

Traçage du scialet Zakapouet (2^e partie)

B.L. - Version du 2 novembre 2009

Le traçage du scialet Zakapouet sous les Rochers du Playnet, à la limite des deux communes de l'Isère de Saint-Andéol et Corrençon, a eu lieu fin août - début septembre 2009. Il était co-organisé par le CDS Ardèche et le CDS Isère avec la participation des spéléos de la Drôme.

La première partie du rapport fournit les renseignements sur le gouffre, les sources à surveiller et les conditions géologiques du traçage.

Cette deuxième partie du rapport est destinée à présenter les résultats du traçage, les analyses faites aux différentes sources et les enseignements que l'on peut déduire sur les circulations souterraines de ce secteur du Vercors.

1- Les débits de l'Adouin

Nous avons plusieurs sortes de données pour le débit de l'Adouin. La Diren mesure le ruisseau à 1 km en aval de la source, au pont Nora, et l'on obtient facilement les débits journaliers (qui seront suffisants pour nos besoins). Par ailleurs, des mesures de concentration de fluorescéine à la source de l'Adouin et au limnigraphe de la Diren nous permettent d'estimer le rapport des débits. Enfin, nous avons procédé à une mesure chimique du débit le 8 septembre sur la source de l'Adouin.

1-1- Les mesures de la Diren de Lyon au pont Nora

Entre la source de l'Adouin et le pont Nora, quelques petits affluents apportent un certain débit.

On obtient l'évolution des débits journaliers donnés par la Diren sur Internet.

Dates	15/ 08	16/ 08	17/ 08	18/ 08	19/ 08	20/ 08	21/ 08	22/ 08	23/ 08	24/ 08	25/ 08	26/ 08	27/ 08	28/ 08	29/ 08
Débits	92	87	83	79	76	75	75	75	75	75	407	670	174	130	103

Dates	30/ 08	31/ 08	1/ 09	2/ 09	3/ 09	4/ 09	5/ 09	6/ 09	7/ 09	8/ 09	9/ 09	10/ 09	11/ 09	12/ 09	13/ 09
Débits	96	93	89	85	82	81	78	77	75	72	72	70	71	68	69

Dates	14/ 09	15/ 09	16/ 09	17/ 09	18/ 09	19/ 09	20/ 09
Débits	69	70	68	66	65	65	75

Débits journaliers à la station du Pont Nora (Diren)

Après la crue du 26 août, le ruisseau et la source de l'Adouin ont régulièrement vu baisser leur débit. Sauf fin septembre où quelques orages ont provoqué de petites montées d'eau.

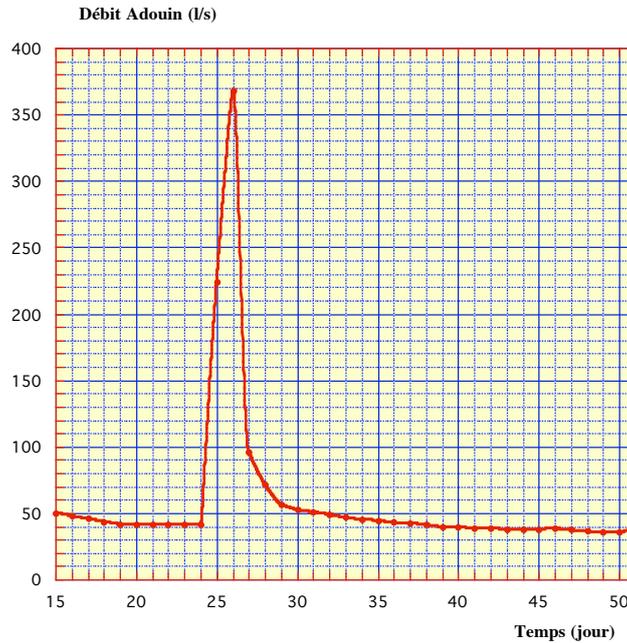


Fig. 1- Débits journaliers de l'Adouin (d'après le débit de la Diren x 0,55)
La crue du 26 août est très ponctuelle

Les débits instantanés sont bien sûr plus élevés que les débits journaliers. On a pu trouver le débit instantané au Pont Nora prélevé par la Diren. Le 25 août 2009 à minuit, il était de $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

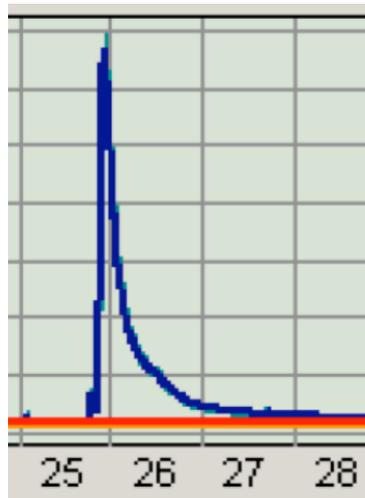


Fig. 2- La crue du 25 août 2009 à l'Adouin (une division pour $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$)
Le débit instantané de la crue au Pont Nora a été au maximum de $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$

1-2- Correction de débit entre le ruisseau au pont Nora et la source de l'Adouin

On a prélevé de l'eau à l'Adouin et au pont Nora. Le rapport des concentrations en fluorescéine donne une idée sur le rapport des débits (en négligeant les adsorption éventuelles du colorant entre ces deux points).

- Le 3 septembre 35,5 à l'Adouin, 14,5 au pont Nora, soit un rapport de 0,41
- Le 4 septembre 50 à l'Adouin, 28 au pont Nora, soit un rapport de 0,56
- Le 4 septembre 61 à l'Adouin, 28 au pont Nora, soit un rapport de 0,46
- Le 8 septembre 108 à l'Adouin et 58 au pont Nora, soit un rapport de 0,54

On peut donc prendre un rapport moyen de 0,55. On admettra donc que le débit de l'Adouin est proportionnel au débit du ruisseau au pont Nora et vaut 55 % du débit mesuré par la Diren.

1-3- Mesure chimique du débit de l'Adouin le 8 septembre

On a déterminé le 08/09/09 le débit du torrent issu de la source de l'Adouin par la méthode chimique. Elle consiste à injecter du sel en un point et à mesurer au cours du temps la concentration en sel en un point suffisamment loin en aval pour que le mélange se soit fait correctement.

Étalonnage préliminaire. On a déterminé qu'une masse de 1 kg de sel dilué dans un mètre cube d'eau augmentait la conductivité électrique de 2100 micro-Siemens par cm. Comme le phénomène est linéaire, on peut déterminer l'augmentation de la conductivité pour n'importe quelle concentration.

Mesures sur le terrain. Sur le terrain, Emmanuel Fouard a injecté la masse $M_s = 84$ g de sel dilué dans un peu d'eau au niveau du barrage.

Michel Roche et Baudouin Lismonde ont mesuré 30 m en aval la conductivité de l'eau toutes les 10 s.

Dépouillement. À partir des mesures, on construit la courbe des conductivité électrique en fonction du temps. D'où l'on déduit le débit de sel passé.

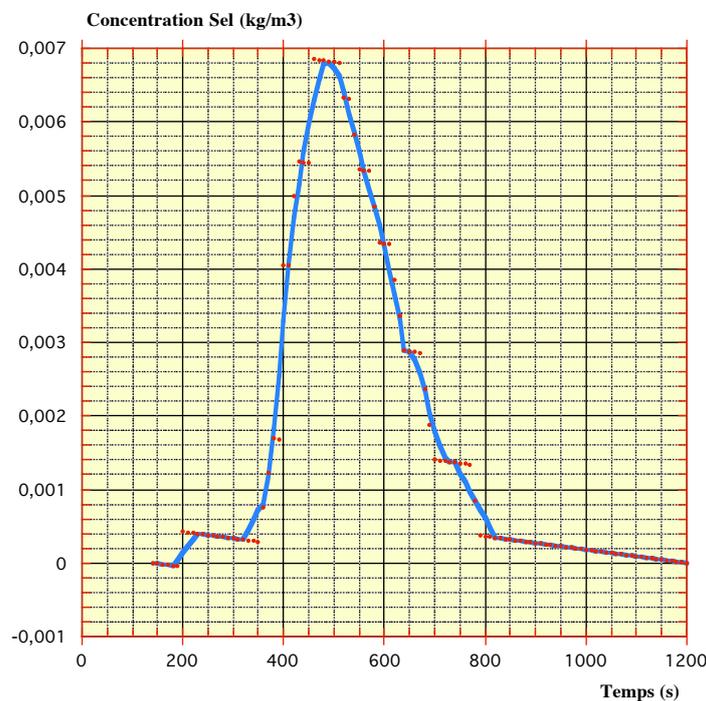


Fig. 3- La concentration en sel (en kg/m^3)

On suppose que le débit du torrent n'a pas varié pendant la durée de la mesure. On suppose aussi que tout le sel injecté est passé et que le mélange a été bien réussi. La conservation de la masse de sel se traduit par la relation :

$$\int_0^{\infty} \dot{m}_s dt = M_s \Leftrightarrow \int_0^{\infty} C_s q_{\text{eau}} dt = M_s \Leftrightarrow q_{\text{eau}} \int_0^{\infty} f(K) dt = M_s$$

On calcule avec un tableur la valeur de l'intégrale et on appelle A la valeur numérique obtenue. D'où le débit :

$$A = \int_0^{\infty} f(K) dt \Rightarrow q_{\text{eau}} = \frac{1}{A} M_s$$

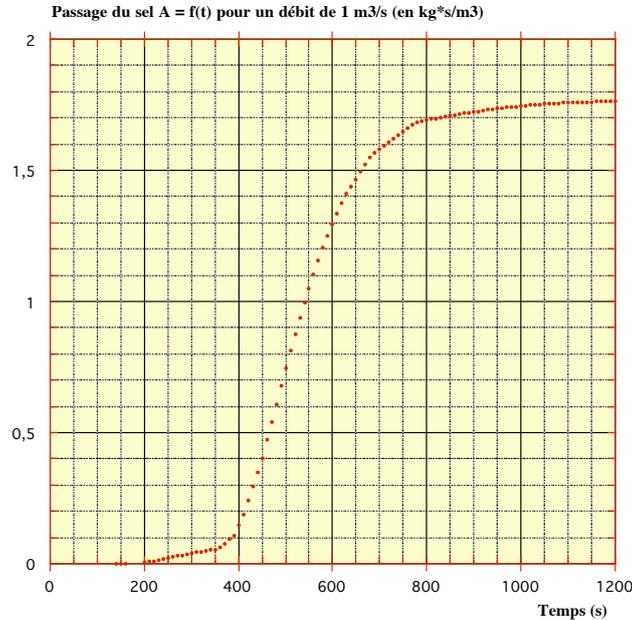


Fig. 4- La masse totale A(t) passée pour un débit de 1 m³/s

Pour un temps grand, on trouve une masse A de 1,76 kg.s/m³ et la masse M de 0,084 kg. D'où la valeur du débit :

$$Q = 47,7 \text{ l/s, soit environ } 48 \text{ l/s.}$$

Conclusion : le débit de l'Adouin était le 8 septembre 2009 à 14 h de 48 l/s

Ce débit paraît trop grand à ceux qui ont vu l'eau couler. Peut-être qu'une bonne partie de l'eau coulait sous les blocs ? Les débits mesurés par la Diren conduirait plutôt à une valeur de l'ordre de 41 l/s.

2- Les prélèvements aux trois sources et leur analyse

2-1- Les prélèvements aux trois sources possibles

Trois sources ont été surveillées : l'Adouin, la Goule Blanche et la source d'Arbois. Les prélèvements à l'Adouin ont été faits aux griffons de la source, sauf ceux marqués « limnigraphe » qui ont été faits un km en aval, au niveau du Limnigraphe de la Diren de Lyon, au pont Nora.

Les prélèvements à la Goule Blanche ont été faits tantôt au porche (mois d'août), tantôt au canal de la centrale en aval du pont de la Goule Noire car la route de la Bourne a été fermée à partir du 1er septembre.

Les prélèvements de la source d'Arbois ont eu lieu à la source elle-même juste en amont du barrage. L'accès de la source d'Arbois a été interdit après le 7 septembre pour raisons de travaux. Les prélèvements ont donc été interrompus.

Source de l'Adouin (39 prélèvements)

Numéro	Date	Heures	Auteur	Signal
01-	26 août	10 h 30	MR	1,5
02-	26 août	17 h 30	DP	0
03-	27 août	6 h 30	DP	0,5
04-	27 août	10 h 45	DR	1
05-	27 août	19 h 30	DP	0
06-	28 août	8 h 30	DP	0
07-	28 août	18 h 30	MR	1
08-	29 août	16 h	MR	1
09-	30 août	16 h 15	MR	1
10-	31 août	18 h	DP	0
11-	1 ^{er} septembre	17 h 30	DV	1
12-	2 septembre	18 h	DP	2,5
13-	3 septembre	17 h	MR	33
14-	3 septembre	21 h 05	BL	35,5
15-	3 septembre	21 h 50	BL au Limnigraphe de la Diren	14,5
16-	4 septembre	8 h	DV Nora	28
17-	4 septembre	8 h	DV	50
18-	4 septembre	13 h 07	YL	59
19-	4 septembre	19 h 25	BL	61
20-	4 septembre	19 h 10	BL au Limnigraphe de la Diren	28
21-	5 septembre	8 h	DP	60
22-	5 septembre	19 h	MR	101
23-	6 septembre	10 h	DP	154,5
24-	6 septembre	19 h 30	DP	153
25-	7 septembre	19 h	DP	131
26-	8 septembre	15 h 30	BL au Limnigraphe de la Diren	58
27-	9 septembre	11 h 30	CP	85
28-	10 septembre	15 h 30	EP	69
29-	10 septembre	17 h 15	DV	67,5
30-	12 septembre	16 h	EP	38
31-	13 septembre	16 h	CP	32
32-	14 septembre	18 h	EP	22,5
33-	15 septembre	19 h	EP	19
34-	16 septembre	19 h	EP	12
35-	17 septembre	18 h	DP	12
36-	18 septembre	15 h 50	BL	11
37-	21 septembre	18 h	EP	4,5
38-	24 septembre	18 h	DP	3,5
39-	25 septembre	18 h 55	NR	3

Les auteurs des prélèvements sont :

MR	Michel Roche
DP	Domie Parein
DV	Daniel Vérilhac
BL	Baudouin Lismonde
YL	Yann Lurand
CP	Cyann Pitiot (fille de DP)
EP	Emmanuel Pitiot (compagnon de DP)
NR	Nicolas Renous

La source de l'Adouin a été équipée en parallèle avec un fluorimètre GGUNFL30F au fil de l'eau qui a fonctionné du 25 août au 9 septembre avec une mesure toutes les 15 mn.

Le colorant a été signalé à l'Adouin par Michel Roche le jeudi 3 septembre à 17 h, soit 8 jours après l'injection. Le colorant est sorti lentement du fait du débit très bas de la source. En réalité, sur les résultats du fluorimètre au fil de l'eau, on voit que la sortie a commencé le 2 septembre vers 14 h 20.

Goule Blanche (13 prélèvements)

1- 27 août	7 h 50	PBL	1
2- 28 août	17 h 50	PBL	2
3- 29 août	9 h 15	CP	2
4- 30 août	11 h 50	PBL	2
5- 31 août	0 h 45	LR	2
6- 2 septembre	17 h 30	PBL	3
7- 3 septembre	18 h	DB	2
8- 4 septembre	18 h	DB	4
9- 4 septembre	18 h 30	BL	3
10- 5 septembre	20 h	DB	0 (mesures du 2 octobre 2009)
11- 7 septembre	18 h 30	DB	0
12- 8 septembre	17 h 30	?	0
13- 12 septembre	18 h	PBL	0

(l'eau de ville de Grenoble était à 0 au début des mesures et à 3 à la fin des mesures)

Les auteurs des prélèvements sont :

PBL	Pierre-Bernard Laussac
CP	Cécile Pacaud
LR	Lionel Revil
DB	?
BL	Baudouin Lismonde

Source d'Arbois (6 prélèvements)

1- 27 août	16 h	FM	2
2- 28 août	12 h 30	FM	1
3- 30 août	16 h 30	FM	2
4- 1 ^{er} septembre	13 h	FM	1
5- 4 septembre	17 h 20	BL	2
6- 6 septembre 2009		HJS	0 (mesures du 2 octobre)

Les auteurs des prélèvements sont :

FM	Françoise Magnan
HJS	Henri Jacques Sentis et Dominique Artru
BL	Baudouin Lismonde

3- Les mesures au fluorimètre GGUNFL30F placé à l'Adouin

Le fluorimètre de la FFS placé à la source de l'Adouin a assez bien fonctionné. En voici les résultats.

3-1- Concentration en fluorescéine

L'appareil doit être étalonné avec une solution de fluorescéine connue. Cela n'a pas été fait par manque de temps (l'appareil est reparti dans le Doubs pour un nouveau traçage). Du coup, nous avons dû nous rabattre sur une valeur trouvée dans le mode d'emploi. Le signal du fluorimètre indique 278 quand la concentration en fluorescéine est de 100 ppb, c'est-à-dire $100 \cdot 10^{-9} = 10^{-7}$ kg de fluo par kg d'eau, soit une concentration $C = 10^{-10}$ kg/m³.

Avec cette constante d'étalonnage, on obtient une courbe qui, comparée aux mesures au fluorimètre Turner 450 de la DDAF, semble trop faible d'un facteur exactement 2. Nous avons donc pris le fluorimètre Turner comme base et supposé que l'étalonnage du fluorimètre GGUN-F serait modifié pour donner $S = 139$ pour une concentration de 10^{-7} kg/kg d'eau. Cela reste à vérifier ...

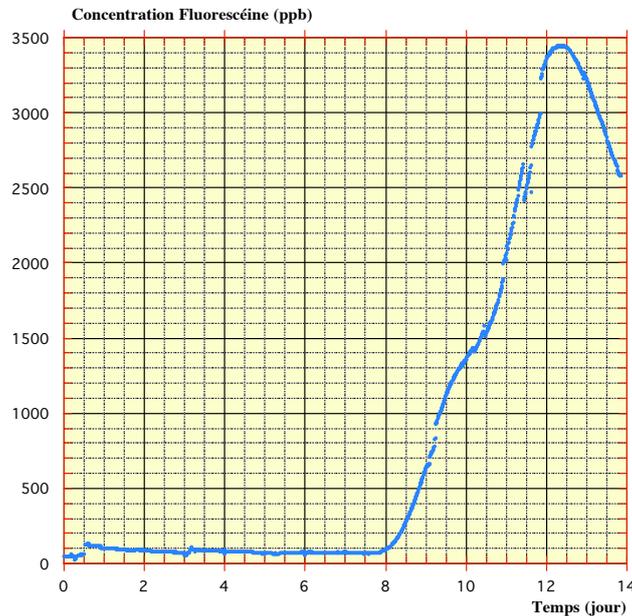


Fig. 5- Concentration de la fluorescéine (ppb = mg de fluo par m³ d'eau)
Les temps sont comptés en jours après l'injection le 25 août à 16 h 45

L'injection a eu lieu le 25 août à 16 h 45, (soit 0,6979 jours, voisin de 0,7 jours). La fluorescéine a commencé à sortir au bout de 7,9 jours. C'est-à-dire le 2 septembre à 14 h 20 mn. Le maximum a été atteint au bout de 12,3 jours, soit le 7 septembre à 0 h. La queue a été coupée par l'interruption des mesures au bout de 13,8 jours après l'injection, soit le 8 septembre vers midi.

Les sauts de fluorescence semblent provenir de particules qui se collent sur les fenêtres de mesure.

3-2- Température de l'eau

La température de l'eau a augmenté brutalement au moment de l'arrivée de la crue. Elle est passée de 7,05 à 7,41°C, soit 0,36°C d'augmentation, puis elle a diminué tout aussi brutalement de 7,41°C à 6,76°C, soit 0,65°C, puis elle a augmenté régulièrement de 6,76 °C à 7,01 °C, revenant à peu près aux valeurs initiales.

On connaît la raison de ce comportement thermique. La crue remet dans le circuit, via l'onde de pression, des eaux qui ont stagné en dehors des collecteurs et a pu profiter du flux géothermique. Elle est donc plus chaude. Puis, l'eau de la pluie finit par arriver à la source et comme elle n'a pas eu le temps de profiter du flux géothermique, elle est plus froide.

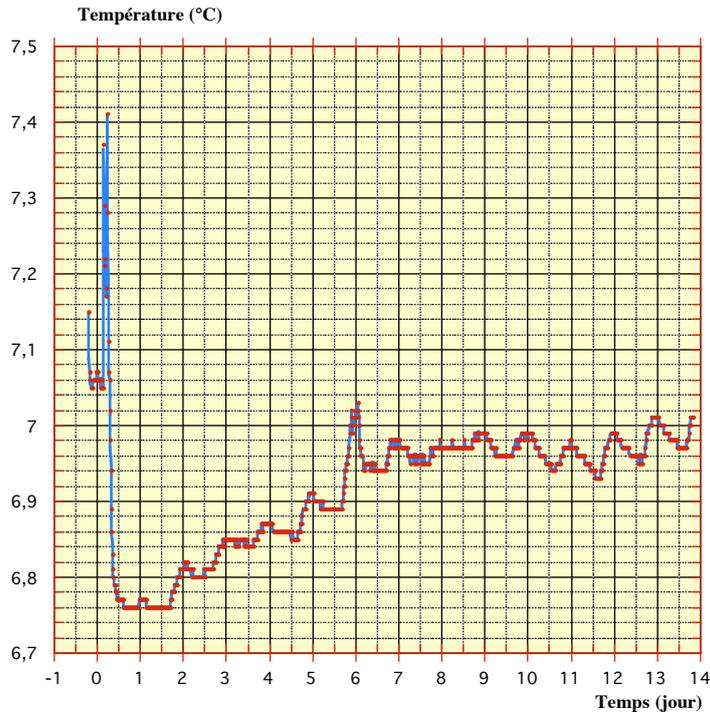


Fig. 6- Température de l'eau (en °C)

Les temps sont comptés en jours après l'injection le 25 août à 16 h 45

On remarque avec intérêt des ondulations de la température. Elles sont journalières et les températures sont maximales à un nombre rond de jours après l'injection, c'est-à-dire tous les jours vers 16 h 30. Cette variation provient du chauffage par l'air de l'eau au voisinage de la source car le fluorimètre est à 7 ou 8 m de distance des griffons.

3-3- Conductivité de l'eau (en microSiemens par mètre)

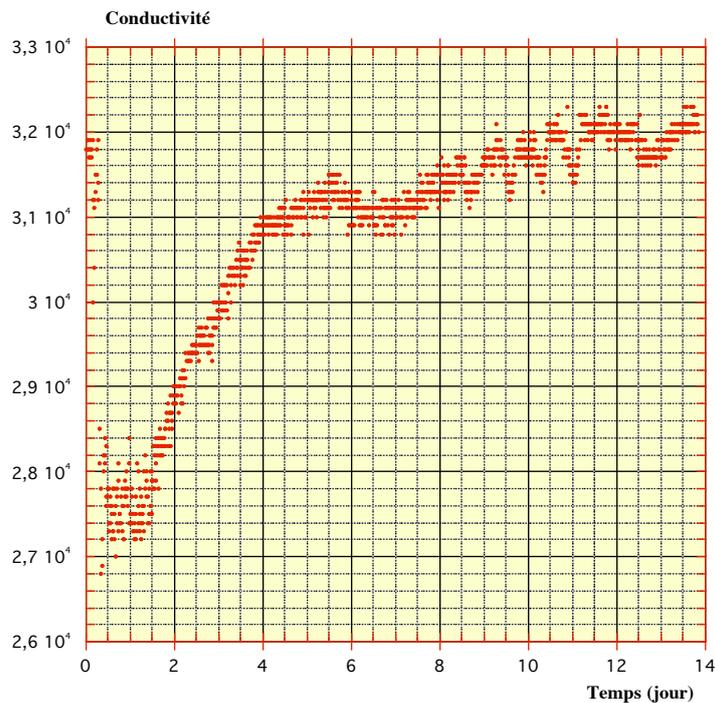


Fig. 7- Conductivité de l'eau ($\mu\text{S} / \text{m}$)

Les temps sont comptés en jours après l'injection le 25 août à 16 h 45

Remarque pour les unités : $1 \mu\text{S}/\text{m} = 0,01 \mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductivité traduit la minéralisation de l'eau. L'eau de pluie est peu minéralisée et n'a pas le temps de dissoudre le calcaire quand le temps de passage est court. La conductivité subit une baisse brutale au moment de la crue. Puis, sa vitesse diminue et elle se charge de plus en plus en minéraux dissous.

On constaterait, si on comparait avec une courbe de débit, que le débit a augmenté plus tôt que la chute de conductivité.

La conductivité est de $322 \mu\text{S}/\text{cm}$ au moment de l'arrêt. La mesure de la conductivité faite à l'occasion de la mesure du débit nous a fourni une conductivité comparable de $324 \mu\text{S}/\text{cm}$.

Les oscillations de la conductivité, bizarrement, ne sont pas tout à fait calquées sur celles des températures.

3-4- Turbidité de l'eau (en NTU)

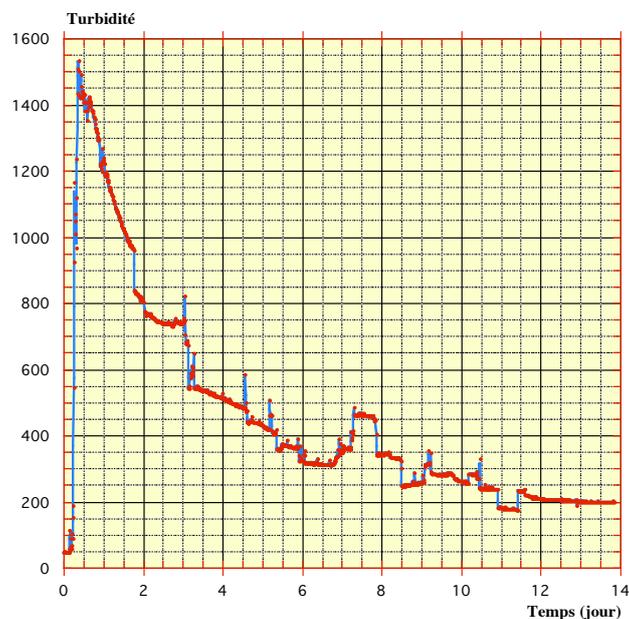


Fig. 8- Turbidité de l'eau
Les temps sont comptés en jours après l'injection le 25 août à 16 h 45

Comme on pouvait le deviner, l'arrivée de la crue s'est traduite par une forte augmentation de la turbidité. Cette turbidité est liée au brassage plus important de l'eau qui remet en suspension des dépôts du lit du ruisseau souterrain et aussi à une érosion possible des berges et mise en suspension de dépôts latéraux. La turbidité a ensuite diminué très lentement d'une manière quasiment exponentielle.

Les sauts que l'on peut noter doivent provenir de particules solides qui se collent sur les fenêtres de mesure. La décantation de particules en suspension suit la loi de Stokes. En plein écoulement, la turbulence suffit à maintenir en suspension les particules. En revanche dans les zones calmes, les particules descendent au fond des bassines. Si on connaissait la taille des particules, le temps de relaxation de la turbidité nous renseignerait sur les écoulements.

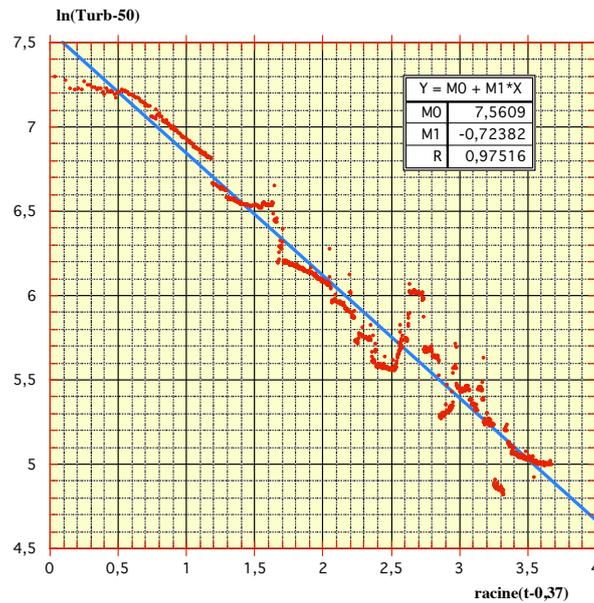


Fig. 9- Essai d'une loi empirique pour la décroissance de la turbidité

En tâtonnant, on peut proposer une loi empirique pour la décroissance de la turbidité dans le temps :

$$Turb = 50 + 1922 \exp(-0,7238\sqrt{t - 0,37})$$

Mais cette loi qui ne repose sur aucun mécanisme physique identifié est sujette à caution.

3-5- Analyse du début de la crue

L'orage très court survenu le soir du mardi 25 août sur les hauts plateaux et autour de Saint-Martin-en-Vercors nous fournit des données de crue très intéressantes. On va examiner très soigneusement les déphasages entre les différentes grandeurs sachant que le pas de temps des mesures est un peu grand ce qui limitera la précision.

D'après le Limnigramme de la Diren au pont Nora, la crue a commencé le 25 août vers 19 h 15. Cela ne correspond pas très bien avec nos relevés. Le maximum de la crue est survenu à 22 h 34 environ.

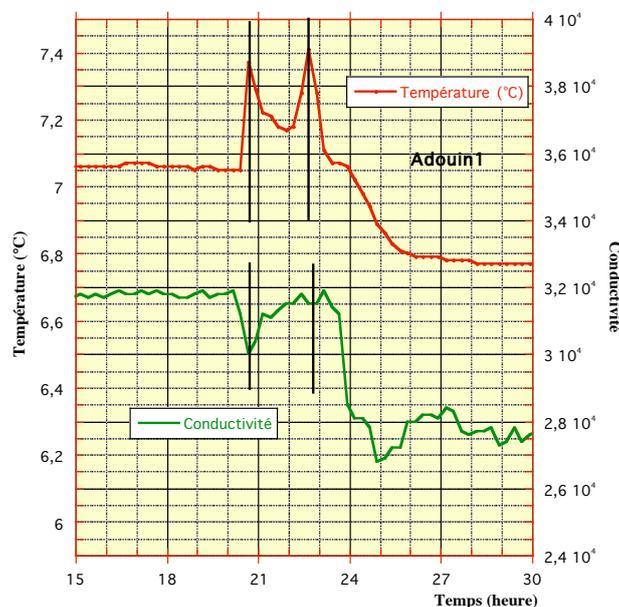


Fig. 10- Corrélation température - conductivité

Le graphe montrant la température et la conductivité est intéressant. La température présente deux pointes positives à 20 h 45 et 22 h 40, soit un décalage de 1 h 55 mn. On peut les interpréter de la façon suivante. L'adouin recueille les eaux venant d'Herbouilly et celles qui viennent des Hauts Plateaux. Au moment de la mise en charge du système, des eaux stagnantes dans des zones en dehors des chemins principaux de l'eau sont mises en pression par l'arrivée brutale de l'eau de pluie. Ces eaux sont partiellement chassées par la crue et comme elles stagnaient, elles ont récupéré une grande partie du flux géothermique. Les deux pics correspondent aux deux réseaux d'alimentation.

Puis, à ces eaux anciennes, succèdent des eaux plus récentes qui viennent de la pluie. Elles sont plus froides. La diminution rapide du débit permet ensuite à la roche environnante, plus chaude que l'eau qui circule, de la réchauffer de nouveau comme au début.

Pour la conductivité, le phénomène est le même, mais curieusement, l'arrivée d'eau ancienne s'accompagne d'une baisse de la conductivité. On sait que l'eau froide dissout plus de calcaire que l'eau chaude à saturation. C'est peut-être ce qui s'est produit.

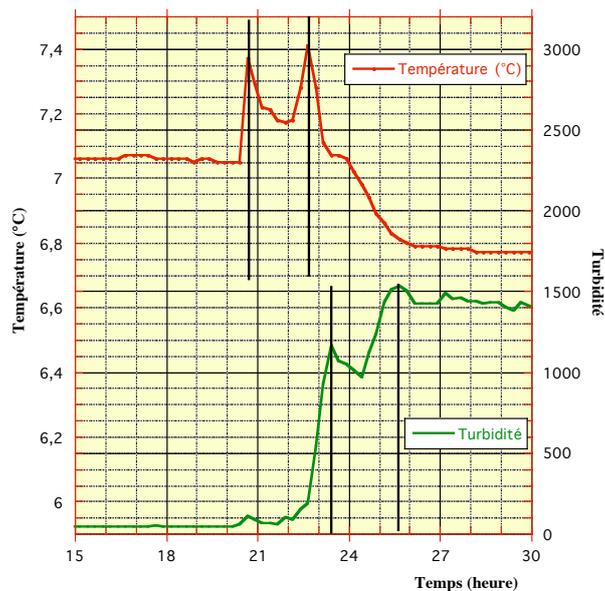


Fig. 11- Corrélation température – turbidité

Alors que les deux grandeurs température et conductivité étaient synchrones, le couple température - turbidité présente des décalages temporels. Sur la courbe de turbidité, on identifie deux maxima (moins marqués que ceux des températures). Mais ils sont en retard de 2 h 40 environ. Le petit maximum visible au premier pic de température peut s'interpréter en disant que l'onde de crue a engendré un petit pic de turbidité, mais c'est surtout l'eau de l'averse qui présente une forte turbidité.

Comme on ne dispose pas d'une grande finesse sur les débits instantanés de la crue, on ne peut pas calculer avec précision le volume d'eau sortie entre l'arrivée du pic de température et celle du pic de turbidité. Adoptons un débit instantané moyen de $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ pendant ce laps de temps de 2 h 40, cela fournit un volume de $24\,000 \text{ m}^3$ d'eau. Ce volume, le tiers du volume évacué (trouvé plus loin) constituerait le volume d'eau sur le chemin de l'eau et poussé par la crue. Ce volume est très faible et se répartit entre le réseau d'Herbouilly et celui des Hauts plateaux, mettons $12\,000 \text{ m}^3$ chacun. Pour une distance à vol d'oiseau de 5140 m avec le scialet Zakapouet, cela conduit à une section moyenne d'eau de $2,33 \text{ m}^2$, ou un diamètre équivalent de 1,7 m le long du trajet. C'est très peu et semble démontrer que le réseau est essentiellement vadose.

La précision sur le calcul de ce volume aurait été meilleure si on avait installé un limnigraphe (ou un capteur de pression) sur la source de l'Adouin.

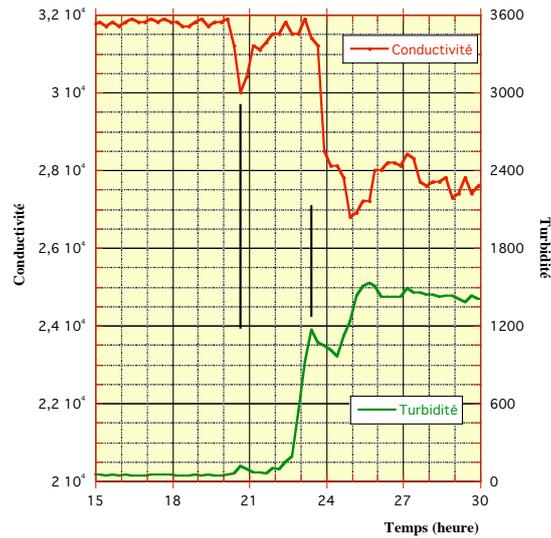


Fig. 12- Corrélation Conductivité – turbidité

Les courbes conductivité – turbidité semblent présenter la même sorte de décalage temporel, ce qui paraît naturel.

4- Les mesures des flacons prélevés

4-1- Analyse des prélèvements

Cette analyse a été faite par moi-même avec l'aide de Nicolas Renous le 24 septembre avec le fluorimètre aimablement mis à disposition par la DDAF Grenoble (Jérôme Biju-Duval). Le reste des flacons a été analysé avec Delphine Bon le 2 octobre. Les résultats des mesures sont reportés dans le tableau des prélèvements.

Comparaison entre les mesures des flacons et les mesures du fluorimètre GGunFL30

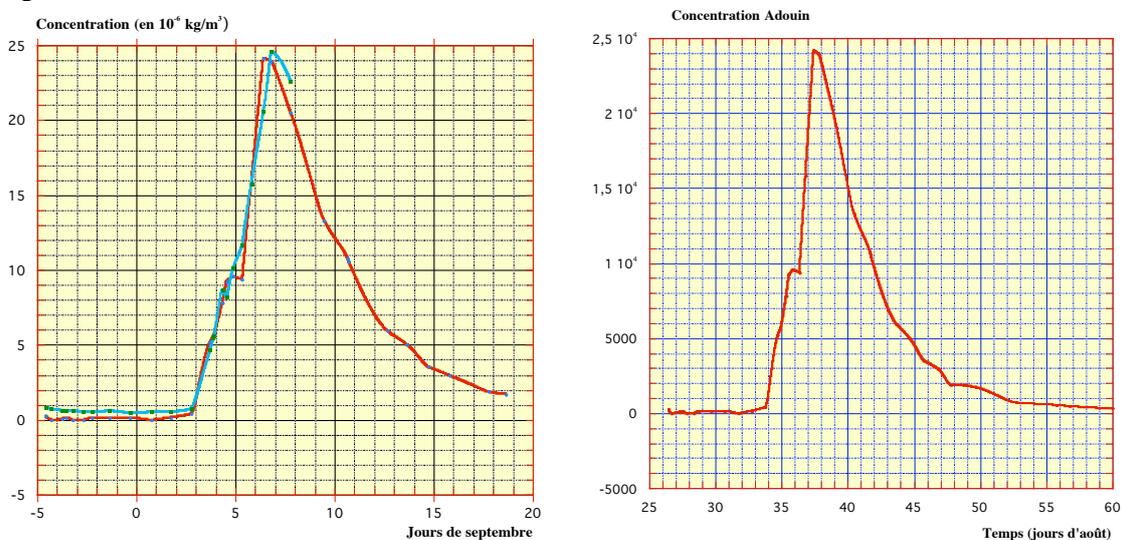


Fig. 13- Comparaison entre les mesures des flacons et le fluorimètre, à gauche

Fig. 14- La concentration en fonction du temps à l'Adouin, à droite

La concentration est exprimée en 10^{-9} kgfluo/kg'eau

Les deux courbes sont bien semblables, mais l'absence d'étalonnage du GGUNFL30F fait que les mesures diffèrent à peu près d'un facteur 2. Nous avons donc multiplié les mesures du fluorimètre de la FFS par un facteur 2 pour les comparer aux autres (fig. ci-dessus). L'accord est satisfaisant. Reste à expliquer le facteur 2, c'est-à-dire qu'il reste à faire l'étalonnage du fluorimètre de la fédé.

Distribution des temps de séjour

Si on multiplie à chaque instant la concentration par le débit et qu'on divise par la masse totale sortie, on obtient la distribution des temps de séjour, notée $E(t)$.

Le temps d'arrivée du colorant est de 7,5 jours environ. Le maximum de coloration est arrivé au bout de 11,8 jours. La durée totale de la coloration a dépassé 32 jours. Cette longue durée s'explique par le faible débit de l'Adouin.

Temps moyen

C'est le moment d'ordre 1 de la distribution des temps de séjour :

$$t_{\text{moyen}} \equiv \bar{t} \equiv \int_0^{\infty} t E(t) dt$$

On obtient ici :

$$t_m = 14,04 \text{ jours}$$

Ce temps est un peu plus grand que le temps d'arrivée du maximum qui vaut 11,8 jours.

Le temps de séjour moyen serait infini si on considérait tout le colorant injecté et non pas seulement le colorant restitué. Ce temps moyen de séjour (contrairement au temps du maximum) dépend de la sensibilité du fluorimètre. Ce n'est donc pas un paramètre très pertinent. Certains préfèrent définir ce temps de séjour moyen à partir des deux temps de passage à la moitié de la concentration maximale. On consultera la notice de Schudel et al. (2002) pour l'utilisation de cette méthode de Maloszewski (dite méthode du Pic).

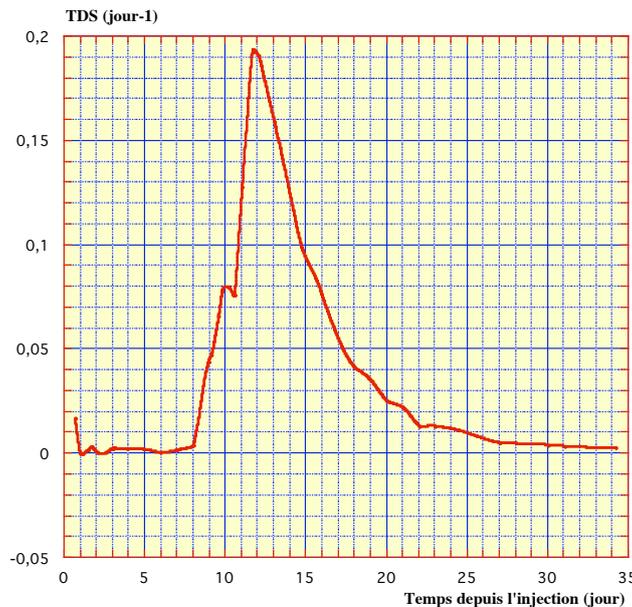


Fig. 15- Distribution des temps de séjour (jour⁻¹)
Elle représente la répartition des temps mis par le colorant pour sortir

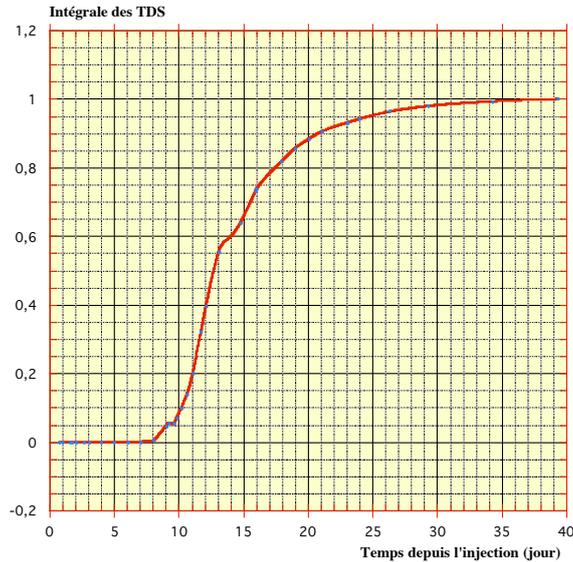


Fig. 16- Intégrale de la distribution des Temps de séjour

Vitesse moyenne du colorant

Le temps de séjour moyen fournit la vitesse moyenne du traçage, obtenue par le rapport de la distance à vol d'oiseau (km) entre l'injection et la sortie divisée par le temps de séjour moyen.

$$U_{\text{moyen}} = \frac{L}{\bar{t}}$$

On obtient ici $U_m = 5140/14,04 = 366$ m/jour, soit 15 m/h. Cette vitesse est faible, mais normale pour le Sud Vercors en période d'étiage.

Volume d'eau sortie à la résurgence depuis l'injection jusqu'à l'instant t_m . On peut calculer par simple intégration, le volume d'eau sortie à la source depuis l'injection. Il s'écrit :

$$V_{\text{écoulé}}(t) = \int_0^{t_m} q(t') dt'$$

On trouve ici $V = 81\,000$ m³. Nous baptisons ce volume : le volume évacué. Ce volume est le volume limité par l'isochrone passant par le point d'injection et centrée sur l'instant du maximum de coloration. C'est un volume assez faible, d'autant plus faible qu'il a plu pendant le traçage.

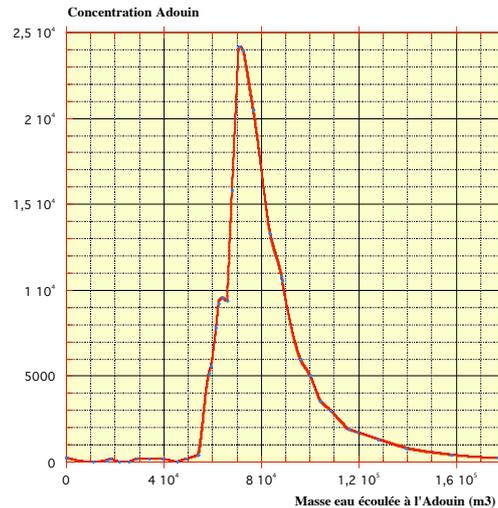


Fig. 17- Le passage de la fluorescéine en fonction du volume d'eau écoulée

Ce dernier schéma est intéressant car il nous donne directement le volume écoulé à l'arrivée des premières traces de colorant : $V_1 = 55\ 000\ \text{m}^3$ et le volume correspondant au passage du maximum $V_2 = 70\ 000\ \text{m}^3$.

Sens physique du volume évacué. C'est un volume d'eau. Il est constitué d'une partie du volume des vides du réseau souterrain (occupés par l'eau) et du volume d'eau de pluie tombée entre les deux instants (temps d'injection et temps moyen) et sorti pendant cet intervalle. Ce volume a donc un sens simple seulement en l'absence de pluie. Comme il a plu juste après le traçage, nous n'essayerons pas de travailler sur ce volume. On remarque que le volume d'eau stockée dans le réseau ($24\ 000\ \text{m}^3$) est deux fois plus petit que le volume de la pluie elle-même.

Conclusions

Le traçage du scialet Zakapouet s'est révélé assez simple (comme prévu). L'eau de ce secteur des hauts plateaux du Vercors est drainée vers la source de l'Adouin.

La crue du 26 août montre deux alimentations assez indépendantes révélées par les deux pics des températures et de la turbidité. Le contexte local permet de penser qu'il s'agit du secteur d'Herbouilly et du secteur des Hauts Plateaux.

Le retard entre l'onde de crue et l'arrivée d'eau semble en moyenne de 2 h 40 mn et correspond à un volume de $24\ 000\ \text{m}^3$ qui nous fournit un diamètre de la veine d'eau équivalente de 1,7 m. Cette valeur extrêmement faible fait penser que le réseau est essentiellement vadose. La faible mise en charge de la source au moment des crues va dans le même sens.

La vitesse de transit est très faible : 15 m/h. Elle s'explique par l'étiage extrême du Vercors en cette année 2009, comparable à la fameuse année 2003.

Le fluorimètre GGUNFL30-F s'est révélé un bon outil pour l'étude des sources. Il permet sans même injecter un colorant d'étudier grâce aux déphasages entre les différentes grandeurs mesurées certaines caractéristiques du réseau souterrain.

Une fois de plus, le sérieux des spéléos a permis de conduire un traçage dans de bonnes conditions. Tous les participants peuvent légitimement en éprouver une grande fierté. En ces temps où les médias se plaisent à stigmatiser la spéléologie comme une activité « d'aventuriers irresponsables », ce travail démontre quasiment le contraire.

Bibliographie

- Bourgin A (1941) La Bourne et ses affluents souterrains. Revue de Géographie Alpine p 39-89.
- Lequatre C (1969) Hydrologie karstique du Vercors. TER à l'Institut de Géographie Alpine de Grenoble.
- Lismonde B, Frachet J-M (1978) Grottes et Scialets du Vercors. CDS Isère,
- Rousset (1982) L'hydrogéologie karstique du Vercors. Thèse à l'Institut Dolomieu, Grenoble.
- Ducluzeaux B (1992) Source de l'Adouin, étude d'hydrogéologie karstique. Traçages. Rapport à la commune de Saint-Martin-en-Vercors. EKS, 50 p.
- Caillault S, Haffner D, Krattinger T, Delannoy JJ (1999) Spéléo dans le Vercors, tome 2, 208 p.
- Chiron M (2002) Bournillon : hydrogéologie du système. Scialet 31, CDS Isère, p 67-73.
-