

**METHODE DE RÉALISATION D'UN TRACAGE  
APPLICATION AU MASSIF DU GRANIER**

Fabien HOBLEA - Stage Scientifique du CSRRA Granier 1994  
fabien.hoblea@univ-savoie.fr

|  |           |
|--|-----------|
| <b>I - METHODE DE RÉALISATION D'UN TRACAGE</b>   | <b>3</b>  |
| <b>A - PRÉPARATION</b>   | <b>3</b>  |
| 1. Étude géologique et bibliographique   | 3         |
| 2. Recensement des sources (tout autour du massif, de façon exhaustive)  | 3         |
| 3. Contact avec les propriétaires (commune, particuliers...), utilisateurs et administrations concernées                           | 3         |
| 4. Choix et acquisition des traceurs, choix du niveau de surveillance  | 3         |
| 5. Mesures de débits et des paramètres physico-chimiques des eaux aux sources (impératives si l'on veut travailler en quantitatif) | 5         |
| 6. Calcul de la masse à injecter et préparation du ou des traceurs   | 6         |
| 7. Mise en route du dispositif automatique de prélèvement d'eau  | 7         |
| <b>B - INJECTION</b>   | <b>7</b>  |
| 1. Transport du traceur  | 7         |
| 2. L'injection   | 7         |
| <b>C - SURVEILLANCE DE LA RESTITUTION</b>  | <b>7</b>  |
| 1. Présence d'observateurs directs   | 7         |
| 2. Chronique détaillée   | 7         |
| 3. Précautions lors des prélèvements   | 7         |
| <b>D - ANALYSE ET INTERPRETATION DU TRACAGE</b>  | <b>8</b>  |
| 1. Cas d'une surveillance aux fluocapteurs pour de la fluorescéine   | 8         |
| 2. Cas d'une surveillance par prélèvements d'eau   | 8         |
| 3. Intérêt de l'approche quantitative  | 8         |
| 4. Autres analyses   | 8         |
| <b>II - APPLICATION DE LA METHODE AU MASSIF DU GRANIER</b>   | <b>9</b>  |
| <b>A - PREPARATION</b>   | <b>9</b>  |
| 1. Avant le stage  | 9         |
| 2. Etude du contexte géologique et hydrogéologique :   | 9         |
| a. Documentation   | 9         |
| b. Contexte géologique (cf. fig. 1)  | 9         |
| c. Contexte hydrogéologique d'après les travaux antérieurs   | 11        |
| d. Interrogations et hypothèses  | 11        |
| e. Recensement des sources à examiner  | 11        |
| 3. Confection des fluocapteurs, présentation et étalonnage du matériel utilisé   | 12        |
| a. Confection des fluocapteurs (fonction de "secours" ici)   | 12        |
| b. Etalonnage des appareils de mesures physico-chimiques   | 12        |
| c. Présentation du matériel de mesure des débits   | 13        |
| d. Présentation du matériel de surveillance et des méthodes d'analyses   | 13        |
| 4. Recensement des sources sur le terrain, mesures hydrologiques et physico-chimiques :  | 13        |
| a. Mesures physico-chimiques   | 13        |
| b. Mesures de débits   | 13        |
| 5. Détermination de la masse des traceurs à injecter et préparation des doses de colorant  | 17        |
| a. Les traceurs utilisés   | 17        |
| b. Masses injectées  | 18        |
| c. Préparation et conditionnement  | 18        |
| <b>B - INJECTIONS</b>  | <b>18</b> |
| 1. La fluorescéine   | 18        |
| 2. La rhodamine  | 18        |
| 3. Observations nivo-météorologiques   | 19        |
| <b>C - SURVEILLANCE DES SOURCES</b>  | <b>19</b> |
| 1. Chronique météo. et nivologie du 1er juin au 15 août 1994 sur le Granier  | 19        |

*Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier*

|  |           |
|--|-----------|
| 2. Surveillance des paramètres physico-chimiques : cf. tableaux ci-dessous                   | 20        |
| 3. Une coloration qui saute aux yeux !   | 23        |
| <b>D - ANALYSES ET INTERPRETATION</b>  | <b>23</b> |
| 1. Restitution de la fluorescéine  | 23        |
| 2. Restitution de la rhodamine B   | 29        |
| 3. Analyses chimiques en laboratoire   | 30        |
| 4. Interprétation d'ensemble du multitraçage et des mesures associées                        | 31        |
| a. Nature de l'aquifère des sources surveillées  | 31        |
| Insérer figure n°7 - évolution graphique   | 33        |
| Insérer figure n°8 - représentation comparative simplifiée                                   | 34        |
| b. Organisation, modalités et configuration des circulations souterraines                    | 35        |
| c. Récapitulatif et comparatif des traçages sur le Granier                                   | 35        |
| d. Incidences des données du traçage sur la préservation des ressources en eau               | 39        |
| <b>BIBLIOGRAPHIE MISE A LA DISPOSITION DES STAGIAIRES ET REFERENCES CITEES DANS LE TEXTE</b> | <b>40</b> |
| <b>OUVRAGES REGIONAUX</b>  | <b>40</b> |
| <b>OUVRAGES PEDAGOGIQUES</b>   | <b>40</b> |
| <b>ANNEXE : NOTE SUR LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX</b>                           | <b>42</b> |
| <b>I - Principaux paramètres physico-chimiques</b>   | <b>42</b> |
| A - Le pH  | 42        |
| B - La conductivité  | 42        |
| C - La température   | 42        |
| D - Le CO <sub>2</sub> (gaz carbonique) dissous  | 42        |
| E - L'oxygène dissous  | 43        |
| F - La dureté totale ou titre hydrotimétrique ou TH  | 43        |
| G - L'alcalinité : du Titre Alcalimétrique (T.A) au Titre Alcalimétrique Complet (TAC)       | 43        |
| <b>II - Quelques conseils pour des mesures ou des prélèvements sur le terrain</b>            | <b>43</b> |
| A - Précautions lors des mesures et des prélèvements   | 43        |
| B - Précautions pour la bonne conservation des prélèvements                                  | 43        |
| C - Description de l'environnement de la station de mesure ou de prélèvement                 | 44        |
| 1 - Contexte hydromorphologique  | 44        |
| 2 - Contexte hydrologique  | 44        |
| 3 - Contexte météorologique  | 44        |

## **I - METHODE DE RÉALISATION D'UN TRACAGE**

### **A - PRÉPARATION**

#### **1. Étude géologique et bibliographique**

Contexte stratigraphique, lithologique, tectonique, hydrologique (débits,...)  
Consultation des données si traçage(s) antérieur(s). Bien noter les conditions météo-hydrologiques des expériences précédentes et évaluer leur degré de fiabilité (traceur adapté en quantité et qualité, modalités de surveillance satisfaisantes, quel protocole d'analyse etc. ?)

#### **2. Recensement des sources (tout autour du massif, de façon exhaustive)**

Éliminer celles qui ne sont pas karstiques (confrontations avec les données géologiques et physico-chimiques) et celles "géologiquement impossibles" (attention à cette notion

"d'impossibilité géologique" qui est beaucoup plus étroite qu'on pourrait le penser ).

#### **3. Contact avec les propriétaires (commune, particuliers...), utilisateurs et administrations concernées**

Diffusion d'une circulaire d'information, demandes d'autorisation, voire de financements.

#### **4. Choix et acquisition des traceurs, choix du niveau de surveillance**

a) Le tableau n° 1 présente de manière synthétique et comparative les principaux produits chimiques utilisés comme traceurs en hydrogéologie. Les critères de choix sont le degré de toxicité, la couleur souhaitée (si risque d'effrayer les riverains ou consommateurs : le vert fluo. est un peu mieux toléré que le rose framboise !), le niveau de risque d'adsorption (fixation) du colorant par des matériaux argileux tapissant les drains, le coût et l'accessibilité...

Tableau n° 1 : Traceurs artificiels utilisés en hydrologie karstique (d'après MOLINARI J., 1976)

## *Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier*

b) Selon les moyens disponibles et le but poursuivi (apporter la preuve d'une liaison ou connaître les modalités de transfert de l'eau et la configuration de l'aquifère), on peut mettre en œuvre plusieurs niveaux de surveillance :

- **Niveau 1** : simple surveillance visuelle, permanente ou sporadique.

Précautions : choisir un observateur expérimenté qui a déjà assisté à une restitution du traceur employé. Limites et inconvénients : la coloration peut être positive mais invisible à l'œil nu en raison de la faiblesse des concentrations. Il faut donc injecter une masse importante de traceur. Ce mode de surveillance est à proscrire, sauf dans le cas particulier d'une coloration à l'intérieur d'une cavité pour mettre en évidence des liaisons internes sur de courtes distances.

- **Niveau 2** : surveillance visuelle + pose de fluocapteurs aux émergences ou points de passage surveillés. Niveau suffisant si l'on veut simplement prouver une liaison hydrogéologique, à condition de respecter certaines précautions pour que les fluocapteurs jouent pleinement leur rôle et pour éviter de les contaminer et de fausser ainsi le résultat. Il suffit alors de révéler les fluocapteurs, c'est à dire de tremper le charbon actif préalablement étuvé dans une solution d'alcool de potasse qui doit se teinter en vert fluo. si la coloration est positive. Inconvénient : seule la fluorescéine peut être utilisée en cas de surveillance aux fluocapteurs.

- **Niveau 3** : idem que niveau 2 mais les fluocapteurs sont régulièrement renouvelés pour être analysés.

On entre ici dans le domaine de l'analyse quantitative qui nous permet d'obtenir une courbe de restitution du traceur à partir de la détermination au spectrofluorimètre des concentrations en colorant absorbé par chaque fluocapteur. Inconvénient : analyses coûteuses à confier à un laboratoire spécialisé.

- **Niveau 4** : surveillance par échantillonnages d'eau régulièrement espacés.

Outre une information visuelle immédiate toujours possible à ce niveau, on a ici actuellement la meilleure façon de travailler à une exploitation quantitative du traçage. Les spectrofluorimètres modernes ont une sensibilité telle qu'il est désormais préférable de partir d'échantillons d'eau prélevés avec un faible pas de temps de manière à obtenir une courbe de restitution la plus précise possible. L'idéal est

de pouvoir s'affranchir des permanences sur le terrain en utilisant un préleveur automatique programmable portatif et fiable. Par sécurité et pour éviter de tout perdre en cas de panne, il est nécessaire de placer des fluocapteurs "en doublure". Inconvénient : difficultés de se procurer un préleveur automatique, multiplication d'analyses coûteuses. Il est nécessaire de travailler avec des partenaires assurant un soutien logistique et financier.

Il peut être utile de photographier les sources étudiées.

### **5. Mesures de débits et des paramètres physico-chimiques des eaux aux sources (impératives si l'on veut travailler en quantitatif)**

a) Il existe différentes méthodes pas forcément lourdes pour mesurer (approximativement) le débit des sources, citons celles principalement utilisables par des spéléos en terrain accidenté ou reculé (cf. Spelunca n° 52 p. 33-37) :

- **Le seau à capacité jaugée** : pour les petits débits (jusqu'à 10 ou 20 l /s), notamment les griffons (source "éclatée" en plusieurs points d'émergence, sorties d'eau secondaires à proximité d'un émissaire principal, petit trop-plein de captage...).

- **La technique du flotteur** : donne des résultats peu précis, mais ne nécessite pas de matériel spécifique autre qu'un chronomètre, le flotteur pouvant être confectionné avec les moyens du bord.

- **Méthode du seuil - déversoir** : naturel ou artificiel, en place ou édifié pour la circonstance.

- **Les mesures au (micro-)moulinet** : méthode la plus rigoureuse pour les cours d'eau inscrits dans un lit bien défini. Il faut se procurer un (micro-) moulinet à moindres frais (compter 7000 Frs. à l'achat pour le modèle de base).

- **Jaugeage chimique** : pour les cours d'eau tumultueux dont le lit est encombré et trop irrégulier. Un colorant non fluorescent (par exemple colorant alimentaire type tartrazine) est injecté en un point et on examine par prélèvements à l'aval l'évolution de la concentration du produit (analyses colorimétriques). Cette méthode au protocole rigoureux relativement complexe est assez précise mais nécessite la collaboration d'un laboratoire spécialisé (pour la colorimétrie).

Notons que certaines sources, notamment si elles sont captées, font ou ont fait l'objet d'un

## Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier

suivi hydrologique dont les données sont disponibles en mairie (service des eaux) et/ou auprès de la compagnie qui exploite le réseau d'eau potable si ce dernier est en affermage. Ces données peuvent être utilisées à titre comparatif mais ne dispensent pas de mesures lors du traçage.

b) Il est utile de mesurer sur place pour chaque source : température, PH, conductivité et/ou dureté et alcalinité.

On peut aussi prendre des échantillons d'eau pour des analyses (payantes) plus poussées et précises confiés à des laboratoires spécialisés.

### 6. Calcul de la masse à injecter et préparation du ou des traceurs

La masse de traceur à injecter se calcule en fonction des volumes d'eau (cf. mesures de débits) et de la distance entre le point d'injection et les exutoires supposés, et en fonction du résultat que l'on veut obtenir (restitution visible à l'œil nu ou pas, sans danger pour tel type de faune particulier etc.). Il existe une méthode de calcul, permettant d'obtenir la masse de traceur restituée à l'émergence si l'on connaît le débit de la source (Q), la concentration du colorant désirée (C : prendre par exemple le seuil limite de détection à l'œil nu soit 0,1 g/m<sup>3</sup> c'est à dire 100 micro-grammes/l ou encore 0,1 mg/l d'après MATHEY, 1971). Il faut également avoir une idée de la valeur locale de la distribution des temps de séjour du traceur dans les drains (la "DTS", exprimée en %/s), ce qui est beaucoup moins évident, puisque c'est le plus souvent un des paramètres que l'on cherche à obtenir par le traçage... La formule de calcul est la suivante : la masse de traceur restituée M (la masse de traceur à injecter sera prise légèrement plus grande par sécurité pour tenir compte des éventuelles rétentions par le milieu) sera égale au produit du débit Q de la source par la concentration désirée C, le tout divisé par la valeur moyenne de la DTS :

$$M = (Q \cdot C) / DTS$$

Dans la plupart des cas, cette formule n'est pas utilisable, faute d'avoir toutes les données nécessaires. Elle peut alors avantageusement être remplacée par une formule adaptée qui est la suivante (in GAGNAGE et BRECHON, 1993) :

$$M = Q \cdot C \cdot (3600 \cdot D)$$

où D est la durée souhaitée de la restitution (en heures). Avec Q et C en l/s et g/l ou Q et C en m<sup>3</sup>/s et g/m<sup>3</sup>.

On peut également recourir à la formule de Ravier - Hours - Schneepli (in MATHEY, 1971), qui se heurte cependant au même problème. Mais les estimations pour les données inconnues sont plus facilement réalisables :

$$M = 0,5 \cdot (Q \cdot L/v) + 0,02 V$$

où L = distance en m à vol d'oiseau entre points d'injection et de restitution, v = vitesse du courant souterrain estimée en m/jour, V = volume des eaux souterraines en milliers de m<sup>3</sup>.

On peut plus simplement appliquer un principe empirique et commode, qui fait généralement ses preuves si on veut une restitution visible à l'œil nu ou au moins par analyse de fluocapteurs. Il s'agit de la règle du "1 pour 1" : 1 kg de traceur pour 1 km de parcours souterrain à vol d'oiseau. (additifs R. LAURENT, 1989 : sur MATHEY, 1971). Valeur à moduler bien sûr en fonction des débits et des réserves potentielles.

La préparation du colorant comporte schématiquement 2 phases :

- ouverture du récipient d'origine, prélèvement et pesage de la quantité désirée
- dilution du colorant si ce dernier est en poudre (cas le plus fréquent) et conditionnement dans des bidons étanches (si lieu de dilution et point d'injection sont différents).

Durant toutes ces opérations, il faut prendre de réelles précautions pour éviter de badigeonner les murs du local, les parois de la grotte ou même... son voisin, étant donné que la plupart des colorants en poudre sont très volatiles et ont une fâcheuse tendance à aller prendre l'air dès l'ouverture de la boîte. En poudre ou liquéfié, ces produits sont également particulièrement tenaces et il est bon de sacrifier une tenue de type poncho ou ciré et bottes si l'on pratique couramment. Pour la même raison, ceux qui manipulent les traceurs durant l'une ou l'autre des deux phases doivent être interdits de séjour auprès des sources surveillées, afin de ne pas contaminer les capteurs ou les échantillons (1 micro-gramme sur les bottes ou sur les mains peut suffire).

## **7. Mise en route du dispositif automatique de prélèvement d'eau**

Si l'on utilise un préleveur automatique, il faut en théorie l'activer avant l'injection. Dans la pratique et selon le contexte, cela peut être fait juste après.

## **B - INJECTION**

### **1. Transport du traceur**

Qu'il soit acheminé en poudre ou sous forme liquide, il doit être contenu dans un bidon étanche, doublé d'un sac en plastique dans le 1<sup>er</sup> cas.

### **2. L'injection**

Elle nécessite beaucoup d'eau. Pas de problème si elle se fait dans un cours d'eau de surface (perte) ou souterrain ou encore un lac ou un siphon ; en revanche, il faut prévoir une alimentation artificielle pour obtenir un effet de chasse dans le cas d'un traçage en site sec ou insuffisamment drainé (doline, perte temporaire asséchée, ruisseau d'étiage, cascades d'infiltration fissurale...). Il n'est pas rare de voir les pompiers et leur citerne mis à contribution ! Attention dans ce cas aux écarts de caractères physico-chimiques entre les eaux du récepteur et celles de la "chasse". L'idéal est de pouvoir opérer en saison hydrologiquement favorable (fonte des neiges, précipitations abondantes...). Un cas particulier est celui de l'injection par l'intermédiaire d'un névé (en surface), d'une névière ou d'une glacière : bien s'assurer que le point d'injection correspond à une partie de l'appareil neigeux ou glaciaire destinée à fondre dans un laps de temps compatible avec la durée de la surveillance !

*N.B. : un traçage donnera parfois pour un même site et avec les mêmes doses de colorant des résultats différents selon qu'il est effectué en hautes ou basses eaux. Bien noter et tenir compte des conditions hydro-météorologiques et de leur évolution durant toute l'expérience depuis les premières mesures jusqu'au dernier prélèvement en passant bien sûr par le moment de l'injection.*

Juste avant l'injection :

- estimer ou mesurer le débit récepteur
- mettre en place si possible un dispositif de mesure de la vitesse de

propagation du colorant dans les premiers décimètres ou hectomètres de son parcours (mesure de la distance, grâce à un décimètre ou une corde, et chronométrage du temps de parcours de cette distance par le front de coloration)

Le déversement du colorant doit se faire rapidement sans pour autant éclabousser hors du chenal. Il doit surtout se faire en une seule fois et non pas fractionné. Le bidon et autres ustensiles souillés peuvent ensuite être rincés au maximum avec l'eau du cours d'eau récepteur (et non pas avec celle d'un cours d'eau voisin, qui risquerait de fausser les résultats à la sortie). Il faut impérativement noter la date et l'heure précise de l'injection : ce sera l'heure H de référence pour l'interprétation du traçage.

Prendre des photos.

## **C - SURVEILLANCE DE LA RESTITUTION**

### **1. Présence d'observateurs directs**

Quel que soit le niveau de surveillance adopté, il est nécessaire d'assurer une présence physique sur le terrain pour effectuer des prélèvements d'eau, remplacer des fluocapteurs ou s'assurer qu'ils n'ont pas été emportés ou qu'ils ne sont pas mis hors d'eau par une diminution du débit. Un préleveur automatique doit être surveillé (risque de vol, de vandalisme ou de panne) et les flacons régulièrement renouvelés (en fonction de l'intervalle de temps choisi entre deux prélèvements).

### **2. Chronique détaillée**

Bien tenir une chronique détaillée des opérations et un référencement clair des échantillons. Toujours noter les paramètres météo. et hydrologiques au moment des visites ou lorsque surviennent des phénomènes marquants (orage, redoux, grand froid...)

### **3. Précautions lors des prélèvements**

- Tout échantillon ou fluocapteur doit être stocké à l'abri de l'air, de la lumière et de la chaleur.
- Lors des prélèvements ou des manipulations ultérieures, prendre toute précaution contre les contaminations d'échantillons par d'autres

échantillons (via les mains en général, parfois les bottes lorsqu'elles ont pataugé dans une source colorée avant de piétiner les fluocapteurs de la source voisine...).

## **D - ANALYSE ET INTERPRETATION DU TRACAGE**

### **1. Cas d'une surveillance aux fluocapteurs pour de la fluorescéine**

L'analyse qualitative des fluocapteurs peut être faite par tout spéléologue pour peu qu'il soit en mesure de se procurer de l'alcool éthylique très pur (à 98°, non dénaturé, donc transparent : il n'est pas en vente libre) et de la potasse caustique (KOH) en rotules (pastilles). Il suffit de mélanger les deux produits à raison de 9 gr. de KOH en rotules pour 100 cc d'alcool. En remplir des tubes à essai dans lesquels on fera tremper les grains de charbons actifs préalablement sortis de leur habitacle et étuvés ou séchés (à l'ombre) pendant 4 heures. Au bout de quelques minutes, la solution d'alcool de potasse doit se teinter en vert, les granulés donnant l'impression de "baver". Une stimulation à la lampe à ultra-violets peut favoriser et accélérer le phénomène. Si rien ne se produit de visible à l'œil nu, il faut analyser la solution au fluorimètre avant de conclure à un résultat négatif.

### **2. Cas d'une surveillance par prélèvements d'eau**

Ce mode de surveillance est souvent destiné à une analyse quantitative de la restitution du colorant à l'émergence (temps mini, maxi. et moyen de transit, vitesses de pointe et moyenne, évolution de la concentration de traceur avec le temps, masse de traceur restituée, distribution des temps de séjour etc...). De ce fait, il faut confier l'analyse des échantillons à un laboratoire compétent et bien équipé. On peut faire appel soit à un laboratoire d'hydrogéologie universitaire, soit à un laboratoire de chimie rattaché aux domaines de la médecine ou de la pharmacie, voire du génie civil. Le tout est qu'il soit équipé d'un bon spectrofluorimètre et que ses tarifs soient en accord avec les moyens dont on dispose (compter en 1994 - 95 environ 50 francs par échantillon avec tarif dégressif pour analyses en nombre).

### **3. Intérêt de l'approche quantitative**

L'interprétation des données dérivées d'une analyse quantitative du traçage permet non seulement d'établir l'existence d'une liaison entre le point d'injection et telle ou telle source, mais aussi d'avoir des renseignements sur la configuration de l'aquifère : présence d'une zone noyée, d'affluents en cours de route, drains bien ouverts, colmatés, fissurés etc... Autant d'éléments d'autant plus précieux que l'on veut éventuellement se servir du traçage comme indicateur de la sensibilité du karst à la pollution.

### **4. Autres analyses**

En parallèle, les échantillons d'eau prélevés avant coloration peuvent être confiés à un laboratoire équipé pour les analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux.



## **II - APPLICATION DE LA METHODE AU MASSIF DU GRANIER**

### **A - PREPARATION**

#### **1. Avant le stage**

a) Information, demande d'autorisation et de collaboration auprès de la commune de Chapareillan (auprès du Maire, Monsieur EHRARD, et du Secrétaire Général, Monsieur MANIEZ).

b) Information et demande de collaboration auprès de :

- l'ONF, antenne de Chapareillan (Monsieur TANCHON)) : pour la circulation sur la piste forestière menant aux sources du versant est.

- La DDAF Isère (Messieurs BIJU-DUVAL et DE BENEDETTI), le SEMA (Service de l'Eau et des Milieux Aquatiques) Rhône-Alpes (Monsieur DE BELLEGARDE), l'Université de Savoie (Gérard NICOUD), l'Université Lyon 1 (Roger LAURENT), l'Université Lyon 2 (Robert PETIOT), l'Université d'Orléans (Michel LEPILLER) pour information et demande de collaboration technique (prêt de matériel, analyses...)

c) Dégagement et équipement de la zone d'entrée du Trou Bib.

Le sommet du P 18 à la base de la glacière d'entrée est bien bouché par près de deux mètres de neige (le 31 mai). Il faut creuser pendant une heure, en se repérant aux spits dans la paroi et en veillant à ne pas passer au travers du pont de neige que l'on est en train de perforer...

**Samedi 11 juin en matinée**

#### **2. Etude du contexte géologique et hydrogéologique :**

##### **a. Documentation**

Parmi les nombreux documents mis à la disposition des stagiaires, ont été utilisés pour étudier les caractères de la zone les références indiquées dans la rubrique "ouvrages régionaux" de la bibliographie ainsi que des cartes Top 25 et des photos aériennes de l'IGN, et une carte géologique du BRGM au 1/50 000 (feuille de Montmélian).

#### **b. Contexte géologique (cf. fig. 1)**

##### **LE GRANIER**

(d'après le C/R de Marc Cathiard)

La figure 1 montre que les roches sédimentaires calcaires et marneuses formant la montagne sont affectées d'une seule inclinaison : on dit que le pendage (inclinaison des couches rocheuses) est monoclinal. Pendage de 10° vers l'est en moyenne. Il s'agit d'un "volet synclinal perché" au-dessus des vallées creusées dans les anticlinaux. Nous sommes en présence d'une forme évoluée typique du "relief plissé inverse".

Fig. 1 structure géologique du Granier

## *Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier*

Le plateau sommital est développé sur les calcaires urgoniens, épais d'environ 200 m et fortement karstifiés en raison de la compacité et de la pureté des bancs principaux et malgré la présence de quelques intercalations marno-calcaires comme la couche à orbitolines (n 5o), mince niveau marno-calcaire plus ou moins imperméable (selon l'intensité de la fracturation) intercalé entre les deux masses de calcaires compacts de l'urgonien inférieur et supérieur (ce dernier étant largement érodé et ne subsistant que par plaques sur la montagne) Ce niveau marneux explique l'existence et la localisation des petites sources sur le plateau et notamment de Fontaine Neuve (1700 m).

### c. Contexte hydrogéologique d'après les travaux antérieurs

La coloration de 1979 est ressortie à la source des ÉPARRES, dans l'axe d'un promontoire où l'on se situe dans la charnière synclinale, non loin de la faille du Pas de la Porte.

D'autre part la source de Fontaine Fraisière est présentée comme le second exutoire du massif, drainant la partie nord au-delà de la faille du Pas de la Porte...

### d. Interrogations et hypothèses

Habituellement, les eaux d'infiltration traversent l'étage Urganien et ressortent à sa base, au contact des marnes imperméables de l'Hauterivien). La source du Granier étant dans le Valanginien stratigraphiquement sous l'Hauterivien, on pourrait penser que l'eau ressortant à la base de l'urgonien quelque part sur le versant Est s'infiltré dans le tablier d'éboulis qui l'occulte, puis se perd dans les calcaires valanginiens et ressort plus bas aux Eparres.

Mais on observe d'autre part de grandes salles de soutirage dans l'Hauterivien. C'est la preuve d'une circulation dans cet étage. Alors pourquoi ne pas imaginer que l'eau des Eparres franchit de manière souterraine l'Hauterivien à la faveur de la fracturation et passe ainsi dans le Valanginien à la base duquel elle ressort aux Eparres pour s'écouler dans un talweg torrentiel. Ce dernier pourrait de plus présenter des phénomènes de perte lors de sa traversée dans le calcaire Tithonique qui pourrait ainsi drainer les eaux vers le nord et la Savoie jusqu'au lac de Saint André, comme le soupçonne l'hydrogéologue de l'Université de Savoie Gérard Nicoud.

### e. Recensement des sources à examiner

Toutes sont situées sur la commune de Chapareillan (38).

Les sources et torrents finalement retenus sont :

#### \* Au nord des Eparres

→ **Le torrent issu du Ravin du Diable** (angle oriental de la face Nord du Granier) et passant par la cabane forestière au départ de la piste forestière menant vers le Pas de la Porte (surveillance au pont à côté de la cabane forestière, altitude 850 m).

→ **Pisse-Brun** : petite arrivée d'eau captée dans un rondin évidé pour désaltérer les randonneurs du sentier du Pas de la Porte à 1400 m d'altitude.

→ **Source du Pas de la Porte** : filet d'eau émergeant sous un énorme bloc d'éboulis au bout de la piste carrossable (4X4) menant sous le Pas de la Porte (altitude : 1350 m).

→ **Fontaine Fraisière** : source indiquée sur la carte IGN, au bord d'une extension de la piste forestière, à 1200 m d'altitude en contre-haut d'un mur de soutènement en pierres sèches duquel dévale une petite cascadelte issue de la source. Cette dernière, donnée comme l'émergence du compartiment nord du Granier, a toujours présenté un faible débit de l'ordre du l/s durant toute la période d'observation. Elle sourd à travers des colluvions sans qu'aucun affleurement en place soit visible à proximité. Elle devait être surveillé au moyen d'un préleveur automatique aimablement prêté par le SEMA mais cet échantillonneur, de type carrousel, s'est révélé défectueux au moment du prêt...

→ **"Source des Câbles"** : il s'agit d'une appellation de circonstance pour désigner une petite émergence sans nom qui jaillit vers 1220 m d'altitude d'une fracture verticale au pied d'un escarpement de calcaires valanginiens 400 m au sud de Fontaine Fraisière, 30 mètres en contrebas du sentier du tour du Granier aménagé de façon caractéristique par des câbles pour sécuriser le passage en traversée au sommet de cet escarpement.

→ **Source St-Martin** : ancien captage aujourd'hui inutilisé, avec bâti en pierres taillées. Cot altimétrique : 285 m. Emergence au niveau d'éboulis peu épais sur les calcaires lités tithoniques soupçonnés de drainer des eaux provenant de pertes du ruisseau des Eparres. (Hypothèse et surveillance : G. NICLOUD, Université de Savoie).

→ **Captage de Verdun** (commune de Chapareillan en Isère, mais utilisation par les

## *Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier*

commune d'Aprémont et Les Marches, Savoie) : émergence karstique des calcaires berriasiens plongeant vers le nord. Altitude : 365 m. Surveillée pour les mêmes raisons et selon les mêmes modalités que la source St Martin.

→ **4 petits torrents** recoupant le chemin entre la source des Eparres et le carrefour avec la piste forestière du Pas de la Porte, entre 990 m et 1020 m d'altitude (appelés C.E. (Chemin Eparres) 1 à 4).

\* Source des Eparres (970 m) : identifiée comme la principale émergence du Granier par Bozonnat en 1980, elle a fait l'objet des relevés les plus précis et d'une surveillance au préleveur automatique (préleveur du laboratoire d'hydrogéologie de l'Université d'Orléans). Cette grosse source est partiellement captée pour l'alimentation en eau de la commune de Chapareillan. Un ouvrage de maçonnerie en forme de tunnel d'accès défendu par une grille protège le captage non seulement de l'éventuelle malveillance des randonneurs passant sur le chemin au niveau de la source, mais aussi et surtout de l'instabilité du versant caillouteux et argileux qui présente des phénomènes de glissements juste au-dessus. Ces dépôts de pente recouvrent finement l'escarpement de calcaires valanginiens dans lesquels circule l'eau qui arrive aux Eparres.

\* Au sud des Eparres

→ **Source de la Colonne** : petite source pétifiante au bord du sentier menant de Bellecombe au Cernon vers 820 m d'altitude (à mesurer et surveiller par acquis de conscience...). Sortie dans des placages morainiques sur versant à 25° d'inclinaison. Dépôts de tufs et formation de petits gours.

→ **Fontaine de Rochereau** : la faiblesse du débit de cette sortie d'eau indiquée sur la carte IGN à 1300 mètres d'altitude nous a fait renoncer à sa surveillance rapprochée (un fluocapteur laissé simplement en veille). 2 petits griffons sortent de terrain marno-calcaires (hauterivien ?) juste au-dessus d'un tronçon de chemin emporté par un phénomène de solifluxion lié à la présence de ce ruissellement.

→ **Émergence du Cernon** (1160 m) : il s'agit de l'exutoire bien connu du massif de l'Alpe-Alpette, mais il existe une infime chance de communication entre le Granier et l'Alpette via la fracturation, d'où une surveillance que nous pensions en théorie superflue puisque l'injection ne se faisait pas à proximité de la faille de l'Alpette. Mais sait-on jamais...

### **3. Confection des fluocapteurs, présentation et étalonnage du matériel utilisé**

#### a. Confection des fluocapteurs (fonction de "secours" ici)

La substance de base est du charbon actif végétal à pores nettoyés en granulés de 3 mm de diamètre (marque Prolabo©). Des doses de 10 g ont été enserrées dans des cylindres souples réalisés à partir de rideau pare-soleil d'automobile (toile plastifiée noire à petits trous) fermés par des agrafes. Il faut veiller à ce qu'il n'y ait pas trop de jeu et de frottements entre les grains. Les petits sachets ainsi obtenus sont munis d'attaches en fil de pêche et de lest sous forme de gros écrous d'acier. Habituellement, c'est un filet plastifié à mailles inférieures à 3 millimètres qui sert à la confection de ces sachets. Nous avons voulu innover pour tester un autre matériau.

#### b. Etalonnage des appareils de mesures physico-chimiques

Ces appareils ont été prêtés par le Comité Départemental de Spéléologie de la Savoie qui en a confié la responsabilité à sa commission scientifique (F. Hobléa).

\* Température : thermomètres électroniques (modèles Quick étanche©, Ebsero© et Quick stylo©) : réglage et synchronisation des divers modèles. Les Quick stylos sont les moins précis (compter 0,5 °C de marge d'erreur avec dérive rapide après réglage).

\* Conductimétrie : conductimètres électroniques (modèles Hanna 8733© et stylo conductivité TDSscan 3©). Etalonnage par solution tampon de 1413 mS également au moyen d'un petit tournevis. Le stylo conductivité est trop peu précis pour des données utilisables en géochimie. Il peut simplement sur le terrain permettre des comparaisons d'une source à l'autre et permettre de reconnaître les sources karstiques des autres.

\* pH : pH mètre électronique (modèle PICCOLO - Hanna©). Etalonnage en deux points au moyen de solutions tampon de PH 7,01 et 4,01 : tremper l'électrode dans la solution tampon 7,01, lire la valeur affichée et tourner la vis correspondante à l'aide du mini-tournevis fourni avec l'appareil jusqu'à ce que le cadran affiche la valeur de la solution tampon. Même opération avec la solution à 4,01 PH. Bien

## *Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier*

penser à réhydrater l'électrode avant mise en service.

### c. Présentation du matériel de mesure des débits

- \* Seuil régulier (maçonnerie en place à la sortie du captage des Eparres),
- \* Micro-moulinet (prêté par le Laboratoire Rhodanien de Géomorphologie, Université Lyon 2 : R. Petiot et F. Hobléa).
- \* Flotteurs (morceau de bois et bouteille plastique légèrement remplie)
- \* Chronomètres : montres personnelles et chronomètre de poing (Lab. Rhodanien de Géomorphologie)
- \* Seaux à capacité jaugée par graduation (5 litres et 50 litres - fournis par le laboratoire Rhodanien de Géomorphologie).

### d. Présentation du matériel de surveillance et des méthodes d'analyses

- \* Préleveurs automatiques : modèle de terrain mis au point par Michel Lepiller et le Laboratoire d'Hydrogéologie de l'Université d'Orléans, bien adapté aux terrains karstiques de montagne et à une utilisation par des non spécialistes, grâce à ses faibles poids et encombrement et à sa simplicité de mise en œuvre.  
(Le SEMA avait également mis à notre disposition un préleveur de type carrousel, plus encombrant et plus lourd, pour surveiller une seconde source, mais il a refusé de fonctionner lors des essais réalisés à la DDAF de l'Isère qui venait de l'utiliser au moment où nous devions le récupérer à la veille du stage et nous n'avions pu du coup le récupérer)
- \* Spectrofluorimètre pour les analyses d'échantillons d'eau : modèle Hitachi F-2000© du laboratoire d'hydrogéologie de l'Université d'Orléans, obligeamment mis à notre disposition par Michel Lepiller.
- \* Electrophorèse capillaire pour les analyses hydrochimiques (pratiquées par M. Lepiller)
- \* Dosages complexométriques pour la détermination des duretés en laboratoire (effectués par F. Hobléa au laboratoire d'Hydrogéologie de l'Université d'Orléans).

**SAMEDI 11 JUIN APRES-MIDI**

## **4. Recensement des sources sur le terrain, mesures hydrologiques et physico-chimiques :**

### a. Mesures physico-chimiques

Nous ne reviendrons pas sur la manière de mesurer températures, conductivité et pH si ce n'est pour insister sur des points de détail importants (les résultats des mesures sont intégrés aux tableaux des données de suivi des sources : cf. III infra) :

\* Lorsqu'on dispose de plusieurs appareils pour le même type de mesure, bien relever la référence de l'appareil correspondant à la valeur notée de façon à pouvoir apprécier le degré de fiabilité de la mesure et de procéder à d'éventuels corrections ou ajustements. Par exemple pour la conductivité, nous avons noté si la mesure relevée est réalisée avec le stylo TDSscan 3© ou avec le boîtier Hi 8733©, ce dernier étant plus fiable et plus précis. On s'est ainsi aperçu que les valeurs données par le stylo étaient souvent inférieure de 30 à 60 mS par rapport au Hi 8733©, notamment le 13 et 14/06. Il en a été tenu compte dans les tableaux de synthèse des résultats dont les chiffres ont été harmonisés.

\* Au moment de la mesure, bien veiller à ne pas perturber le milieu du site de mesure en mettant notamment des sédiments en suspension qui peuvent fausser la mesure du pH et de la conductivité.

### b. Mesures de débits

Nous développons en revanche ici les méthodes de mesures de débits mises en œuvre le samedi 11 juin après-midi pour Fontaine Fraisière, les 4 talwegs drainés sur le Chemin des Eparres et la source des Eparres :

\* Fontaine Fraisière et les 4 ruisseaux sur le chemin des Eparres ont été mesurés au seau à capacité jaugée en raison de la faiblesse de leur débit. Il s'agit de mesurer le temps de remplissage d'un récipient de contenance connue et graduée (ici des seaux de 5 l et 50 l). Une montre avec chronomètre suffit à mesurer le temps de remplissage. Il vaut mieux s'y prendre à deux opérateurs. Les résultats apparaissent aussi dans les tableaux du III (infra).

### Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier

\* La source des Eparres nous a permis de tester simultanément plusieurs méthodes de mesures de débit :

#### - Méthode du seuil déversant

la présence d'un tel seuil à la sortie du tunnel maçonné nous permet son application, avec cependant une restriction de taille : la prise d'eau du captage étant située juste avant le seuil, on a par cette méthode une mesure partielle du débit total, correspondant au trop-plein non capté et envoyé dans le talweg du ruisseau des Eparres.

La formule de base de la méthode est :

$$Q = m.l.H.\sqrt{2gH}$$

soit Q (le débit) est égal au produit du coefficient de débit du seuil (m) par la largeur du seuil (l) par la hauteur d'eau sur le seuil (H) par la racine carrée de deux fois (2) la force d'accélération de la pesanteur (g) par la charge sur le seuil (H).

Comme en pratique on prend systématiquement  $m=0,4$  et  $g=10$ , la formule équivaut à :

$$Q = 1,8.l.H.\sqrt{H}$$

Ici :  $l = 1,12$  m ;  $H = 0,07$  m (soit  $\sqrt{H} = 0,26$ ), donc :

$$Q = 1,8 \times 1,12 \times 0,07 \times 0,26 = 0,037 \text{ m}^3/\text{s} = 37 \text{ l/s (après captage)}$$

#### - Méthode du micromoulinet

C'est la méthode la moins simple à manier de bout en bout mais la plus précise. Elle ne permet pas un résultat immédiat sur le terrain car elle nécessite un traitement à l'aide de graphiques à réaliser sur papier millimétré.

Il s'agit d'utiliser la formule  $Q = V.S$  (le débit est égal au produit de la superficie de la section mouillée où s'effectue la mesure par la vitesse moyenne du courant au niveau de cette section dans le bief).

L'usage du micromoulinet permet simplement d'avoir une idée précise de la vitesse moyenne en prenant plusieurs mesures dans la largeur et la profondeur d'une même section mouillée

Pour la source des Eparres, la section mesurée se situe au milieu du tunnel de sortie de l'eau à un endroit où la largeur du bief est de 1,1 m et le tirant d'eau de 0,15 m avec des berges maçonnées verticales et un fond rectiligne

horizontal, ce qui donne une section mouillée  $S = 0,165 \text{ m}^2$ .

6 points de mesures ont été choisis dans cette section :

- 1 au milieu de la largeur du bief à proximité du fond (prof. = 0,13 m)

- 2 au même endroit mais à 0,05 m de profondeur.

Les points 1 et 2 sont ainsi alignés sur une même verticale.

Même principe pour deux autres couples de points :

- 3 et 4 à 0,3 m de la rive gauche, 3 à 0,13 m de prof. ; 4 à 0,1 m de prof.

- 5 et 6 à 0,3 m de la rive droite, 5 à 0,13 m de prof. ; 4 à 0,1 m de prof.

Il faut représenter graphiquement ces données en dessinant à l'échelle sur papier millimétré la section mouillée avec les points de mesure localisés. (fig. 2)

Il faut ensuite placer l'hélice du micromoulinet successivement en chacun de ces 6 points et effectuer plusieurs séries de mesures du nombre de tour réalisé par l'hélice (donné en chiffres sur un cadran) en 1 mn. On prend la valeur moyenne n pour chacun des points et on la divise par 60 pour obtenir une valeur par seconde. Aux Eparres ce jour là nous avons obtenu :

$$n1 = 430 \quad n1/60 = 7,2$$

$$n2 = 220 \quad n2/60 = 3,7$$

$$n3 = 40 \quad n3/60 = 0,7$$

$$n4 = 38 \quad n4/60 = 0,63$$

$$n5 = 170 \quad n5/60 = 2,8$$

$$n6 = 242 \quad n6/60 = 4$$

Pour convertir le nombre de tours par seconde en vitesse instantanée du courant au point donné, il suffit d'appliquer la formule propre au micromoulinet et données par le constructeur ici :

$$V = 0,0028 + (0,2273 n)$$

donc :

$$V1 = 0,0028 + (0,2273 \times 7,2) = 1,64 \text{ m/s}$$

$$V2 = 0,84 \text{ m/s}$$

$$V3 = 0,16 \text{ m/s}$$

$$V4 = 0,14 \text{ m/s}$$

$$V5 = 0,64 \text{ m/s}$$

$$V6 = 0,912 \text{ m/s}$$

On pourrait considérer que la moyenne de ces 6 valeurs ponctuelles pourrait donner un bon

### *Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier*

aperçu de la vitesse moyenne réelle du courant au passage de cette section, auquel cas le débit serait :

$$Q = ((V1 + V2 + \dots + V6) / 6) \times 0,165 = 0,72 \times 0,165 = 0,119 \text{ m}^3/\text{s} = 119 \text{ l/s}$$

ce qui semble coller avec la mesure au flotteur. C'est cependant aller un peu vite en besogne...

Il est préférable d'affiner le calcul en construisant les paraboles de vitesse pour chaque verticale mesurée (trois ici), puis en traçant la courbe des débits surfaciques (dits aussi unitaires) sur le même graphique que celui représentant la section mouillée (fig. 2), le tout selon la procédure suivante :

- La parabole de vitesse s'obtient en positionnant tous les points d'une même verticale sur un repère orthonormé représentant horizontalement la vitesse en m/s et verticalement *SOUS* l'axe horizontal la profondeur du bief, puis en joignant ces points pour former une courbe qui dans la plupart des cas est d'allure parabolique (fig. 3, P1). Des remous interférant peuvent perturber cette allure générale (fig. 3, P2)

- Il est alors possible de déterminer graphiquement le débit surfacique pour chaque verticale à partir de chaque parabole de vitesse : il faut pour cela mesurer l'aire comprise entre les axes horizontal et vertical et la courbe parabolique. La valeur de cette aire est celle du débit unitaire (en m<sup>2</sup>/s).

- Il reste à reporter chacune des valeurs de débit unitaire obtenue sur le graphique représentant la section mouillée, en se positionnant cette fois **AU-DESSUS** de l'axe horizontal représentant la surface de l'eau (fig. 2).

Une fois ces opérations réalisées et la courbe des débits surfaciques construite, on obtient la valeur du débit du cours d'eau en mesurant l'aire englobée entre l'axe horizontal et la courbe des débits surfaciques.

Sur notre courbe des Eparres, sachant qu'1 cm<sup>2</sup> représente 0,01 m<sup>3</sup>/s et que l'aire qui nous intéresse est mesurée à 8,25 cm<sup>2</sup>, on en déduit que le débit des Eparres le 11/06/94 était de 0,083 m<sup>3</sup>/s soit 83 l/s.

On constate que si l'on s'était contenté d'une grossière estimation de la vitesse moyenne du courant à partir des 6 valeurs mesurées, on aurait largement surestimé le débit.

Avec un débit de 83 l/s, la vitesse moyenne du courant est de  $V_m = Q/S$

$$V_m = 0,83 / 0,165 = 0,5 \text{ m/s}$$

Par rapport à notre mesure au flotteur (voir infra), où la vitesse (ponctuelle) de surface était de 1,1 m/s, on obtient un coefficient de pondération  $k = 0,5 / 1,1 = 0,45$ .

*Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier*

Fig. 2 et 3 Section mouillée



## Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier

### - Mesure au flotteur

il s'agit de mesurer la vitesse de déplacement  $V$  d'un objet flottant dans l'eau et de mesurer la section mouillée  $S$  du cours d'eau (qui doit être homogène sur le parcours de mesure de vitesse). Une fois en possession de ces deux données, il suffit d'appliquer la formule :

$$Q = k.V.S$$

où  $Q$  = débit et  $k$  = coefficient de pondération dépendant du type d'écoulement et du type de lit du cours d'eau (la vitesse du courant est variable selon la profondeur et le flotteur va en surface plus vite que la vitesse moyenne du courant, d'où la nécessité d'un coefficient de pondération  $k$ ).

$k = V$  moyenne du courant /  $V$  moyenne du courant en surface, le standard étant donné à 0,8 (BROUQUISSE F., 1993).

Le tronçon mesuré est ici le tunnel maçonné qui canalise l'émergence. La distance mesurée est de 4,2 m. La largeur moyenne du chenal est de 1,1 m.

Le flotteur est un bâton en bois cylindrique d'une vingtaine de cm de longueur.

Une mesure au flotteur a été réalisée le samedi 11 /06 la veille de l'injection et une autre le 17/06 à la fin de la période de restitution de la fluorescéine (c'est une mesure au micro-moulinet qui était prévue initialement le 17 juin, mais l'appareil s'est révélé défectueux...)

Le 11 juin la vitesse mesurée en surface est de 1,1 m/s. Le tirant d'eau est de 0,15 m, soit  $S = 0,165 \text{ m}^2$

Le 17 juin, la durée moyenne de parcours sur 6 mesures est de 3' 21" soit une vitesse apparente en surface de 1,3 m/s. Le tirant d'eau est alors de 0,1 m. Soit  $S = 0,11 \text{ m}^2$ .

Le coefficient de pondération est délicat à choisir : le lit est assez irrégulier malgré un cadre en ciment et surtout, l'écoulement est turbulent avec des flots interférents en raison de l'étroitesse du conduit.

Si l'on retient a valeur standard de 0,8, on obtient :

- le 11/06 :  $Q = 0,8 \times 1,1 \times 0,165 = 0,145 \text{ m}^3/\text{s} = 145 \text{ l/s}$ , valeur nettement supérieure à celle obtenue au micro-moulinet.

- le 17/06 :  $Q = 0,8 \times 1,3 \times 0,11 = 0,114 \text{ m}^3/\text{s} = 114 \text{ l/s}$ , valeur qui est en accord avec la diminution de débit constatée de visu mais qui reste trop élevée par rapport au débit initial mesuré au moulinet.

Si l'on retient une valeur de  $k = 0,6$  correspondant à celle des chenaux torrentiels, on obtient :

- le 11 /06 :  $Q = 0,6 \times 1,1 \times 0,165 = 0,109 \text{ m}^3/\text{s} = 109 \text{ l/s}$ , valeur encore sensiblement plus élevée qu'avec le moulinet.

- le 17 /06 :  $Q = 0,6 \times 1,3 \times 0,11 = 0,085 \text{ m}^3/\text{s} = 85 \text{ l/s}$

Si l'on retient enfin un  $k = 0,45$  obtenu par calcul à partir de la méthode au moulinet (cf. supra), on obtient :

- le 11/06 :  $Q = 0,45 \times 1,1 \times 0,165 = 0,082 \text{ m}^3/\text{s} = 82 \text{ l/s}$ , valeur cette fois identique à celle du micromoulinet : rien de plus normal en effet dans la mesure où le  $k = 0,45$  a justement été calculé sur la base d'un débit à 82 l/s et d'une vitesse de surface de 1,1 m/s (cf. supra) !,

- le 17/06 :  $Q = 0,45 \times 1,3 \times 0,11 = 0,065 \text{ m}^3/\text{s} = 65 \text{ l/s}$

En pratique il semble raisonnable de retenir un  $k$  de 0,5, qui tient compte du fait que la vitesse moyenne de surface est en réalité légèrement moindre que celle exprimée par le flotteur qui a été placé à chaque fois dans un flux rapide. On obtient finalement :

- le 11/06 :  $Q = 0,5 \times 1,1 \times 0,165 = 0,09 \text{ m}^3/\text{s} = 90 \text{ l/s}$

- le 17/06 :  $Q = 0,5 \times 1,3 \times 0,11 = 0,071 \text{ m}^3/\text{s} = 71 \text{ l/s}$

En résumé sur les débits aux Eparres : le 11/06 le débit total était de l'ordre de 85 l/s, dont environ 47 l/s étaient captés (soit 55 %). Le débit a progressivement diminué jusqu'au 17 juin où il a été mesuré autour de 70 l/s. Nous nous baserons sur ces valeurs pour établir une courbe du débit des Eparres (figure 4) nécessaire à l'interprétation quantitative du traçage.

## 5. Détermination de la masse des traceurs à injecter et préparation des doses de colorant

### a. Les traceurs utilisés

\* **Fluorescéine sodique** (Uranine) : poudre orange donnant coloration vert fluorescente une fois diluée dans l'eau (la solubilité est de 100 g/l : il faut donc au minimum 10 litres de liquide pour dissoudre 1kg de fluorescéine en poudre). Résiste assez bien à l'adsorption par les argiles. Non toxique aux doses utilisées pour un traçage : la "dose létale 50" = 1700 mg/kg : il faudrait en d'autres termes qu'une personne de 50 kg boive 850 m<sup>3</sup> d'eau contenant 0,1 mg/l de

## Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier

fluorescéine (limite de détection à l'œil nu) pour mettre sa santé en péril !

Ces caractères nous l'ont fait choisir pour colorer l'actif Arcturus dans le réseau Bib/Myriades, dont on est quasi certain qu'il alimente la source des Eparres (située dans les calcaires valanginiens, captée pour l'alimentation en eau potable de la commune de Chapareillan), et dont on pense du coup qu'il traverse les marnes hauteriviennes, d'où fort risque d'adsorption par les argiles.

Fournisseur : Laboratoire de Géologie Appliquée, Université de Savoie, G. Nicoud.

\* **Rhodamine B** (poudre rouge donnant une coloration d'un rose très soutenu) : plus "polluant", plus sensible à l'adsorption. Un peu plus toxique que la fluorescéine, notamment si l'eau contient des nitrites ("dose létale 50" = 500 mg/kg : la même personne pesant 50 kg ne doit plus absorber que 250 m3 pour être menacée...). Elle sera employée pour la Cuvée des Ours dont les eaux ont une chance de ressortir à une source non captée, voire à la base des calcaires urgoniens sans traverser de zone argileuse.

Fournisseur : Agence de l'Eau RMC via le Comité Régional de Spéléologie Rhône-Alpes.

### b. Masses injectées

#### \* Règle du "1 pour 1"

Fluorescéine : L = 1875 m → M = 1875 g.  
Rhodamine B : L = 1000 m (Fontaine Fraisière) ou 2000 m (Eparres) → M = 1000 g ou 2000 g. soit environ 2 kg maximum de chaque colorant. Mais en tenant compte du contexte local (forte pente, vitesse de transfert sans doute élevée, débits modérés), on pouvait sans risque diviser ces valeurs par 1,5 ou 2.

#### \* Formule $M = Q.C.$ (3600. D)

avec D choisi à 36 h, C à 0,000 1 g/l (limite visibilité œil nu) et Q à 100 l/s (estimation d'après hydrogramme fourni par la municipalité pour la source des Eparres).

soit  $M = 100 \times 0,000 1 \times (3600 \times 36) = 1296$  g.

Pour des raisons pratiques (pesage), de coût, compte tenu également du contexte et de l'expérience précédente (BOZONNAT 1980), nous avons décidé de nous en tenir à 1 KG de fluorescéine et 1 KG de rhodamine B en vue d'obtenir des restitutions visibles à l'œil nu sans risque d'atteindre les seuils de toxicité.

### c. Préparation et conditionnement

Dans la mesure où l'injection se faisait théoriquement en présence de suffisamment d'eau, il n'était pas question de transporter le colorant autrement qu'en poudre. Le pesage a été effectué la veille au soir de l'injection. L'un des stagiaires, chimiste de profession, a fait une brillante (et même fluorescente !) démonstration du maniement des pots de traceurs en poudre. Protégé d'un poncho et de gants en latex plus qu'utiles pour ce genre de manipulation, il a rempli sur la balance un sachet de 1 kg de fluorescéine, bien refermé et stocké dans un bidon spéléo étanche avant de répéter l'opération pour la rhodamine. A faire à l'abri des courants d'air mais dans un endroit cependant bien aéré (la rhodamine, hyper volatile, pique de surcroît les yeux...Attention de ne pas renverser ne serait ce qu'un gramme de poudre, sous peine de nager très vite dans une mare fluorescente des plus tenaces. Eviter les parquets cirés !)

## B - INJECTIONS

Nous avons essayé de les effectuer simultanément pour simplifier analyses et comparaisons.

### 1. La fluorescéine

1 kg de fluorescéine en poudre a été déversé après mise en solution dans un bidon étanche dans l'actif d'Arcturus (Trou Bib/Myriades) 10 m à l'aval du P17 qui donne accès à la rivière.

Cote altitude : 1400 m (- 360 m/entrée Bib)

Date et heure : 12/06/94 à 15 h 05.

Vitesse de progression du front de coloration mesurée sur les 17 m suivant le point d'injection : 204 m/h

Mesures à 14 h 35 :

Température air : 5°C

Température eau : 4,1°C

Conductivité : 170 µS

Débit mesuré du récepteur : 2 l/s

### 2. La rhodamine

1 kg de rhodamine B dans la galerie Bruno Lac de la Cuvée des Ours (cote altitude 1640 m).

Date et heure : 12/06/94 entre 15 h 05 et 15 h 20.

### **Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier**

Récepteur : eau de percolation s'égouttant du plafond et se perdant rapidement dans le plancher d'une galerie sèche par ailleurs.

Débit mesuré : 0,15 l/mn

Température eau : 2,4°C

pH : 8,3

Conductivité : 160 µS

### **3. Observations nivo-météorologiques**

Temps nuageux avec larges éclaircies ensoleillées. Régime de nord; T° = 9,5°C à 12 h et 5° à 19 h à 1750 m d'altitude.

Température à la base de la glacière d'entrée du Trou Bib (= sommet du P 18) à 18 h : 3,3°C (glace fondante, ruissellement, neige molle dans le névé recouvrant la glace vive)

Le couvert neigeux est réduit à quelques lambeaux en surface alors que le 31/05 /94, lors de l'équipement du trou Bib, un manteau neigeux continu de plusieurs décimètres d'épaisseur recouvrait le Granier. La quasi-totalité de la couverture nivale a fondu en 12 jours ! D'où la faiblesse des débits dans l'endokarst.

- 26 juin : très violents orages avec fortes précipitations l'après-midi et le soir (inondations en Maurienne, cols fermés par la neige).

- 27 juin : temps nuageux sans P.

- 28 juin au 05 juillet : beau temps dominant.

- 06 juillet : beau temps.

- 07 au 16 juillet : sécheresse caniculaire

- 17 juillet : grand beau, canicule.

- 18 au 24 juillet : beau temps

- 25 au 31 juillet : semaine orageuse avec P, notamment le 31 au soir.

- 1er août : temps pluvieux

- 02 au 14 août : beau temps avec périodes perturbées du 09 au 13 août (P importantes : température de l'eau de pluie mesurée à 1700 m sur le plateau du Granier le 12/08 : 8°C)

- 15 août : beau temps. Fin de la surveillance.

## **C - SURVEILLANCE DES SOURCES**

Les modalités et les paramètres du suivi des sources et cours d'eau ont été regroupés dans les tableaux suivants, précédés des observations météorologiques pour la période concernée :

### **1. Chronique météo. et nivologie du 1er juin au 15 août 1994 sur le Granier**

- Du 1er au 3 juin : beau temps sec avec chaleur précipitant la fonte d'une épaisse couche de neige résiduelle sur le plateau => émergences en crue de fonte nivale.

- 11 juin : temps frais et nuageux, quelques petites pluies. Fonte quasi terminée sur le plateau.

- 12 juin : couvert et frais le matin, s'améliorant en fin de matinée. Pas de P

-13 juin : temps nuageux frais. Pas de P

- 14 juin : mise au beau et réchauffement.

- 15 juin : beau temps chaud.

- 16 juin : " " "

-17 juin : grand beau temps très chaud

- 18 juin : beau temps chaud devenant orageux en fin de journée. Pas de P

-19 juin : orages

- 20 au 25 juin : retour du grand beau temps chaud sans P

## 2. Surveillance des paramètres physico-chimiques : cf. tableaux ci-dessous

Tableau n° 2 : Evolution de quelques paramètres physico-chimiques de la source des Eparres (alt. : 970 m) :

\* : débit mesuré (sinon débit estimé, ou évolution caractérisée à partir de niveaux repères). NB : trop plein à sec à partir du 06/07 /94, toute l'eau part dans le captage : mousse blanche bulleuse sur eau claire.

| DATE  | HEURE   | T°air °C | T°eau°C  | Conduc. | pH   | DEBIT    | Couleur   |
|-------|---------|----------|----------|---------|------|----------|-----------|
| 03/06 | 16 h 30 | 17,3 °C  | 5,5 °C   | 190 µS  | -    | >100 l/s | claire    |
| 11/06 | 16 h    | -        | 5,8 °C   | 210 µS  | 7,83 | 85 l/s*  | "         |
| 12/06 | 23 h    | 10,3 °C  | 5,9 °C   | 220 µS  | -    | "        | "         |
| 13/06 | 19 h 30 | 13,7 °C  | 5,9 °C   | 220 µS  | 7,90 | 80 l/s   | "         |
| 14/06 | 17 h 15 | 17 °C    | 5,9 °C   | 225 µS  | 7,85 | "        | vert fluo |
| 15/06 | 19 h 15 | 16,5 °C  | 5,9 °C   | 236 µS  | 7,82 | 75 l/s   | - verte   |
| 16/06 | 19 h 10 | 16 °C    | 5,9/6 °C | 232 µS  | 7,70 | "        | claire    |
| 17/06 | 12 h 45 | 18 °C    | 5,9/6 °C | 265 µS  | 7,75 | 70 l/s*  | "         |
| 27/06 | 11 h 30 | -        | -        | -       | -    | 80 l/s   | "         |
| 06/07 | 17 h 30 | 20 °C    | 6,1 °C   | 298 µS  | -    | 35 l/s   | "         |
| 17/07 | 10 h 45 | 26,5 °C  | 6,1 °C   | -       | -    | 10 l/s   | mousse    |
| 01/08 | 16 h    | 16,5 °C  | 6,1 °C   | -       | -    | 15 l/s   | mousse    |
| 15/08 | 18 h 30 | 15 °C    | 7,2 °C   | -       | -    | "        | mousse    |

Tableau n° 3 : Evolution de quelques paramètres physico-chimiques de la source de Fontaine Fraisière (alt. : 1200 m)

\* : débit mesuré (sinon estimé)

| DATE  | HEURE   | T°air °C | T°eau°C | Conduc. | pH   | DEBIT     | Couleur |
|-------|---------|----------|---------|---------|------|-----------|---------|
| 03/06 | 18 h 15 | 12,5 °C  | 5,3 °C  | 180 µS  | -    | < 0,5 l/s | claire  |
| 11/06 | 17 h 30 | -        | 5,4 °C  | 190 µS  | 7,94 | 0,2 l /s* | "       |
| 12/06 | -       | -        | -       | -       | -    | "         | "       |
| 13/06 | 17 h 45 | -        | 5,4 °C  | 190 µS  | 7,88 | diminue   | "       |
| 14/06 | 15 h 40 | 14,7 °C  | 5,4 °C  | 190 µS  | 7,90 | stationn. | "       |
| 15/06 | 18 h 45 | -        | -       | 195 µS  | 7,85 | diminue   | "       |
| 16/06 | 17 h    | -        | -       | -       | -    | "         | "       |
| 17/06 | 14 h 50 | -        | -       | -       | -    | "         | "       |
| 27/06 | 13 h    | -        | -       | -       | -    | quasi 0   | "       |
| 06/07 | 16 h 25 | -        | 6,1 °C  | 206 µS  | -    | "         | "       |
| 17/07 | 12 h    | 24,5 °C  | 7,1 °C  | -       | -    | < 0,1 l/s | "       |
| 01/08 | 17 h    | 16,3 °C  | 7,2 °C  | -       | -    | "         | "       |
| 15/08 | 17 h 45 | 13,7 °C  | 7,2 °C  | -       | -    | > 0,1 l/s | "       |

Tableau n° 4 : Evolution de quelques paramètres physico-chimiques de la source des Cables (alt. : 1220 m) :

| DATE  | HEURE | T°air °C | T°eau°C | Conduc. | pH   | DEBIT    | Couleur |
|-------|-------|----------|---------|---------|------|----------|---------|
| 03/06 | 18 h  | -        | 6,3 °C  | -       | -    | < 1 l/s  | claire  |
| 11/06 | 18 h  | -        | 6,2 °C  | 250 µS  | 8,06 | 0,2 l/s* | "       |
| 12/06 | -     | -        | -       | -       | -    | -        | -       |

**Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier**

|       |         |         |        |        |         |          |   |
|-------|---------|---------|--------|--------|---------|----------|---|
| 13/06 | 18 h 15 | -       | -      | -      | -       | "        | " |
| 14/06 | 16 h    | -       | -      | -      | -       | "        | " |
| 15/06 | 18 h 30 | -       | -      | -      | -       | "        | " |
| 16/06 | 17 h 15 | 17,3 °C | 6,4 °C | 237 µS | 7,92    | diminue  | " |
| 17/06 | 14 h 40 | -       | -      | -      | -       | station. | " |
| 27/06 | 13 h 15 | -       | -      | -      | -       | hausse   | " |
| 06/07 | 15 h 50 | -       | 6,9 °C | 265 µS | 7,7 (?) | station. | " |
| 17/07 | 12 h 15 | -       | 7,1 °C | -      | -       | "        | " |
| 01/08 | 17 h 15 | 14,7 °C | 7,4 °C | -      | -       | "        | " |
| 15/08 | 17 h 30 | 18 °C   | 7,4 °C | -      | -       | hausse   | " |

Tableau n° 5 : Quelques paramètres physico-chimiques de la source du Pas de la Porte n°1 (alt. 1350 m):

| DATE  | HEURE | T°air °C | T°eau°C | Conduc. | pH | DEBIT   | Couleur |
|-------|-------|----------|---------|---------|----|---------|---------|
| 11/06 | -     | -        | 5,2 °C  | 200 µS  | -  | 0,2 l/s | claire  |
| 15/06 | -     | -        | -       | -       | -  | diminue | "       |
| 17/06 | -     | -        | -       | -       | -  | diminue | "       |

Tableau n° 6 : Quelques paramètres physico-chimiques de la source de Pisse-Brun (alt. : 1400 m):

| DATE  | HEURE   | T°air °C | T°eau°C | Conduc. | pH   | DEBIT    | Couleur |
|-------|---------|----------|---------|---------|------|----------|---------|
| 15/06 | 17 h 25 | -        | 13,5 °C | 200 µS  | 7,69 | 0,2 l/mn | claire  |
|       | -       | -        | -       | -       | -    | infime   | "       |

Tableau n° 7 : Mesure de quelques paramètres physico-chimiques de la source de la Colonne ( alt. : 820 m) :

| DATE  | HEURE   | T°air °C | T°eau°C | Conduc. | pH   | DEBIT   | Couleur |
|-------|---------|----------|---------|---------|------|---------|---------|
| 13/06 | 13 h    | 15,8 °C  | 8,7 °C  | 440 µS  | 7,43 | 0,3 l/s | claire  |
| 17/06 | 18 h 30 | -        | -       | -       | -    | -       | claire  |

Tableau n° 8 : Mesure de quelques paramètres physico-chimiques de la source de la Fontaine de Rochereau (alt. : 1300 m) :

| DATE  | HEURE | T°air °C | T°eau°C | Conduc. | pH | DEBIT  | Couleur |
|-------|-------|----------|---------|---------|----|--------|---------|
| 13/06 | 17 h  | -        | 8,4 °C  | -       | -  | infime | claire  |

Tableau n° 9 : Mesure de quelques paramètres physico-chimiques de la source du Cernon (alt. : 1160 m) :

| DATE  | HEURE | T°air °C | T°eau°C | Conduc. | pH   | DEBIT    | Couleur |
|-------|-------|----------|---------|---------|------|----------|---------|
| 13/06 | 16 h  | 14,3 °C  | 5,2 °C  | 170 µS  | 8,18 | >100 l/s | claire  |
| 17/06 | 18 h  | -        | -       | -       | -    | -        | claire  |

Tableau n° 10 : Mesures dans l'actif Arcturus (système Bib-Myriades) au point d'injection (-350 m)

\* : débit mesuré

| DATE  | HEURE   | T°air °C | T°eau°C | Conduc. | pH | DEBIT   | Couleur |
|-------|---------|----------|---------|---------|----|---------|---------|
| 12/06 | 14 h 35 | 5,00 °C  | 4,1 °C  | 170 µS  | -  | 2 l/s * | claire  |

*Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier*

Tableau n° 11 : Mesures dans le filet d'eau de percolation utilisé pour l'injection dans la Cuvée des Ours : (débit mesuré)

| DATE  | HEURE | T°air °C | T°eau°C | Conduc. | pH  | DEBIT     | Couleur |
|-------|-------|----------|---------|---------|-----|-----------|---------|
| 12/06 | 15 h  | -        | 2,4 °C  | 160 µS  | 8,3 | 0,15 l/mn | claire  |

Tableau n° 12 : Mesures de paramètres physico-chimiques dans le ruisseau du Ravin du Diable au niveau du Pont de la Cabane Forestière (route de Chapareillan au col du Granier) à 850 m d'alt.

| DATE  | HEURE   | T°air °C | T°eau°C | Conduc. | pH | DEBIT   | Couleur |
|-------|---------|----------|---------|---------|----|---------|---------|
| 17/06 | 16 h    | -        | -       | -       | -  | 30 l/s  | claire  |
| 06/07 | 18 h 45 | -        | 13,8 °C | 690 µS  | -  | 10 l/s  | "       |
| 17/07 | 12 h 45 | 28 °C    | 15,4 °C | -       | -  | < 5 l/s | "       |
| 01/08 | 15 h 30 | 20 °C    | 14,3 °C | -       | -  | "       | "       |
| 15/08 | 19 h    | 16,5 °C  | 13,8 °C | -       | -  | "       | "       |

Tableau n° 13 : Mesures de paramètres physico-chimiques dans le ruisseau du Chemin des Eparres n° 1 (CE1) à 990 m d'alt.

\* : débit mesuré

| DATE  | HEURE | T°air °C | T°eau°C | Conduc. | pH  | DEBIT   | Couleur |
|-------|-------|----------|---------|---------|-----|---------|---------|
| 11/06 | -     | -        | 9 °C    | 220 µS  | 8,3 | 4 l/mn* | claire  |
| 17/06 | -     | -        | -       | -       | -   | infime  | "       |

Tableau n° 14 : Mesures de paramètres physico-chimiques dans le ruisseau du Chemin des Eparres n° 2 (CE2) à 995 m d'alt.

\* : débit mesuré

| DATE  | HEURE | T°air °C | T°eau°C | Conduc. | pH  | DEBIT   | Couleur |
|-------|-------|----------|---------|---------|-----|---------|---------|
| 11/06 | -     | -        | 6,6 °C  | 240 µS  | 8,2 | 5 l/mn* | claire  |
| 17/06 | -     | -        | -       | -       | -   | infime  | "       |

Tableau n° 15 : Mesures de paramètres physico-chimiques dans le ruisseau du Chemin des Eparres n° 3 (CE3) à 995 m d'alt.

(débit mesuré)

| DATE  | HEURE | T°air °C | T°eau°C | Conduc. | pH   | DEBIT   | Couleur |
|-------|-------|----------|---------|---------|------|---------|---------|
| 11/06 | -     | -        | 7,6 °C  | 300 µS  | 8,38 | 20 l/mn | claire  |
| 17/06 | -     | -        | -       | -       | -    | faible  | "       |
| 27/06 | -     | -        | -       | -       | -    | "       | "       |

Tableau n° 16 : Mesures de paramètres physico-chimiques dans le ruisseau du Chemin des Eparres n°4 (CE4) à 1020 m d'alt.

(débit mesuré)

| DATE  | HEURE | T°air °C | T°eau°C | Conduc. | pH   | DEBIT    | Couleur |
|-------|-------|----------|---------|---------|------|----------|---------|
| 11/06 | -     | -        | 7,5 °C  | 200 µS  | 8,38 | 20 l /mn | claire  |

|       |   |   |   |   |   |        |   |
|-------|---|---|---|---|---|--------|---|
| 17/06 | - | - | - | - | - | infime | " |
|-------|---|---|---|---|---|--------|---|

### 3. Une coloration qui saute aux yeux !

Au vu de ces données (colonne "couleur"), seule la fluorescéine est ressortie de manière visible à l'œil nu, et seulement à la source des Eparres. La restitution est devenue visible le mardi 14 juin vers 3 heures du matin, soit 36 heures après l'injection dans le trou Bib. Nous l'avons observée pour notre part ce mardi 14 juin à 17 h 15 à la source. La couleur verte était très soutenue. Le torrent des Eparres a été coloré jusque dans la plaine (cf. photos prises au Pont des Eparres à 590 m d'altitude au niveau du hameau des Atrus).

L'eau captée pour Chapareillan a également été fortement colorée au point de teinter nettement la fontaine sur la place de la Mairie et de provoquer une inquiétude bien légitime dans les foyers de la commune desservis par les Eparres (et mêmes chez les autres par effet de psychose). Il faut préciser que contrairement à nos conseils (exprimés oralement et par courrier), la population n'avait pas été avertie de l'expérience de coloration, ni par affichage en Mairie, ni par voie de presse. D'où un moment de panique au standard de la Mairie lorsqu'il fut submergé d'appels alarmistes à propos de robinets qui se mettaient subitement à "couler vert". Si les lavandières ont eu quelques frayeurs, ce sont en revanche les marchands d'eau minérale qui se sont frottés les mains, ainsi que les nombreux viticulteurs de la commune, qui ont trouvé là prétexte en or pour délaissier l'eau du robinet au profit du jus de leur treille !

A la source, l'eau n'est pas restée colorée plus de 2 jours, même si la restitution s'est poursuivie dans des gammes de concentration invisibles à l'œil nu. C'est en effet par l'intermédiaire des prélèvements réalisés dans tous les cours d'eau et sources figurant dans les tableaux ci-dessus que le traçage a pu, comme attendu, donner la pleine mesure de ses enseignements.

## D - ANALYSES ET INTERPRETATION

### 1. Restitution de la fluorescéine

Les analyses fluorimétriques et chimiques des échantillons des sources que nous surveillons ont été réalisés au laboratoire d'hydrogéologie de

l'Université d'Orléans sous la responsabilité et avec l'aimable collaboration de Michel Lepiller. Un spectrofluorimètre de type Hitachi F-2000© à passeur automatique A.S.3000 nous a permis d'analyser en une journée plus de 120 échantillons. L'appareil était étalonné pour détecter des concentrations en traceurs si basses que le pic de restitution de notre série des Eparres n'a pas été lisible sans une double dilution des échantillons (saturation).

Le tableau 17 représente les résultats bruts tels qu'il sortent de la machine. C'est à partir de ces données que l'on construit la courbe de restitution (fig.5 et 6). Les concentrations sont exprimées en nano-grammes par millilitre. (1 ng/ml = 1 mg/l). Le premier échantillon contenant de la fluorescéine est le n°27 (0,750 ng/ml) correspondant au prélèvement par l'échantillonneur automatique du mardi 14 /06 à 1h30 du matin soit 34, 5 heures après l'injection et 1,5 h avant la visibilité à l'œil nu, cette dernière commençant avec l'échantillon n° 29 (21,74 ng/ml) et surtout le n° 30 (49,65 ng/ml). A 17 h 15, au moment de notre visite à la source, la concentration était de l'ordre de 100 ng/ml, soit dix fois plus que la limite du seuil de visibilité. Mais nous étions sur la pente descendante de la courbe de restitution, le pic (= mode) se situant vers 9 heures du matin le 14/06, soit 8 heures seulement après le début de la restitution. La coloration est redevenue invisible à l'œil nu le 16 /06 dans la matinée. Notons que si en théorie une concentration de 10 ng/ml est détectable à l'œil, en pratique dans le lit d'un torrent écumeux, il devient très difficile d'être affirmatif en dessous de 20 ng/ml.

**INSERER TABLEAU 17 : CONCENTRATION DE LA FLUORESCEINE DANS LES ECHANTILLONS DU GRANIER ENTRE LE 12 ET LE 17 JUIN 1994**



*Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier*

Insérer figures 5 et 6 courbes de restitution

### Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier

L'examen de la courbe montre deux pics secondaires sur la pente descendante :

- le 1er correspond à un artefact lié au fait qu'il a fallu diluer certains échantillons trop concentrés pour le programme d'analyse (saturation) et que le raccord des valeurs des échantillons dilués avec les autres ne s'effectue pas parfaitement. Cette bosse n' a donc pas de signification pour l'interprétation du traçage. Il a été lissé sur la courbe tracée manuellement et n'apparaît que sur le tracé informatique.

- le 2<sup>ème</sup> pic secondaire est bien réel. Il intervient à une concentration de 70 ng/ml.. Il pourrait correspondre à une petite divergence de l'écoulement avec un dédoublement temporaire d'une petite partie du flux utilisant un cheminement plus long.

Une deuxième série d'analyses montre une pérennité de la restitution durant plus d'un mois, avec des concentrations, certes très faibles, mais encore sensibles le 15 août, comme l'indique le tableau 18 dont les valeurs ne sont malheureusement pas corrélables aux données de la première série de mesures car cette fois, les échantillons ont été traités selon des dosages préalables d'uranine (= fluorescéine) réalisés avec un programme différent de celui utilisé la première fois. Il ne serait donc pas rigoureux de vouloir raccrocher ces dernières valeurs à la courbe pour avoir la queue de la restitution, le risque étant quasi certain de fausser le calcul du taux de restitution.(proportion de la masse de traceur ressortie par rapport à celle injectée).

Tableau n° 18 : Concentration en fluorescéine des échantillons prélevés au Eparres entre le 27 juin et le 15 août 94.

| Echantillon     | Conc. en ng/ml |
|-----------------|----------------|
| SE 27/06 (n°21) | 8, 947         |
| SE 27/06 (n°22) | 8, 880         |
| SE 16/07 (n°14) | 2, 319         |
| SE 17/07        | 1,904          |
| SE 15/08        | 0,888          |

Le taux de restitution ne peut être calculé qu'à condition de disposer de valeurs de débits pour toute la période de restitution, ce qui est notre cas.(fig. 4 et tableau 19) : il faut alors combiner courbes de restitution et courbes de débits par projection verticale de l'une sur l'autre pour obtenir une courbe rendant compte de la répartition des flux. C'est l'allure de cette courbe

qui est importante pour l'interprétation du traçage, et c'est d'elle que l'on peut tirer, par intégration, la masse de traceur restituée. Un traitement informatisé sur Excel 4, mis à notre disposition par M. Lepiller, nous a dispensé de ces longs et fastidieux calculs. Les résultats apparaissent sur le tableau 19.

### DISCUSSION DES RESULTATS

La masse de traceur restituée est ici de plus de 950 g ce qui est excellent. Il y a eu peu de rétention dans un milieu qui semble donc constitué de drains bien ouverts à écoulements concentrés, ce qui est confirmé par l'examen des vitesses.

Les vitesses de transfert du colorant sont en effet relativement élevées. Elles sont calculées en fonction de la distance à vol d'oiseau à l'horizontale entre points d'injection et de sortie, ce qui signifie que les vitesses réelles peuvent être beaucoup plus grandes. On distingue la vitesse maximale (53,5 m/h) correspondant à celle des particules qui sont arrivées les premières à l'exurgence ; la vitesse modale (43,6 m/h), correspondant à celle des particules les plus concentrées (pic de concentration de la courbe de restitution) ; la vitesse apparente (40,1m/h) correspondant au quotient de la distance à vol d'oiseau (1875 m) par le temps moyen de séjour (46,8 h). Toutes ces valeurs sont proches les unes des autres ce qui traduit une faible dilution de la nappe colorée.

On peut essayer une approche des vitesses réelles à partir des données spéléologiques dont nous disposons et de la vitesse mesurée dans les premiers décimètres après l'injection : nous savons que du point d'injection au siphon qui bloque les explorations à la cote - 505 m, le colorant a du parcourir en réalité d'après la topographie du gouffre des Myriades près de 1000 m de distance sur un plan horizontal (distance rectiligne : 750 m, coefficient d'étirement : 1,33). A vol d'oiseau, le siphon est situé à encore 1100 m des Eparres. Si l'on conserve le même coefficient d'étirement de 1,33, cela représente une distance réelle de 1460 m. La distance réelle horizontale totale parcourue entre l'injection et les Eparres serait donc voisine de 2450 m. Dans ce cas, la vitesse maximum atteint 70 m/h, la vitesse modale 57 m/h et la vitesse apparente 52,3 m/h.

*Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier*

Insérer tableau n°19 - Calcul de la DTS d'un traçage

### *Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier*

Si l'on intègre maintenant la vitesse maxi. obtenue par mesure directe lors de l'injection dans la zone vadose qui était de 204 m/h, si, tenant compte de la présence de quelques plans d'eau qui ont du ralentir la progression du traceur, on ramène cette valeur à 150 m/h jusqu'au siphon, on peut estimer que l'uranine a atteint le siphon 6,5 heures après l'injection. Elle a encore mis 28,5 heures pour parcourir les 1450 mètres jusqu'aux Eparres, à une vitesse maximum de 51 m/h.

Ces calculs, tout approximatifs qu'ils soient, permettent de raisonner en termes d'ordre de grandeur : à partir du siphon terminal de la rivière Arcturus, la vitesse de propagation du traceur est trois fois moindre que dans la zone vadose. Elle reste cependant assez rapide en valeur absolue (plus de 50 m/h).

**Ceci nous incite à penser que nous n'avons pas affaire à une zone noyée très importante,** ou qu'en tout cas elle est le siège d'une circulation rapide. Le siphon terminal d'Arcturus est à notre avis un accident ponctuel, certes sans doute rédhibitoire pour les explorations, mais qui n'entrave pas la progression des eaux (le flux se perd d'ailleurs en partie dans un conduit impénétrable à circulation rapide juste auparavant). Certes, la traversée de l'Hauterivien, qui est déjà entamée lorsqu'on arrive au siphon (l'encaissant est ici constitué de marno-calcaire à miches), constitue de toute façon l'obstacle qui freine le colorant. Mais la circulation demeure concentrée, profitant sans doute de la fracturation. L'érosion mécanique pourrait même avoir agrandi le passage dans les marnes, pour peu que l'évacuation soit possible à l'aval... Ce qu'il est permis de penser, dans la mesure où l'eau peut retrouver dans le Valanginien des conduits karstiques bien développés, peut-être même à surface libre en basses eaux, voire pénétrables (des observations faites au moment des travaux d'aménagement du captage, faisant état d'un regard sur un torrent souterrain, vont dans ce sens)...

Sur la figure 6 apparaît également la courbe de distribution des temps de séjour qui rend compte du pourcentage de masse de traceur restitué à chaque moment de l'expérience. La courbe épouse la silhouette du trait représentant la concentration car le débit n'a pas augmenté durant les premiers jours du traçage. Il n'a fait

que diminuer régulièrement et assez lentement, sans grande influence sur la restitution.

Sur le tableau 17, on s'aperçoit en outre que les échantillons n° 1 et 83 sont faiblement positifs (n°1 = 1,882 ng/ml ; n°83 = 1,009 ng/ml). Le n°1 correspond à un prélèvement dans l'actif d'Arcturus le jour de l'injection mais à l'amont du point d'injection quelques minutes après celle-ci. Il a été réalisé dans une gourde par l'un des spéléologues qui s'était tenu à l'écart des manipulations du colorant, mais la gourde en question a ensuite été utilisée à la remontée pour étancher la soif d'équipiers contaminés par l'uranine : on voit ici de façon édifiante qu'il n'est pas vain de prendre le maximum de précautions afin d'éviter des pollutions d'échantillons qui se produisent réellement de manière aussi sournoise qu'on le raconte lors des exposés théoriques en stage !

C'est aussi ce qui a pu arriver à l'échantillon n° 83, prélevé le 15 juin à 20h45 dans le réservoir d'eau potable situé au bord de la D12 dans la descente entre le hameau de St André et le lac du même nom. Mais une autre explication peut ici être invoquée. Si ce réservoir est alimenté par le captage de la source Verdun située à proximité, il est possible que ce soit bien un résultat naturellement positif.

En effet, les résultats d'analyses des fluocapteurs placés par G. Nicoud aux sources de Verdun et de St Martin, réalisées par le Laboratoire de Chimie Moléculaire et Environnement de l'ESIGEC (Université de Savoie) au moyen d'un spectrofluorimètre de type Perkin Elmer LS5, montrent que le torrent des Eparres (=ruisseau de Nancey) perd une partie de son débit au passage des escarpements calcaires berriasien, puis tithonique entre 500 et 400 mètres d'altitude, comme l'avait bien montré le géologue S. Fudral en 1984. L'eau ainsi soutirée s'écoule souterrainement vers la Savoie pour être restituée par l'intermédiaire d'au moins 2 émissaires situés sur la commune de Chapareillan qui sont les sources de Verdun (aquifère berriasien capté par les communes savoyardes des Marches, Myans et Francin) et de St Martin (aquifère tithonique, captage privé abandonné) comme le démontrent les résultats du tableau. Cinq stations de surveillance avaient été choisi : 2 à l'amont des sources, dans le ruisseau du Glandon qui sert de limite communale entre Chapareillan et les Marches, et du même coup de limite entre l'Isère et la

### Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier

Savoie, 1 au trop-plein du captage de verdun, 1 dans le même ruisseau entre Verdun et St-Martin et enfin 1 à St-Martin. La restitution s'est faite dans la semaine qui a suivi l'injection (fluocapteurs posés le 12/06 et retirés le 19/06), ce qui dénote d'un transfert rapide. Les valeurs élevées de concentration sont dues au fait qu'il s'agit de fluocapteurs qui sont ici analysés. Le charbon actif qui les compose a emmagasiné le traceur pendant plusieurs jours. (pas de restitution visible à l'œil nu) On peut ainsi penser que l'uranine est arrivée au maximum 4 ou 5 jours après l'injection dans le Granier, voire seulement 3 jours après s'il s'avère que le résultat positif de l'échantillon du réservoir de St André pris le 15 juin à 20 h 45 n'est pas du à une "pollution" accidentelle lors des manipulations.

Tableau. n° 20 : Concentrations de fluorescéine mesurée sur les charbons actifs placés aux sources de Verdun et de St Martin (analyses : ESIGEC, Université de Savoie) :

| Echantillon       | Conc. en ng/ml |
|-------------------|----------------|
| I Rau Gland. amt. | 0,033          |
| II Rau Gland. amt | 0,067          |
| III source Verdun | 710            |
| IV Rau Gland aval | 100            |
| V sce St Martin.  | 130            |

## 2. Restitution de la rhodamine B

Ce traceur, injecté en même temps que l'uranine mais dans la Cuvée des Ours à 1640 m d'altitude (compartiment nord du Granier), n'a pas livré de restitution visible à l'œil nu. C'est grâce à une campagne de prélèvements persévérante qu'il a été possible de mettre cette restitution en évidence après analyses au laboratoire d'hydrogéologie de l'Université d'Orléans par Michel Lepiller. Les résultats consignés dans le tableau 21 montrent que la rhodamine de la Cuvée des Ours, attendue à Fontaine Fraisière, est en fait essentiellement ressortie aux Eparres autour du 17 juillet 94, soit 35 jours après l'injection et avec 33 jours de retard sur l'uranine, ce qui donne une vitesse de l'ordre de 2,5 m/h. peu significative du fait des conditions

Tableau n° 21 : recherche de la rhodamine B sur les sources des Eparres et de Fontaine Fraisière.

| Date     | Conc. Eparres (ng/ml) | Conc. Font Frais. (ng/ml) |
|----------|-----------------------|---------------------------|
| 14/06/94 | < SD                  | < SD                      |
| 17/06/94 | < SD                  | < SD                      |
| 27/06/94 | < SD                  | < SD                      |
| 06/07/94 | < SD                  | < SD                      |

d'injection. Il semblerait toutefois que le traceur n'ait pas rencontré rapidement de drain à vitesse d'écoulement rapide et qu'il soit plutôt tombé sur des tronçons noyés...

Ce même jour, l'échantillon pris à Fontaine Fraisière est lui aussi légèrement positif, mais nous avons de fortes présomptions pour le considérer comme "pollué" lors du prélèvement, ce dernier ayant été effectué juste après celui des Eparres, sans que nous nous soyons assez méfié car la restitution aux Eparres n'était pas décelable de visu (concentration limite en théorie, mais en pratique invisible dans le tunnel sombre avec de la mousse sur l'eau (le trop-plein est alors à sec)). A l'appui de nos soupçons, on peut arguer que le 15 août, la rhodamine sort toujours, faiblement, aux Eparres, alors qu'elle ne se trouve pas à Fontaine Fraisière. Ce jour-là, les prélèvements ont été réalisés dans l'ordre inverse du 17/07, c'est à dire les Eparres après Fontaine Fraisière.

Il est toujours possible que la restitution ait bien eu lieu aussi à Fontaine Fraisière, antérieurement aux Eparres, ce qui expliquerait le décalage temporel des valeurs de concentration. Mais on ne trouve pas d'échantillon positif à Fontaine Fraisière antérieurement au 17/07 ce qui semble infirmer cette hypothèse. Il demeure cependant une petite chance pour que le traceur ait bien été restitué aussi à Fontaine Fraisière quasiment simultanément qu'aux Eparres avec pour explication de l'écart des valeurs de concentration, soit une différence réelle au niveau des drains, soit une atténuation de la concentration réelle par adsorption du colorant lors de la traversée du manteau colluvial qui s'interpose entre le substrat karstifié et la source. Tout ceci nous paraît fort peu probable, mais en toute rigueur, on ne peut affirmer avec certitude que le traceur n'est pas ressorti à Fontaine Fraisière. Un nouveau traçage en hautes eaux et à l'uranine dans la Cuvée des Ours permettrait assurément de lever le doute... Par contre, hormis les Eparres et Fontaine Fraisière, toutes les autres sources surveillées dans le secteur se sont révélées négatives (elles ne figurent du coup pas dans le tableau 21).

### Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier

|          |       |       |
|----------|-------|-------|
| 17/07/94 | 22,25 | 0,130 |
| 01/08/94 | < SD  | < SD  |
| 15/08/94 | 0,951 | < SD  |

*Nota : la valeur du 01/08 pour les Eparres est aberrante puisqu'encadrée par deux valeurs positives. Soit il s'agit d'un phénomène particulier à la restitution, la nappe de traceur ayant été fragmentée par des diffluences, soit les orages des jours précédents ont délivré des eaux vierges de rhodamine alors que le retour à l'étiage qui s'est ensuivi a permis à nouveau la restitution de traceur stocké dans les réserves annexes bloquées par le passage des eaux issue des orages, soit enfin il y a eu erreur de manipulation sur les échantillons (interverson par exemple entre les échantillons du 01 et du 15 août)...*

### 3. Analyses chimiques en laboratoire

Réalisées également au laboratoire d'hydrogéologie de l'Université d'Orléans, elles ont été faites soit par dosage manuel (TAC), soit

par analyseur automatique pour la conductivité (conductimètre de paillasse) et les bilans ioniques (spectromètre à absorption atomique). Les résultats sont présentés dans le tableau 22 ci-dessous.

Tableau n° 22 : Résultats des analyses hydrochimiques en laboratoire (en mg/l sauf indication autre).

| Ech.   | Date  | Cond. mS | TAC °f | Calc. Ca <sup>++</sup> | Magn Mg <sup>++</sup> | Sod. Na <sup>+</sup> | Potas. K <sup>+</sup> | Chlor Cl <sup>-</sup> | SulfatS O <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | Nitrat NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> |
|--------|-------|----------|--------|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| Arct.  | 12/06 | 173      | 9,6    | 32,7                   | 2,06                  | 0,82                 | 0,62                  | 0,77                  | 4,66                                 | 0,32                                |
| Epar.  | 12/06 | 211      | 11,1   | 38,75                  | 3,14                  | 0,25                 | 0,42                  | 0,30                  | 8,06                                 | 0,22                                |
| F.F.   | 11/06 | 186      | 9,7    | 34,7                   | 2,36                  | 0,17                 | 0,32                  | 0,45                  | 5,68                                 | 0,33                                |
| S.C.   | 11/06 | 233      | 12,3   | 42,3                   | 5,25                  | 0,45                 | 0,26                  | 0,62                  | 7,41                                 | 0,85                                |
| Pt. C. | 11/06 | 585      | 15,2   | 80,5                   | 30,06                 | 11,1                 | 1,47                  | 0,82                  | 174,5                                | 0,40                                |
| Réser  | 15/06 | 186      | 16,5   | 30,6                   | 6,07                  | 2,26                 | 0,72                  | 1,07                  | 15,75                                | 0,35                                |
| PP1    | 17/06 | 184      | -      | 54,5                   | 2,02                  | 0,34                 | 0,30                  | 0,54                  | 4,34                                 | 0,34                                |
| Col.   | 17/06 | 377      | -      | 83,3                   | 1,85                  | 0,45                 | 0,21                  | 1,22                  | 6,40                                 | 0,21                                |
| Cern.  | 17/06 | 172      | -      | 33,5                   | 1,22                  | 0,35                 | 0,56                  | 0,30                  | 2,80                                 | 0,25                                |

Nous avons affaire globalement à des sources de la famille des eaux bicarbonatées calciques, ce qui n'est pas surprenant étant donné le contexte géologique. Seule une analyse graphique en composantes principales (ACP) nous permettrait de mettre en évidence des affinités entre échantillons, mais cela dépasse les objectifs de ce stage. Une approche simplifiée est toutefois proposée sur les figures 7 et 8, qui seront largement utilisées par la suite. Même sans l'aide des graphiques, il est cependant frappant de constater combien le ruisseau issu du ravin du Diable surveillé au pont de la cabane forestière (Pt. C.) présente des teneurs remarquablement élevées en sulfates et magnésium, voire dans une

moindre mesure en sodium. Ce phénomène est significatif des eaux qui transitent par le haut de la masse éboulée du Granier, lithologiquement hétérogène. Toutes les sources surveillées ou captées issues de ce secteur présentent « une minéralisation élevée de type bicarbonatée calcique, magnésienne et très sulfatée avec des teneurs en SO<sub>4</sub> toujours supérieures à 50 mg/l et pouvant dépasser 210 mg/l » (NICOUUD G., 1994). Il est en revanche d'un réel intérêt de comparer les valeurs des analyses communes réalisées sur le terrain et en laboratoire pour tester la fiabilité des premières. Cela peut être réalisé pour la conductivité (tableau 23).

Tableau n° 23 : comparaison des valeurs de conductivité mesurées sur le terrain et en laboratoire (en µS).

| Ech.   | Date  | Cond. labo. | Cond. terr. |
|--------|-------|-------------|-------------|
| Arct.  | 12/06 | 173         | 170         |
| Epar.  | 12/06 | 211         | 210         |
| F.F.   | 11/06 | 186         | 190         |
| S.C.   | 11/06 | 233         | 250         |
| Pt. C. | 11/06 | 585         | 690*        |
| Réser  | 15/06 | 186         | -           |

## Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier

|       |       |     |      |
|-------|-------|-----|------|
| PP1   | 17/06 | 184 | 200* |
| Col.  | 17/06 | 377 | 440* |
| Cern. | 17/06 | 172 | 170  |

\* : dates d'échantillonnage différentes : Pt C : 06/07 ; PP 1 : 11/06 ; Colonne : 13/06.

Les valeurs correspondant aux eaux karstiques moyennement minéralisées sont remarquablement concordantes : le conductimètre de terrain Hi 3380 donne ici toute satisfaction. En revanche, il semble que pour des eaux fortement minéralisées, l'appareil de terrain surestime les valeurs d'une centaine de mS...Ce n'est cependant qu'une supposition dans la mesure où les mesures de référence ne correspondent pas ici aux mêmes jours : il est tout à fait plausible que la conductivité du ruisseau du ravin du Diable (éch. Pt.C.) ait fortement augmenté entre le 11/06 et le 06/07, corrélativement à la diminution du débit du cours d'eau.

### 4. Interprétation d'ensemble du multitraçage et des mesures associées

#### a. Nature de l'aquifère des sources surveillées

La mise en regard de toutes les données (fig.7 et 8) permet de proposer 3 grandes catégories de sources parmi celles que nous avons contrôlées (il n'est pas traité ici des écoulements de surface qui ont aussi fait l'objet d'une surveillance) :

#### *- Les sources karstiques*

Il s'agit des émergences du Cernon et des Eparres, ainsi que de Fontaine Fraisière. Cette dernière, compte tenu de la faiblesse de son débit, ne doit fonctionner que comme trop plein (cas où elle serait en relation avec le réseau spéléologique conduisant aux Eparres), ou bien son bassin versant est des plus réduits (au cas où elle est indépendante des grands réseaux du Granier comme nous le soupçonnons). Ces sources se caractérisent par une minéralisation carbonatée calcique et une conductivité relativement faibles qui ont tendance à augmenter à l'étiage, un pH moyen relativement élevé (7,8 à 8,2) et des températures très basses, surtout à la fonte des neiges avec là aussi augmentation vers l'étiage. Il est à noter que la surveillance s'est étalée sur une période qui recouvre l'amplitude hydrothermique maximale de l'année (par exemple aux Eparres, la moyenne

mensuelle minimum est de 5,8°C et la maximale est de 7,2°C d'après Bozonnat (1980). La température de 7,2°C semble être le maximum sur lequel se bloque la valeur d'étiage estival pour les sources karstiques du secteur.

#### *- Les sources drainant des formations superficielles*

Il s'agit sans hésitation de la source de la Colonne, de la Fontaine de Rochereau et de Pisse-brun en raison de leur température supérieure à 8°C, mais aussi de leur pH inférieur à 7,7 et de leur forte minéralisation, notamment en calcium, ce qui laisse supposer un parcours assez lent dans un aquifère de type éboulis calcaire avec matrice fine, à porosité d'interstice. Malgré une faible température liée à la fonte des neiges au moment de la mesure, la source du Pas de la Porte peut aussi être rattachée à cette catégorie en raison de sa teneur en calcium.

#### *- Source fissurale*

Nous classons ici la source des Câbles, qui jaillit visiblement d'un escarpement calcaire, mais à la faveur d'une fracture sans traces de karstification. Un faible débit, une forte minéralisation (fort TAC et assez forte teneur en calcium), des températures toujours un cran au-dessus des sources karstiques nous incitent à considérer que cette source est alimentée par le maillage de fissures à proximité du versant, où l'eau circule plus lentement que dans les conduits karstiques.

En termes de ressource, seule bien sûr la source des Eparres satisfait aux conditions de débits qui la rendent apte à un captage à échelle communale, ce qui est actuellement et depuis longtemps le cas. Deux autres sources, Fontaine Fraisière et la source de la Colonne, situées sur ou à proximité de sentiers de randonnée, peuvent éventuellement être aménagées ou indiquées pour désaltérer les randonneurs, à l'image de Pisse-Brun qui malheureusement tarit au plus fort de la sécheresse estivale. En revanche, la source des Câbles, d'accès trop dangereux, et la source du Pas de la Porte n°1, coincée sous un énorme bloc à niveau de piste

*Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier*

forestière, ne présentent pas d'intérêt dans cette optique.



Insérer figure n°7 - évolution graphique

Insérer figure n°8 - représentation comparative simplifiée

## Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier

### b. Organisation, modalités et configuration des circulations souterraines

En réponse aux interrogations en suspens (SARROT-REYNAULD J., 1990) et contrairement à ce qui était antérieurement supposé - en toute logique étant donné la disposition des failles transverses qui découpent le Granier (BOZONNAT J.P., 1980) -, le compartiment sommital, au nord de la faille du Pas de la Porte, et le compartiment central du Granier ne forment qu'une seule et même unité hydrogéologique, drainée vers la source des Eparres.

Fontaine Fraisière, dont le caractère karstique semble avéré, pourrait n'être au mieux qu'une émergence de trop-plein sur le parcours des eaux du compartiment nord.

Dans le compartiment central, les eaux souterraines qui ont atteint la zone de transfert horizontal (s'incisant dans les premiers mètres de l'Hauterivien marno-calcaire) circulent très rapidement (100 à 200 m/h en moyennes eaux) dans la zone vadose développée à la base de l'urgonien. Ce compartiment n'est pas drainé par un gros collecteur unique mais plutôt par plusieurs branches convergentes en direction de la zone des siphons situés sous la grande doline de l'étrave orientale du Granier. Arcturus est une de ces branches, une seconde a pu être reconnue plus au nord à partir d'Arcturus, butant elle aussi sur un siphon très proche du premier. La traversée de l'Hauterivien doit s'effectuer à la faveur de la fracturation, mais il faut souligner que nous ne sommes pas dans ce secteur sur un décrochement transverse. Il existe cependant des fractures conjuguées bien visibles en surface dans les parois de l'étrave urgonienne et nous avons de plus mis en évidence l'existence d'accidents méridiens distensifs en profondeur (liés à la proximité de la charnière synclinale du Granier ?) pouvant servir "d'ascenseur

hydrogéologique", même si leur rejet (décamétrique) ne permet pas une mise en contact directe du valanginien avec l'urgonien (cette configuration ne semble pas exister sur le Granier, seul l'urgonien du massif de l'Alpe-Alpette vient s'accoler au Valanginien calcaire du Granier au niveau de la faille du Cernon).

- Dans le compartiment nord, aucun collecteur actif n'a été atteint et l'on peut douter au vu du traçage qu'il en existe un de pénétrable... Les eaux d'infiltration doivent rejoindre par une multitude de conduits sur fractures peu hiérarchisés la faille du Pas de la Porte. A ce niveau, l'eau peut utiliser cette discontinuité pour atteindre le Valanginien calcaire, une partie du débit poursuivant en hautes eaux jusqu'à Fontaine Fraisière (ancienne exsurgence principale du secteur partiellement abandonnée et colmatée ?) tandis que l'essentiel du flux, guidé par un gradient hydraulique plus important, s'est frayé un chemin jusqu'aux Eparres, se déversant sans doute en route dans le collecteur issu du compartiment central.

S'il semble peu probable de trouver des conduits pénétrables et non noyés dans la traversée de la centaine de mètres d'Hauterivien non karstifiable, l'écoulement dans le Valanginien pourrait se faire en revanche dans des drains karstifiés de taille humaine temporairement dénoyés en basses eaux.

Le contexte structural n'est pas favorable au développement d'une importante zone noyée, ce que confirment les données du traçage. Aussi les réserves sont elles faibles (du moins celles situées au-dessus du niveau de l'émergence) et incapables de soutenir convenablement le débit d'étiage, au moment duquel la température plafond de 7,2°C associée à une minéralisation accrue forment sans doute la signature de ces réserves fissurales qui se vidangent après un long séjour dans le karst.

### c. Récapitulatif et comparatif des traçages sur le Granier

Voir figure n° 9 et tableau ci-dessous.

Tableau n° 24 : Données des traçages de 1979 et 1994 sur le Granier.

|  | Bozonnat 1979 | stage Granier 94 | stage Granier 94 |
|--|---------------|------------------|------------------|
|--|---------------|------------------|------------------|

**Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier**

|                                      |   |   |  |
|--------------------------------------|---|---|--|
| <b>Lieu d'injection</b>              | Perte de Fontaine Neuve dans la névière SCS 2     | Rivière Arcturus (réseau Bib-Myriades) - 360 m  | Galerie B. Lac, grotte de la Cuvée des Ours  |
| <b>Zone de transfert</b>             | sommet zone de transfert vertical, entrée gouffre | Zone de transfert horizontal, branche collectrice   | milieu zone de transfert vertical, filet d'eau ds puits.   |
| <b>Commune</b>                       | Chapareillan                                      | Chapareillan  | Chapareillan   |
| <b>Alt. injection</b>                | 1760 m  | 1400 m  | 1640 m   |
| <b>Date et heure inj.</b>            | 20/05/79  | 12/06/94 15 h   | 12/06/94 15h   |
| <b>Débit à l'injection</b>           | 2 l/mn  | 2 l/s   | 0,15 l/mn  |
| <b>T°C de l'eau</b>                  | neige en fusion                                   | 4,1°C   | 2,4°C  |
| <b>Traceur (+ masse)</b>             | 1 kg uranine                                      | 1 kg uranine  | 1 kg rhodamine B   |
| <b>V. sur 20 m à l'inj.</b>          | ?   | 200 m/h   | très faible  |
| <b>Lieu(x) restitution</b>           | Eparres   | Eparres   | Eparres Font. Fraisière (?)  |
| <b>Commune</b>                       | Chapareillan                                      | Chapareillan  | Chapareillan   |
| <b>Altitude source(s)</b>            | 970 m   | 970 m   | 1: 970m, 2: 1200   |
| <b>Date(s) et heure</b>              | 21/05/79  | 14/06/94 vers 2h  | entre le 06/07 et le 17/07 94  |
| <b>T°C source(s)</b>                 | ?   | 5,9 °C  | 1: 6,1°C, 2 : 7,1°C  |
| <b>Dénivelé inj./restit</b>          |   |   |  |
| <b>Dist. rect. horiz.</b>            | 2475 m  | 1875 m  | 1 : 2000 m.2 : 1100 m  |
| <b>Pente moyenne (p)</b>             | 32,5 %  | 23,5 %  | 1: 33,5 %; 2 : 40%   |
| <b>Dist. réelle mini.</b>            | 3275 m  | 2450 m  | ?  |
| <b>Temps mini.</b>                   | ?   | 35 h  | 600 à 840 h  |
| <b>Vitesse maxi.</b>                 | ?   | 53,5 m/h  | 1 : 2,4 à 3,33 m/h<br>2 : 1,3 à 1,8 m/h  |
| <b>V.maxi. D réel + p</b>            | ?   | 82,3 m/h  | 1 : 3 à 4 m/h 2 : 1,8 à 2,6 m/h  |
| <b>Temps modal</b>                   | 24 h  | 43 h  | ?  |
| <b>Vitesse modale</b>                | 103 m/h   | 43,6 m/h  | ?  |
| <b>V mod. D réel + p</b>             | 169,8 m/h   | 67 m/h  | ?  |
| <b>Temps Moyen Séj</b>               | 47,5 h  | 46,8 h  | ?  |
| <b>Vitesse apparente</b>             | 52,1 m/h  | 40,1 m/h  | ?  |
| <b>M traceur restituée</b>           | 0,283 kg  | 0,965 kg  | ?  |
| <b>Taux de restitution</b>           | 28,3%   | 96,5%   | ?  |
| <b>Contexte hydro-météorologique</b> | Crue de fonte des neiges printanière              | Beau temps après fonte des neiges, tarissement en cours (85 l/s début restit., 70 l/s base du pic, 10 l/s en queue) | Beau temps estival, chaud et sec avec quelques orages. Etiage au moment restit. (Eparres 10 l/s, F. Fr. 0,1 l/s) |

INSERER FIG 9 - liaisons hydrogéologiques

Insérer figure 10 (9 bis)- carte du massif

d. Incidences des données du traçage sur la préservation des ressources en eau

En termes de ressources, il faut retenir que l'eau qui circule sous le plateau du Granier se retrouve en moyennes eaux deux jours plus tard au captage AEP des Eparres et moins d'une semaine après dans les robinets des habitants des Marches, de Myans et de Poncin. Cette grande rapidité de transfert a comme corollaire une absence de filtration qui rend la ressource particulièrement vulnérable, notamment lorsque les pluies automnales lessivent le massif très fréquenté durant l'été, d'où des pics de pollution bactériologique à redouter en octobre notamment. Cette pollution peut aussi être transmise plus lentement par le biais du compartiment nord, qui, même en tenant compte des différences dans les conditions d'injection lors de notre expérience, accuse sans doute un réel décalage dans la restitution des eaux d'infiltration.

**L'apport essentiel de ce multitraçage tient dans la démonstration que le compartiment nord du Granier doit être rattaché au bassin versant d'alimentation de la source des Eparres avec toutes les conséquences qui en découlent concernant la détermination d'un périmètre de protection éloignée.**

Une nouvelle expérience, réalisée en hautes eaux, permettrait de s'assurer du rôle de Fontaine Fraisière. Il faudrait en profiter pour, à l'aide de traceurs différents, examiner les modalités du contact entre le Granier et l'Alpe-Alpette, afin de voir notamment si d'une part le Granier ne laisse pas échapper une partie de ses écoulements de la bordure sud vers le Cernon, et d'autre part si les eaux du torrent issu de cette exurgence ne se perdent pas en partie dans les calcaires valanginiens décalés par la faille de l'Alpette, pour se retrouver...aux Eparres !

**BIBLIOGRAPHIE MISE A LA  
DISPOSITION DES STAGIAIRES ET  
REFERENCES CITEES DANS LE TEXTE**

**OUVRAGES REGIONAUX**

BOZONNAT J.P., 1980 : Infiltration et circulation des eaux dans les calcaires fissurés. Hydrogéologie et bilan hydrique du secteur septentrional du massif de la Chartreuse. Thèse Doctorat de Spécialité (Géologie Appliquée, option Hydrogéologie), Université Scientifique et Médicale de Grenoble. 364 p.

DELATY N., NANT J., PAPET M., 1993 : LeGros Trou Bib, massif du Granier (Chartreuse). Spelunca n° 51, p. 25-30.

GIDON M., 1990 : Géologie de la Chartreuse. Aperçu d'ensemble. Association "A la découverte du patrimoine de Chartreuse". Publication n°1. Juin 1990. 24 p.

GIDON M., 1991 : Géologie de la Chartreuse. Au col de l'Alpette, au Granier et au Pinet depuis La Plagne. Sentiers de Chartreuse. Commentaires géologiques. Association "A la découverte du patrimoine de Chartreuse". Publication n°1f. Septembre 1991. 21 p.

HOBLEA F., 1991 : Découverte d'un vaste réseau souterrain dans le massif du Granier (Chartreuse) : bilan des explorations et travaux en cours au 26/10/91. Actes première Rencontre d'octobre. S.C. Paris. p. 27-40.

HOBLEA F. et NANT J., 1992 : Granier 92, la saga continue ! Actes seconde Rencontre d'octobre. S.C. Paris. p. 50-51.

NANT J., 1993 : Bilan 1992 des explorations sur le massif du Granier (Chartreuse). Spelunca n°51. septembre 93 p. 13-24.

PAPET M. et GUICHEBARON P., 1991 : La Balme à Collomb (commune d'Entremont-le-Vieux, Savoie) : découverte d'une grotte à hibernation d'ours des cavernes et d'un vaste réseau spéléologique. Spelunca n°42, juin 91. p. 13-22.

PHILIPPE M. et al., 1995 : La Balme à Collomb : 1989-1994. Rapport de synthèse sur les

recherches effectuées de 1989 à 1994 dans la Balme à Collomb (commune d'Entremont-le-Vieux, Savoie). Comité Scientifique pour l'Etude de la Balme à Collomb, Musée Guimet d'Histoire Naturelle. Lyon. 238 p.

TALOUR B et P., 1990 : Le karst de Chartreuse. Aperçu d'ensemble. Association "A la découverte du patrimoine de Chartreuse" et Spéléo-club de Chartreuse. Publication n°2. Juillet 1990. 10 p., 10 pl. hors texte.

**OUVRAGES PEDAGOGIQUES**

AUDETAT M., 1981 : Notions de géologie, géomorphologie et hydrogéologie à l'usage des spéléologues. Société Suisse de Spéléologie, Commission des stages. Genève 163 p.

BAGLIANI F. et al., 1992 : Manuale di rilievo ipogeo. Regione Autonoma Friuli-Venezia Giulia. Direzione regionale della pianificazione territoriale. Trieste. 232 p.

BINI A. et CAPPÀ G., 1974 : Proposte di ammodernamento della simbologia per rilievi di cavità naturali sotterranee. Boll. Assoc. Ital. di Cartographia, n°31, p. 97-108.

CHOPPY J., 1985 : Dictionnaire de spéléologie physique et karstologie, "phénomènes karstiques" série 9 : travaux de référence. Ed. Choppy, Paris, 150 p.

CHOPPY J. : collection "synthèses karstiques" : 1986 : Dynamique de l'air. Série 11 : processus climatiques, fasc. 1, Paris, 72p.

1986 : Microclimats. Série 11 : processus climatiques, fasc. 4, Paris, 76p.

1988 : Composition de l'air. Série 11 : processus climatiques, fasc. 2, Paris, 79p.

1988 : Roches solubles non carbonatées. Série 41 : le facteur lithologique, fasc. 2, Paris, 77p.

1989 : Où trouver ? Série 9 : travaux de référence. Paris, 76p.

1989 : Contacts stratigraphiques. Série 41 : le facteur lithologique, fasc. 3, Paris, 73p.

1989 : Les karsts couverts. Série 41 : le facteur lithologique, fasc. 4, Paris, 78p.

1990 : Température de l'air. Série 11 : processus climatiques, fasc. 3, Paris, 73 p.

1990 : Pendage, plis et karst. série 42 : les facteurs tectoniques, fasc. 1, Paris, 65p.

1991 : Roches carbonatées. Série 41 : le facteur lithologique, fasc. 1, Paris 73p.



*Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier*

1991 : Fracture et karst. Série 42 : les facteurs tectoniques, fasc.2, Paris, 73p.

1991 : Actions conjointes de fractures. Série 42, fasc. 3, Paris, 67 p.

1992 : Actions conjointes de facteurs tectoniques. Série 42, fasc. 4 Paris, 68 p.

1993 : Relief et karst. Série 43 : les facteurs géographiques, fasc. 1, Paris, 67 p.

Collectif, 1988 : Colloque international de sédimentologie karstique. Han-sur-Lesse 18/22 mai 1987 Annales de la Société Géologique de Belgique Tome 111 Fasc. 1, Liège, 195 p.

Collectif, 1991 : Actes première Rencontre d'Octobre. Paris, 25-27 octobre 1991. S.C. Paris, 88p.

Collectif, 1992 : Actes seconde Rencontre d'Octobre. Chambéry, 16-18 octobre 1992. S.C. Paris, 81p.

Collectif, 1993 : Actes troisième Rencontre d'Octobre. Montpellier, 23-24 octobre 1993. S.C. Paris, 124 p.

COLLIGNON B., 1988 : Spéléologie : approches scientifiques. Edisud, Aix-en-Provence, 231p.

DELANNOY J.J., 1981 : Le Vercors septentrional : karst de surface et karst souterrain. Tome II : cartographie morphologique des grandes cavités du Vercors septentrional. Thèse 3ème cycle, IGA Grenoble 70 p.

FABRE G., 1978 : Signes spéléologiques conventionnels. C.E.R.G.H. Mémoire n°14 AFK/FFS Nîmes, 44 p.

LALOU J.C. (sous la direction de), 1990 : Remplissages karstiques et paléoclimats. Actes du colloque de Fribourg - 13/14 octobre 1989 - Karstologia mémoires n°2. Lausanne 64 p.

MAIRE R., 1980 : Eléments de karstologie physique. Spélunca spécial n°3 FFS Paris, 56 p.

MAIRE R., 1990 : La haute montagne calcaire. Karstologia-Mémoires n°3, AFK/FFS, Gaillard, 731p.

MUIR D., FORD D., 1985 : Castleguard. Ministère des Approvisionnements et Services. Canada. 262 p.

NICOD J., 1972 : Pays et paysages du calcaire. Coll. "sup. Le Géographe", PUF, Paris, 239p.

POVARA I. et al. 1990 : Speologie : ghid practic. Editura Sport-Turism. Bucarest. 237 p.

QUINIF Y., 1989 : La datation uranium-thorium. Spéléochronos n°1, CERAK. Mons. p.3-21.

RENAULT Ph., 1970 : La formation des cavernes. Coll. "Que sais-je?", n°1400, PUF, Paris, 126p.

SCHROEDER J., 1976 : Cartes morphologiques des grottes de la Nahanni, Territoires du Nord.Ouest. Canada. Département de Géographie., Université du Québec. 2 p., 4 cartes hors texte.

## **ANNEXE : NOTE SUR LES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES DES EAUX**

*d'après un compte-rendu de Christophe  
TSCHERTER*

Certains paramètres comme la température, le CO<sub>2</sub> ou l'O<sub>2</sub> dissous doivent être mesurés directement sur le terrain car un prélèvement entraînerait une modification trop conséquente de leur valeur. Le pH et la conductivité se mesurent indifféremment sur le terrain avec de bons appareils portatifs, qu'en laboratoire, où la mesure peut se faire dans des conditions stables et contrôlées, ce qui n'est pas le cas sur le terrain. Les bilans ioniques peuvent être aujourd'hui saisis sur le terrain grâce à des valisettes contenant des kits d'analyse, véritables laboratoires ambulants pour certaines, mais on perd en précision par rapport au labo. et ces valises sont souvent prévus pour d'autres usages que les mesures des paramètres "karstiques".

Les principaux paramètres dont la mesure est utile au spéléo-karstologue sont présentés ci-dessous, ainsi que quelques précautions pratiques à prendre lors des mesures sur le terrain ou des prélèvements :

### **I - Principaux paramètres physico-chimiques**

#### **A - Le pH**

le pH ou "puissance hydrogène" (Sorensen, 1909) mesure la concentration des ions H<sup>+</sup> de l'eau, exprimée par l'inverse du logarithme décimal de l'activité en ions H<sup>+</sup> de la solution, sur une échelle de 1 à 14 (pH < 7 = acide ; pH > 7 = alcalin)

Le pH conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, il est étroitement lié à l'origine des eaux. et à la nature des terrains traversés.

L'eau est naturellement un milieu tamponné par les divers équilibres entre ions présents. Le pH mesure la balance entre les ions hydrogènes H<sup>+</sup> (qui ont un effet acidifiant) et les ions hydroxydes OH<sup>-</sup> (qui ont un effet alcalinisant). C'est la présence en plus ou moins grande concentration d'ions hydrogénocarbonate (bicarbonates) HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> qui tamponne ces variations

En milieu karstique, le pH des eaux varie entre 7 et 8,5.

#### **B - La conductivité**

C'est l'inverse de la résistivité, qui exprime la résistance opposée par l'eau au passage d'un courant électrique entre deux électrodes. Plus l'eau est pure, plus la résistivité est grande et la conductivité faible, plus l'eau est chargée en matières dissoutes, plus la résistivité est faible est la conductivité grande. On utilise donc ce paramètre pour apprécier la quantité de matières en solution, c'est à dire le degré de minéralisation de l'eau. L'unité est le ohm. cm pour la résistivité et le Siemens par centimètre (S/cm) pour la conductivité Pour les eaux naturelles l'ordre de grandeur est en fait le mS/cm. L'échelle varie de 150 mS/cm à plus de 500 mS/cm. La conductivité s'accroît d'amont en aval des cours d'eau.

A 20°C, il faut multiplier la valeur de conductivité en mS par 0,688 pour obtenir la minéralisation globale de l'eau en mg/l

#### **C - La température**

Elle intervient de manière considérable sur toutes les réactions hydrochimiques et par conséquence sur le pH, la conductivité, le CO<sub>2</sub> dissous...

#### **D - Le CO<sub>2</sub> (gaz carbonique) dissous**

C'est lui qui intervient de manière primordiale dans le processus de dissolution en se combinant avec l'eau (H<sub>2</sub>O) pour donner de l'acide carbonique (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) qui va lui même permettre la décomposition de carbonate de calcium solide (CaCO<sub>3</sub>) en bicarbonate de calcium Ca (HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (en solution ionique), mais aussi en agissant ensuite directement sur ce dernier pour le maintenir en solution. La part de CO<sub>2</sub> en excès dans l'eau qui sert à ce dernier usage est appelée CO<sub>2</sub> équilibrant, par opposition au CO<sub>2</sub> agressif qui s'est combiné avec l'eau pour dissoudre la roche

Une eau contenant du CO<sub>2</sub> dissous sera donc bien plus agressive, que ne peut le faire l'eau pure (qui sature à 14 mg de calcite (CaCO<sub>3</sub>) par litre à 25°C). La quantité de CO<sub>2</sub> dissous dans l'eau dépend de la pression partielle de CO<sub>2</sub> (- p (CO<sub>2</sub>) -) dans l'air et de la température de l'eau :

- dépendance vis à vis de la pression partielle de CO<sub>2</sub> dans l'air : c'est une application de la loi de Henry : "la solubilité d'un gaz (ici le CO<sub>2</sub> -

## **Méthode de réalisation d'un traçage - Application au massif du Granier**

NDLR-) dans un liquide (ici l'eau de l'actif - NDLR-) est, à température donnée, proportionnelle à la pression partielle de ce gaz (toujours le CO<sub>2</sub> -NDLR-) dans la phase gazeuse (ici l'air -NDLR) qui surmonte la solution (toujours l'eau de notre actif -NDLR-)". La P (CO<sub>2</sub>) atmosphérique est de 0,03% en volume et l'eau de pluie est en équilibre avec cette pression partielle. Mais il suffit que les eaux météoriques percolent à travers un sol pour qu'elles se chargent en CO<sub>2</sub> dans cette atmosphère confinée enrichie en gaz carbonique par les racines des plantes où la P (CO<sub>2</sub>) peut atteindre 10% (RENAULT, 1970). Dans les cavités, karstiques, la P (CO<sub>2</sub>) peut encore atteindre 10 à 100 fois la pression partielle atmosphérique, parfois plus dans quelques cavités, réputées à juste titre comme dangereuses.

- dépendance vis à vis de la température : à 20°C l'eau peut contenir deux fois moins de CO<sub>2</sub> qu'à 0°C. C'est là un exemple de la règle qui veut que plus la température de l'eau se réchauffe, moins la solution peut contenir de CO<sub>2</sub>.

En résumé, une eau froide dans une atmosphère riche en CO<sub>2</sub> pourra elle-même être très chargée en CO<sub>2</sub> et donc très corrosive vis à vis des roches carbonatées..

### **E - L'oxygène dissous**

Sa mesure permet de connaître l'aptitude des eaux à abriter des êtres vivants et de connaître l'état sanitaire de l'eau par rapport à la pollution organique.

### **F - La dureté totale ou titre hydrotimétrique ou TH**

Expression de la teneur en calcium et en magnésium de l'eau (essentiellement en calcium dans le contexte géologique du Granier). La concentration peut s'exprimer en mg/l de CaCO<sub>3</sub>, ou en degré français (1 °f = 10 mg CaCO<sub>3</sub>/litre) ou en degré allemand (cas des valisettes d'analyse Aquamerck : 1° d = 1,78 °f = 17,8 mg/l).

On peut aussi mesurer séparément les teneurs en calcium (Ca<sup>++</sup>) et en magnésium (Mg<sup>++</sup>), en mg/l. On parle alors du dosage des ions alcalino-terreux.

### **G - L'alcalinité : du Titre Alcalimétrique (T.A) au Titre Alcalimétrique Complet (TAC)**

Expression de la teneur en hydrogénocarbonate (= bicarbonate) en mg/l de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. On peut aussi employer le degré français.

Le T.A. dose les hydroxydes OH<sup>-</sup> et les carbonates CO<sub>3</sub><sup>--</sup>

Le TAC ou alcalinité totale dose OH<sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>--</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>--</sup> (ion sulfate) et SiO<sub>3</sub><sup>-</sup> (ion silicate) (essentiellement les trois premiers pour les eaux karstiques du Granier).

Pour les eaux karstiques, l'alcalinité varie autour de 100 à 200 mg/l.

## **II - Quelques conseils pour des mesures ou des prélèvements sur le terrain**

### **A - Précautions lors des mesures et des prélèvements**

- Il faut veiller à ne pas perturber le fond ou les berges de manière à ne pas voir interférer des matières en suspension qui peuvent fausser les mesures de pH et conductivité (argile, humus, vase...).

- Les appareils de mesure peuvent donner ponctuellement des valeurs erronées et aberrantes (s'ils ont pris l'eau, un choc...) : rester vigilant, critique et contrôler les séries de mesures pour repérer les anomalies.

### **B - Précautions pour la bonne conservation des prélèvements**

La prise d'échantillon est une opération excessivement simple mais qui doit être réalisée dans les règles, à savoir :

- Prélever un volume d'eau suffisant pour assurer convenablement toutes les analyses programmées.

- Utiliser des flacons en plastique stable (pour le terrain difficile) ou en verre épais, à fermeture étanche et de préférence à parois opaques ou colorés. En secours, une gourde bien rincée ou une bouteille plastique costaud (Celle de Coca-cola est souple mais très résistante) peut convenir.

- Toujours rincer les récipients avec l'eau à prélever avant la prise.

- Marquer avec soin la référence de chaque échantillon sur le tube et sur une liste, avec mention de la date et de l'heure du prélèvement.

- Placer l'échantillon dès que possible au frais et à l'abri de la lumière, éviter les transvasements inutiles.

## **C - Description de l'environnement de la station de mesure ou de prélèvement**

Il est indispensable de préciser les conditions environnementales des mesures ou prélèvements pour leur bonne interprétation. Il s'agit essentiellement du contexte hydromorphologique, hydrologique et météorologique :

### 1 - Contexte hydromorphologique

- Type de station : fleuve, rivière, ruisseau, torrent, rivière souterraine, eau de percolation, lac, étang, lac souterrain, siphon...
- Type d'écoulement : eau calme (= "lentic"), eau rapide (= "lotique"), tourbillonnaire...
- Nature du fond : lit rocheux érodé, lit sédimentaire déposé.
- Profondeur de l'eau à l'endroit de la station + profondeur du point de mesure ou de prélèvement.
- Divers : pente, cascade, barrage, algues, mousses, mousse sur l'eau, couleur voire odeur de l'eau...

### 2 - Contexte hydrologique

Mesure ou estimation du débit.

### 3 - Contexte météorologique

Il est essentiel de disposer de données météorologiques fines sur la zone karstique étudiée pour au moins les 48 h qui précèdent les mesures ou prélèvement. Il faut corrélérer ensuite ces données aux mesures de débit mais aussi de T°, conductivité, etc.