'entrée à La Bourne (Hasenmayer 1984). Il existe un exutoire permanent: la source des Fontaignieux, qui émerge vers 300 m d'altitude, en rive droite de la Gervanne, à 1 km en aval de Beaufort-sur-Gervanne.

On observe également plusieurs exutoires temporaires étasés au dessus de la Gervanne qui traduisent l'enfoncement relativement récent du réseau karstique. Cet enfoncement est de plus de 25 m. Il est postérieur au dépôt de la terrasse notée Fy sur la carte géologique Die au 1/50 000.

## Hydrologie

Le bassin versant de la Gervanne, fermé au droit de la source des Fontaignieux, couvre une superficie de 110 km<sup>2</sup>.

Les calcaires qui en constituent l'essentiel sont très fissurés. Ils sont donc très perméables. Lorsque qu'ils affleurent le ruissellement superficiel n'existe que là où les pentes sont fortes. L'infiltration est très importante et l'écoulement se fait principalement par un réseau souterrain très hiérarchisé.

Au niveau de Beaufort-sur-Gervanne l'écoulement souterrain représente un débit moyen annuel presque aussi important que celui de la Gervanne, même si le débit de celle-ci diminue de façon sensible dans une zone d'environ un kilomètre de long, en amont de Beaufort. Il est parfois nul, à certaines époques, au droit du village.

Le débit moyen de la source des Fontaignieux est de 0.96 m<sup>3</sup>/s et le débit d'étiage est de 0.15 m<sup>3</sup>/s (Lafosse 1986).

Le débit moyen de la Gervanne en amont du confluent avec l'émissaire de la source des Fontaignieux est de

1.16 m<sup>3</sup>/s, ce qui pour un bassin versant de 110 km<sup>2</sup> représente un module de l'ordre de 20 l/s km<sup>2</sup>, si l'on ajoute les deux débits. Cela représente une lame d'eau ruisselée de quelques 620 mm.

Les précipitations moyennes sur le bassin versant représentent une lame d'eau moyenne de 1050 mm environ. L'évapotranspiration calculée en fonction de l'altitude moyenne du bassin versant (Fourneau et al. 1997) donne une valeur proche de 540 mm. La lame d'eau disponible est donc de 510 mm ce qui pour un bassin de 110 km<sup>2</sup> devrait donner un module voisin de 16.2 l/s km<sup>2</sup>.

Il y a donc une différence de près de 400 l/s ce qui est bien supérieur aux erreurs de mesures. Cet écart peut s'expliquer par plusieurs éléments. D'une part il se produit des infiltrations entre la station de mesure de Beaufort et le confluent avec l'émissaire des Fontaignieux. Une partie de ces eaux alimente la source des Fontaignieux. Ce débit est donc comptabilisé deux fois sans qu'il soit possible de le mesurer de manière précise. D'autre part les limites du bassin versant hydrogéologique sont mal connues dans certaines zones. Il peut exister des apports provenant de l'extérieur du bassin géographique. Enfin les précipitations dans la partie haute du bassin sont probablement sous-estimées.

Mais à l'inverse, en cas de crue, les débits sortant des différents exutoires situés plus haut que les Fontaignieux ne sont pas pris en compte puisqu'ils rejoignent la Gervanne en aval de la station de mesure.

Il est donc difficile de calculer un bilan exact à partir des éléments dont nous disposons à ce jour.

## Fonctionnement du karst

L'analyse des débits de la Gervanne et ceux de la source montrent que la rivière perd une partie de ses eaux en amont de Beaufort et cela surtout en période de basses eaux. Par contre en hautes eaux, le niveau piézométrique monte beaucoup dans le karst et les circulations peuvent s'inverser.

La pente de la surface piézométrique dans le système karstique est plus faible que la pente du cours d'eau superficiel. En basses eaux ces pentes se recoupent un peu en amont de la source de Fontaignieux.

Des sondages réalisés dans les calcaires barrémiens, de part et d'autre de la Gervanne, en aval du confluent de la Sépie, à 4 km en amont de Beaufort, ont trouvé des niveaux piézométriques nettement sous le niveau de la rivière. Celle-ci coule là sur un tapis d'alluvions qui l'isole du karst.

Par contre en période de forte hydraulité, le réseau se met en charge et dans un premier temps la résurgence de la Bourne fonctionne. Elle est située 10 m au-dessus du niveau des Fontaignieux. Ensuite, le puits du Murier, situé 13 m plus haut débite et enfin l'émergence du Sarrier, 20 m plus haut elle aussi, commence à couler.

Les mesures faites ces dernières années montrent que le karst se met en charge pour un débit au Fontaignieux dépassant 1.3 m<sup>3</sup>/s.

Le karst est très rapidement en charge dès que les précipitations dépassent une certaine valeur et les pertes connues en amont de Beaufort se mettent à fonctionner en résurgence. Par contre pour des précipitations plus faibles intervenant après une longue vidange, le débit augmente d'abord dans la Gervanne et ensuite dans le karst. Ce phénomène est analogue à ce que nous avons pu montrer dans le Jura (Fourneaux et al. 1997).

Le calcul des réserves effectué à partir des mesures de débit sur l'exutoire des Fontaignieux ne donne pas des résultats satisfaisants lorsque le débit de la Gervanne n'est pas nul au droit de Beaufort, et la décroissance des débits ne montre pas des réserves importantes. Compte tenu des conditions géologiques et paléogéographiques il est probable qu'il existe un développement du karst sous le niveau de base actuel (Fourneaux 1994).

Dans ce contexte, il ne s'agit pas d'un karst de haute montagne avec les caractéristiques décrites par Bini et al. (1989).

## Les traçages

Plusieurs traçages ont été réalisés à partir de pertes ou de dolines. Ils ont tous montré que la résurgence des Fontaignieux est le seul exutoire du système karstique en période de basses eaux. La Bourne n'est qu'un regard sur le conduit principal qui sert de trop plein en période de hautes eaux. Il en est de même pour le puits du Murier, 13 m au-dessus de la Bourne et l'émergence du Sarrier 20 m au-dessus. Les informations apportées par les traçages réalisés par Lafosse (1986) montrent bien que les pertes de la Gervanne rejoignent l'exutoire des Fontaignieux en passant sous le puits de la Bourne. Les traces de fluorescéine retrouvées dans la Bourne sont le résultat de la diffusion du traceur dans ce regard sur l'écoulement principal et pas de la dispersion.

En 1989 une opération de traçage a été mise en oeuvre pour vérifier les conditions de circulations des eaux dans ce karst; Il s'agissait de savoir s'il existait des circulations en chenaux (Couturier et al. 1989) dans la partie amont du

bassin. Un des forages évoqués plus haut a servi de point d'injection.

Un forage de 28 m de profondeur, incliné de 15°, a été fait en rive droite de la Gervanne sur le site du projet de barrage, au pied du versant (Fig. 2, point d'injection). Plusieurs fractures ont été recoupées mais pas de chenal ou de galerie.

Un essai d'eau préalable à l'injection a été réalisé entre -10 m et -28 m, avec une pression manométrique de 1 bar en tête de forage. L'absorption a été de 100 l/mn. Ces résultats permettaient d'effectuer le traçage sans difficultés, c'est à dire que l'on était sûr que le traceur serait rapidement absorbé par le massif (Couturier 1987).

Une masse de 4 kg de fluorescéine, diluée dans l'eau, a été injectée par des tiges de forage vers 10 m de profondeur. La solution a été poussée par environ 12 m<sup>3</sup> d'eau.

Trois points de prélèvements ont été choisis (Fig. 3):

1. Dans la Gervanne, à 30 m en aval du point d'injection (1).
2. En amont du pont, 2.8 km environ en aval du point d'injection, toujours dans la Gervanne (2).
3. A la source des Fontaignieux.

Les échantillons ont été prélevés pendant 20 jours entre le 29 juin et le 19 juillet 1989; ils ont été analysés au moyen d'un spectrofluorimètre Jobin Yvon 3D, avec un seuil de détection de 5.10<sup>-11</sup>, soit un kg dans 20 millions de mètres cubes.

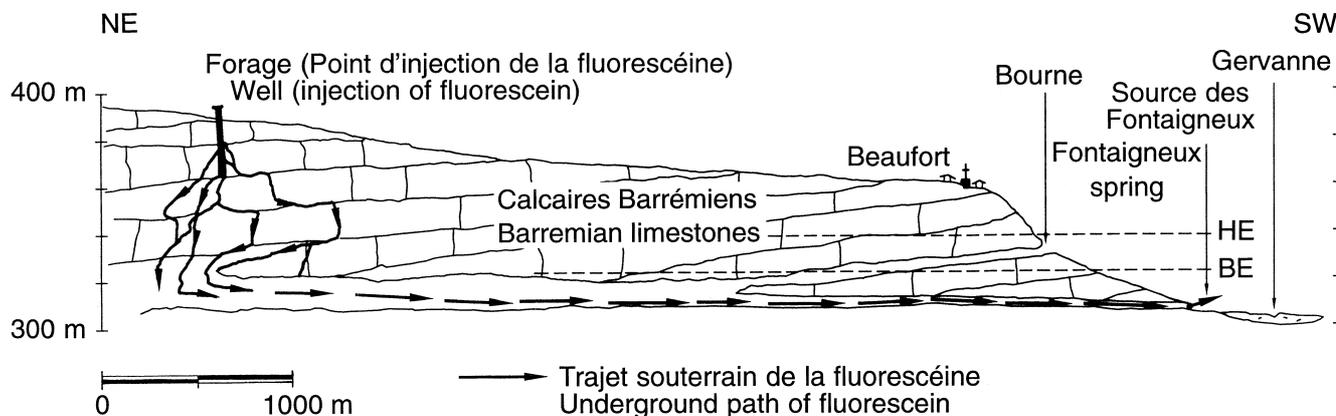
La fluorescéine n'a été retrouvée qu'à la source des Fontaignieux. La courbe de la Fig. 4 donne la concentration en fluorescéine en fonction du temps à cette source.

Aucune trace de fluorescéine n'a été trouvée dans la Gervanne. Le taux de restitution, c'est à dire le pourcentage de traceur retrouvé à la source des Fontaignieux est de l'ordre de 35%. La vitesse des premières arrivées est de 57 m/h et la vitesse du pic est de 55 m/h.

Le rapport entre ces deux vitesses ainsi que la forme de la courbe (Fig. 4) traduisent un écoulement très peu dispersif,

**Fig. 2**

Schéma des circulations mises en évidence par le traçage  
**Fig. 2** Circulation patterns shown by tracing



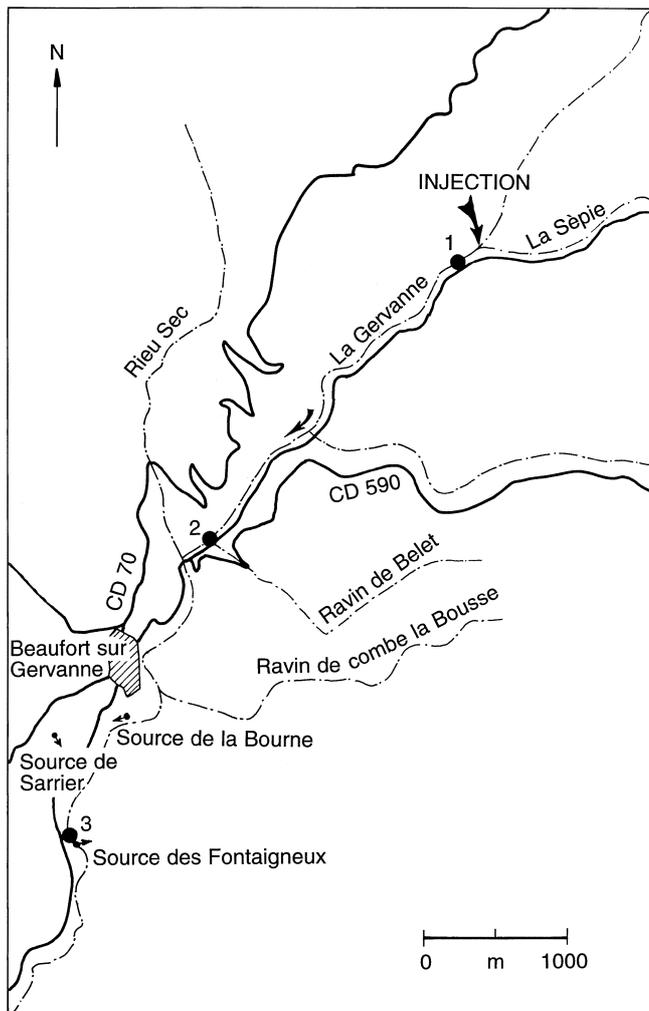


Fig. 3

Points de prélèvement

Fig. 3 Sampling points

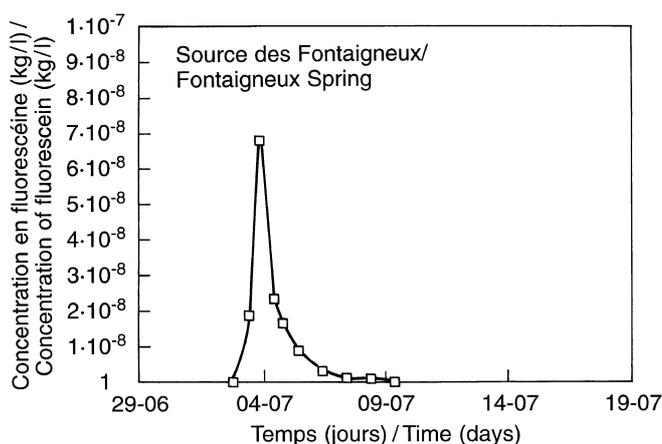


Fig. 4

Courbe de restitution du traceur

Fig. 4 Tracer curve

c'est à dire en chenal avec effet piston (Sommeria 1986). Le traceur a rejoint, très rapidement après son injection, un écoulement de type karstique, dans une galerie qui elle même doit rejoindre le drain principal exploré par les spéléologues.

La dispersion longitudinale est très faible et il n'a pas été mis en évidence de dispersion latérale. C'est d'ailleurs toujours le cas, en période de basses eaux lorsqu'il existe un réseau bien hiérarchisé (Fourneaux et al. 1984). La dispersion ne peut intervenir qu'en période de hautes eaux, là où le karst se met à réalimenter la rivière. Ce type d'écoulement peut alors se faire non seulement par des chenaux ou des fissures mais aussi par les joints de bancs.

### Conséquences de ces conditions karstiques

Le débit des pertes de la Gervanne vers le système karstique dépend du taux de remplissage du karst. Or la structure géologique locale et les conditions d'écoulement des eaux souterraines qui en résultent ne permettent pas une intervention sur ce taux de remplissage comme cela est envisagé ailleurs (Fourneaux et al. 1997). Il n'est pas possible de réaliser un écran étanche suffisamment étendu pour maintenir le niveau piézométrique assez haut dans le karst pour éviter les pertes de la Gervanne vers ce dernier.

Il est donc parfaitement illusoire dans ce type de bassin de penser à un soutien artificiel des débits d'étiage. L'eau envoyée dans la rivière rejoindrait très rapidement le système karstique et un barrage serait alors inefficace. Même s'il l'avait été, les reconnaissances ont montré qu'un stockage dans ce type de formations géologiques n'est pas réalisable de manière économique (étanchement de la cuvette nécessaire).

### Conclusions

Le bassin versant de la Gervanne se présente donc comme un système assez complexe. Une partie de ce bassin alimente le cours superficiel de la rivière et une autre alimente directement le réseau karstique développé dans les formations barrémo-bédouliennes, dont l'exutoire pérenne est la source des Fontaigneux. Mais en période de basses eaux, la Gervanne contribue de façon notable à l'alimentation du karst, en particulier juste en amont de Beaufort.

La Gervanne perd, pendant 300 jours par an en moyenne, une partie de son débit dans la zone située en amont de Beaufort sur une distance de 1.5 km. Ces pertes rejoignent le réseau des Fontaigneux. Mais celui-ci écoule aussi des eaux infiltrées directement dans le karst.

En hautes eaux, le flux s'inverse et le karst alimente la Gervanne. Au fur et à mesure qu'il se met en charge, plusieurs exutoires temporaires deviennent actifs.

Le bilan, imprécis en raison des conditions de mesures, permet tout de même de penser qu'il existe des apports extérieurs au bassin géographique.

Les relations entre le système karstique et l'émissaire superficiel ne permettent pas d'envisager une action sur les débits d'étiage de ce dernier, ni la réalisation d'un barrage de stockage dont on ne pourrait économiquement assurer l'étanchéité.

## Bibliographie

- BINI A, DELANNOY JJ, MAIRE R, QUINIF Y (1989) Générations de cavités karstiques dans les chaînes alpines s.l. C.R. Acad Sci, Paris, t. 309, série II, pp 1183–1190
- COUTURIER B (1987) Les études géologiques dans les projets de barrage. Thèse Doctorat d'Etat, Université Grenoble I, 350 pp
- COUTURIER B, FOURNEAUX JC, SOMMERIA L, (1989) Analyse d'une opération de traçage dans la région du Pic St-Loup. Karstologia n°13, pp 50–53
- FLANDRIN J ET AL. (1974) Carte géologique Die au 1/50,000 et notice explicative. BRGM, 36 pp
- FOURNEAUX JC, BARBIER JL, SOMMERIA L (1984) Etude d'un aquifère en milieu calcaire fissuré par des traçages. C.R. 109<sup>e</sup> Congrès nat des soc savantes, Dijon, fasc I, Sciences, pp 137–147
- FOURNEAUX JC (1994) Analyse des conditions de développement de la karstification profonde. Karstologia n°23, pp 19–22
- FOURNEAUX JC, GRANGE R, MONNIER TH, SOMMERIA L (1997) Le karst du Suran. Karstologia n°30
- GIGNOUX M, BARBIER R (1955) Géologie des barrages et des aménagements hydrauliques. Masson, Paris, 343 pp
- HASENMAYER M (1984) Description du réseau karstique de la Gervanne. Rapport inédit Spéléo-Club de la Drôme
- LAFOSSE J (1986) Système hydrogéologique des Fontaigneux à Beaufort-sur-Gervanne. Rapport inédit, 9 pp
- LAFOSSE J (1986) Observations et mesures faites à la résurgence de la Bourne. Rapport inédit
- LEGER B (1984) Présentation du réseau karstique Bourne-Fontaigneux. Rapport inédit
- SOMMERIA L (1986) Comportement des traceurs fluorescents et phénomènes de dispersion; application à l'étude d'aquifères fissurés. Thèse Doctorat Univ Grenoble I
- THEROND R (1973) Recherche sur l'étanchéité des lacs de barrage en pays karstiques. Collection du Centre de recherche et essais de Chatou, Paris, Dunod