

RESURGENCE DE PORT MIOU

COMPTE RENDU ET DEPOUILLEMENT DU JAUGEAGE DU 24 OCTOBRE 2009

B. ARFIB, M. DOUCHET, B. LISMONDE, L. MICHEL, C. PERRET, L.POTIÉ
Rédigé par C.Perret

Participants à la mesure

Association « La Rivière mystérieuse » : Louis Potié, Baudoin Lismonde, André Jayne

Le club de plongée : Marc Douchet, Claude Touloumdjian,...

RDI France : Loïc Michel

Université de Provence : Bruno Arfib

EDF DTG : **Christian Perret**

Les photos :



I CONTEXTE

L'association « La rivière mystérieuse » a contacté (Électricité de France (EDF) courant 2008 au titre de l'expertise reconnue que cette dernière a développé dans l'hydrologie quantitative des cours d'eau depuis le milieu du XXIème siècle. Parmi les buts que s'est fixés l'association, figure la quantification des débits qui transitent dans la résurgence de Port Miou qui a fait l'objet de nombreuses études depuis les années soixante. Pourtant à ce jour, toutes les tentatives n'ont abouti qu'à une estimation relative des apports car aucune mesure absolue d'étalonnage n'avait pu être effectuée.

Pour EDF, la quantification des apports des aquifères sous-marins reste bien sûr hors du champ habituel des études du potentiel hydroélectrique. Elle présente toutefois un intérêt réel dans un cadre plus global de l'étude des impacts possibles du changement climatique sur les ressources en eau à l'échelle régionale. C'est pourquoi EDF Division Technique Générale (DTG) a décidé de contribuer aux recherches actuelles en mettant à disposition matériels et savoir faire. Outre l'aspect scientifique qui vient d'être évoqué, ce type d'expérimentation est l'occasion de tester des techniques en cours de développement dans des conditions plus difficiles que la moyenne des pratiques.

C'est dans ce cadre qu'une mesure de débit (jaugeage) a été effectuée le 24 octobre 2009 dans la résurgence de Port Miou afin d'étalonner les contrôles de débit actuellement en place : perte de charge à travers le barrage et mesure ADCP Doppler à poste fixe. La méthode par dilution a été retenue. Cette méthode repose sur un principe de base de la physique : la conservation de la masse. Elle est employée en hydrométrie rurale depuis très longtemps. Cependant, les difficultés de mise en œuvre liées à des manipulations délicates en laboratoire, ont longtemps limité sa diffusion dans les équipes opérationnelles. Ces dernières années, il semble que seules les équipes d'Électricité de France la pratiquaient encore de manière courante et systématique pour l'étalonnage de leurs stations d'hydrométrie situées dans les zones de montagne. Aujourd'hui, grâce à un nouveau fluorimètre immergeable développé à Neuchâtel par Pierre Schnegg, la méthode est en voie de simplification car utilisable sans difficulté dans sa version dite « globale » : le traceur est injecté en une seule fois dans la rivière et on mesure l'évolution de la concentration en produit à la distance du « bon mélange ».

II MATÉRIEL UTILISÉ

- 600 g environ de fluorescéine à 435g/l.
- Un fluorimètre GGUN-FL avec accessoires : Boîtier de commande, cordons RS 232, Batteries 6V avec chargeurs.
- Le fluorimètre de l'université de Marseille
- 1 PC
- Une balance de précision
- 2 Fioles de 2 litres
- 2 Fioles de 1 litre
- 1 pissette
- 1 micro burette de 1000 micro litre avec embouts
- 1 micro burette de 10 ml avec embouts
- 1 bidon de 5 litres avec robinet
- 1 Bidon de 5 litres
- Le bac mélangeur de 5 litres pour la gamme d'étalonnage du fluorimètre

III DESCRIPTION DU TRONÇON DE MESURE

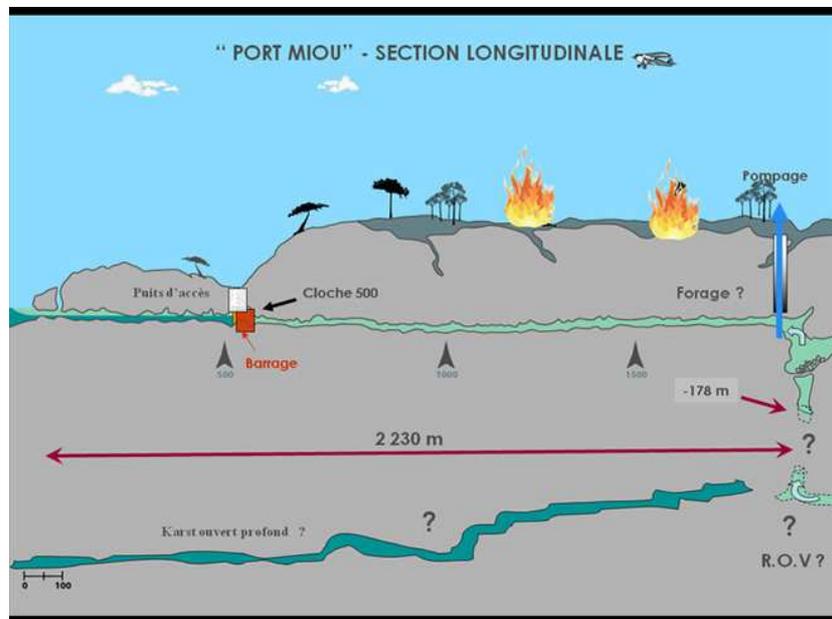


Figure 1 : Coupe longitudinale simplifiée de la résurgence de Port Miou (Site Internet de l'association)

IV ETALONNAGE DES FLUORIMÈTRES

IV.1 Préparation de la solution détalonnage

Dix litres d'eau saumâtre ont été prélevés à l'amont du barrage et remontés à la surface grâce au système de poulie en place dans le puits d'accès.

Soit C_0 , la solution de fluorescéine préparée à Grenoble à 435 grammes par litre.

1- On prélève 0,5 ml de la solution C_0 et on complète à 1 litre.

Nouvelle concentration $C_1 = 0,5 \cdot 10^{-3} C_0 / 1 = 5 \cdot 10^{-4} C_0$

2- On prélève 10 ml de la solution C_1 et on complète à 1 litre

Nouvelle concentration $C_2 = 10^{-2} C_1 / 1 = 10^{-2} \cdot 5 \cdot 10^{-4} C_0 = 5 \cdot 10^{-6} C_0$

3- On verse 1 litre de C_2 dans 4 litres d'eau de mer

Nouvelle concentration $C_3 = C_2 / 5 = 1 \cdot 10^{-6} C_0$

4- On prélève 20 ml de C_3 et on complète à 4 litres (en fait on a complété d'abord à 2 litres :

C_4 , puis on a ajouté encore 2 litres : C_5).

Nouvelle concentration $C_5 = 20 \cdot 10^{-3} C_3 / 5 = 5 \cdot 10^{-9} C_0$

5- Le fluorimètre de la DTG est trempé dans un seau rempli de la solution C_5 .

6- Le fluorimètre de l'université a été démonté de son emplacement de mesure le 27/10/2009 et trempé dans la même solution.

IV.2 Fluorimètre de la DTG

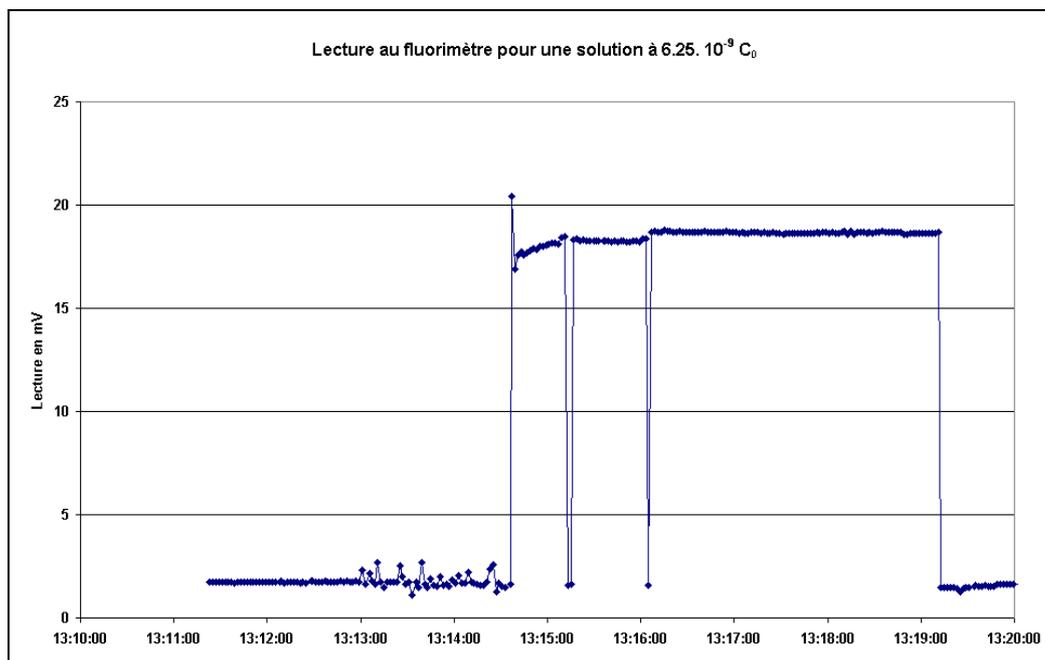


Figure 2 : Réponse du fluorimètre DTG

La lecture du fluorimètre de la DTG fournit pour cette solution un signal $S_1 = 18,30 \text{ mV}$, qui après agitation supplémentaire, devient **18,68 mV**.

Dans l'air, le signal est $S_0 = 1,62 \text{ mV}$. La lecture de la fluorescence naturelle de l'eau de la source a été effectuée directement dans la rivière. Elle valait $1,43 \text{ mV}$.

La conversion en fraction de concentration de la solution initiale vaut donc :

$$E_{DTG} = (5 \cdot 10^{-9}) \cdot C_0 / (18,63 - 1,43) = 2,90 \cdot 10^{-10} C_0 / \text{mV}$$

IV.3 Fluorimètre de l'université de Marseille

Les mesures en mV effectuées le 27/10/2009 au soir : $10,83 \text{ mV}$, $10,95 \text{ mV}$, $10,80 \text{ mV}$, $10,77 \text{ mV}$. On retient une moyenne de **10,84 mV**.

$$E_{\text{Université}} = (5 \cdot 10^{-9}) \cdot C_0 / (10,8 - 1,6) = 5,49 \cdot 10^{-10} C_0 / \text{mV}$$

On constate que la réponse des deux appareils est différente.

V INJECTION ET LECTURE DE LA FLUORESCENCE

V.1 Détermination de la quantité de fluorescéine injectée

La fluorescéine était contenue dans une bouteille en plastique dont la masse a été pesée à $29,4 \text{ grammes}$ soit $0,0294 \text{ kg}$. La masse totale (produit + contenant) a été pesée. Elle valait 568 grammes ou $0,568 \text{ kg}$.

La masse injectée M_i vaut alors : $0,5386 \text{ kg}$

La masse volumique de la solution C_0 a été déterminée à Grenoble lors de la préparation du produit. Elle vaut : $1,186 \text{ kg/litre}$. On déduit alors le volume V_i injecté :

$$V_i = 0,5386 / 1,186 = 0,454 \text{ litre}$$

V.2 Injection de la fluorescéine

Le volume V_i a été injecté dans la rivière par les plongeurs à une distance estimée de 150 mètres environ en amont du barrage (cf. Figure 1). Compte tenu des conditions de plongée, le produit a été largué sur un des cotés de la galerie et le mélange a été agité.

L'heure de l'injection a été estimée à $14\text{h}24$.



Photo : Injection de

V.3 Emplacements des fluorimètres

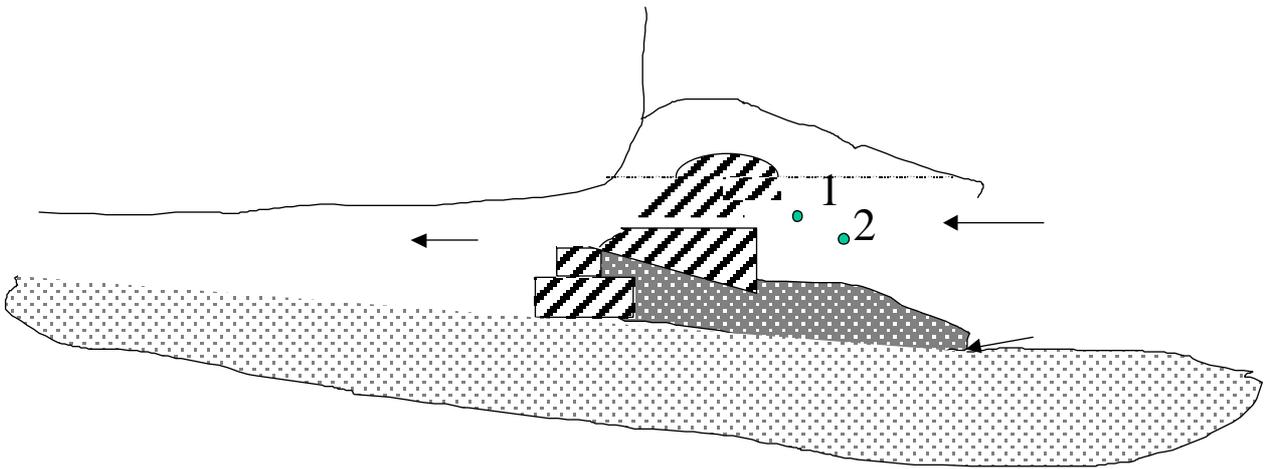


Figure 3

Le fluorimètre de la DTG a été installé par les plongeurs au droit de l'une des buses de vidange à une profondeur de x mètres [Emplacement 1].

Le fluorimètre de l'Université était installé environ 1,5 plus bas et a priori plus près de la paroi rive droite.



Le barrage vu d'amont

V.4 Évolution de la fluorescence

Le pas de temps d'échantillonnage du fluorimètre de la DTG a été réglé à 2 secondes. Celui de l'université a été calé à 90 secondes environ jusqu'à 17h00 puis à 15 minutes.

On présente Figure 2 les enregistrements bruts des deux appareils.

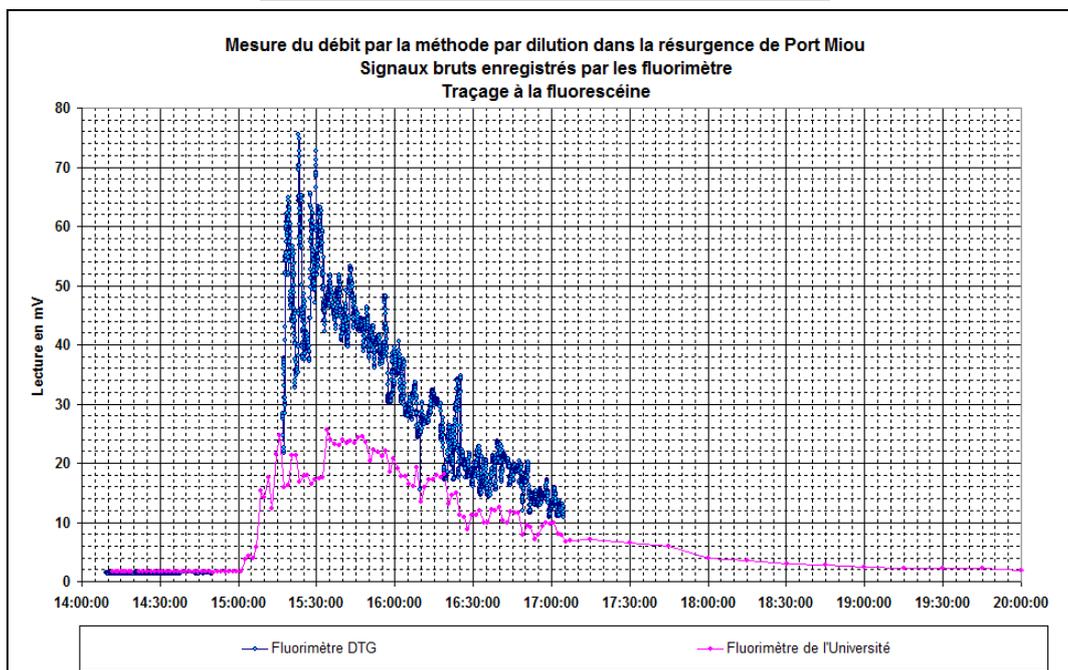


Figure 4

A ce stade du dépouillement, un problème est identifié pour l'enregistrement du fluorimètre de la DTG:

- L'enregistrement a été arrêté vers 17h10 alors que la totalité du nuage n'était pas encore passé.

On peut lire également, la fluorescence naturelle (mV) de la rivière f_0 : 1,43 mV.

L'étude de l'évolution des lectures brutes des tensions des capteurs n'est pas suffisante pour établir une comparaison car les réponses des deux appareils sont très différentes.

On calcule les concentrations de C_0 mesurées par les deux appareils et on les reporte sur le graphe Figure 3. A noter que le signal mesuré par le fluorimètre de DTG a été ré-échantillonné selon le pas de temps de l'acquisition du fluorimètre de l'université de Provence.

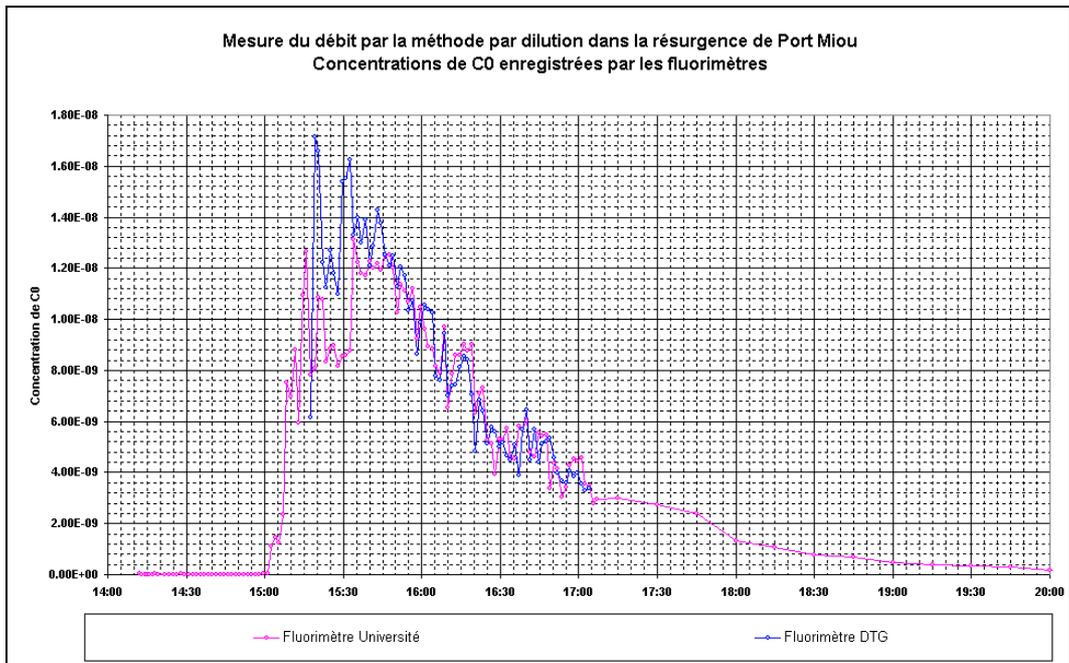


Figure 5

On constate que les concentrations de C_0 mesurées sont en bonne adéquation à partir de 15h45 alors que durant le pic de concentration mesuré par le fluorimètre de DTG, le second appareil enregistre des valeurs plus faibles. On avancera à ce stade de l'analyse deux explications possibles à cette différence :

- La représentativité de la concentration qui n'est pas assurée par l'emplacement des appareils quel que soit la concentration.
- Un effet de saturation de l'appareil de l'université de Provence qui, en place depuis plusieurs mois, pourrait voir sa cellule encrassée par des matières en suspension.

VI DÉTERMINATION DU DÉBIT

VI.1 Reconstitution des données manquantes

VI.1.1 Méthode 1

La fin de l'enregistrement est reconstituée en extrapolant une relation exponentielle calée sur les observations effectuées à partir de 15h40.

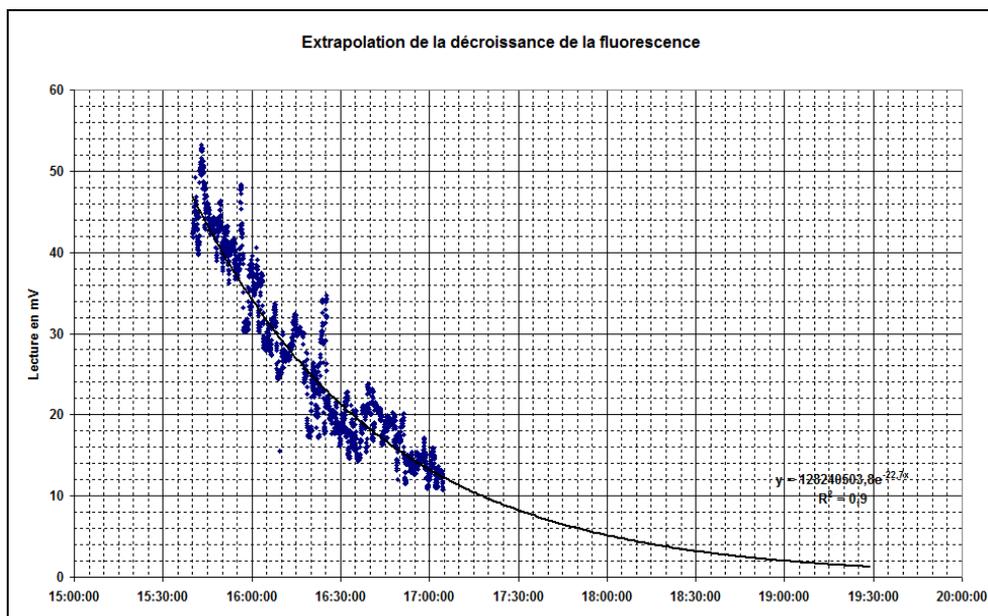


Figure 6

On obtient ainsi un signal mesuré et reconstitué sur la période de mesure.

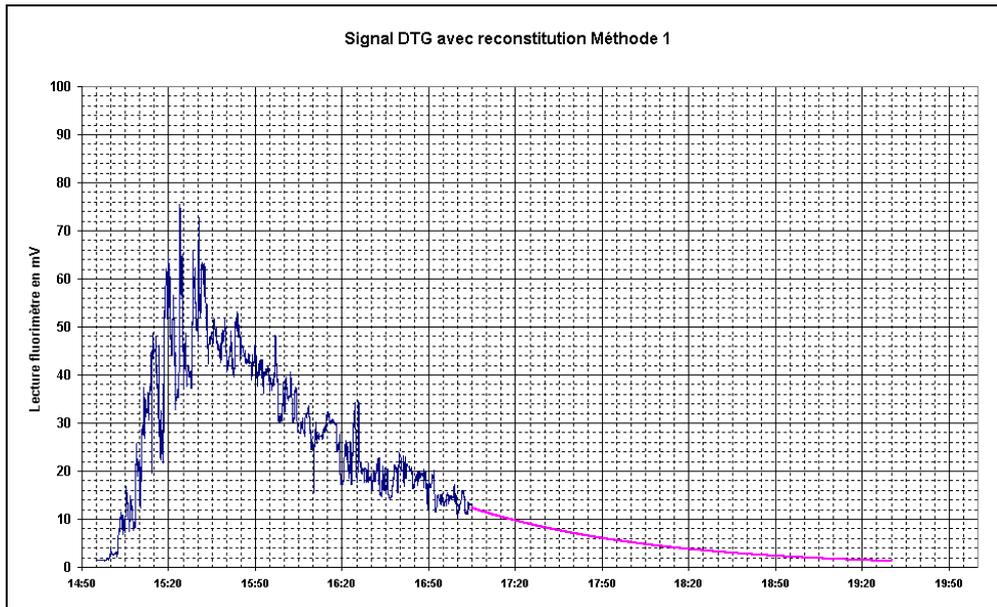


Figure 7

VI.1.2 Méthode 2

Le constat effectué grâce à la Figure 5 où l'on met en évidence la bonne co-variation des signaux enregistrés par les deux appareils, est exploité en traçant un graphe de corrélation entre eux à partir de 15h45 (Figure 6). On rappelle que le signal de DTG a été ré-échantillonné postérieurement de manière à pouvoir être comparé à celui de l'Université.

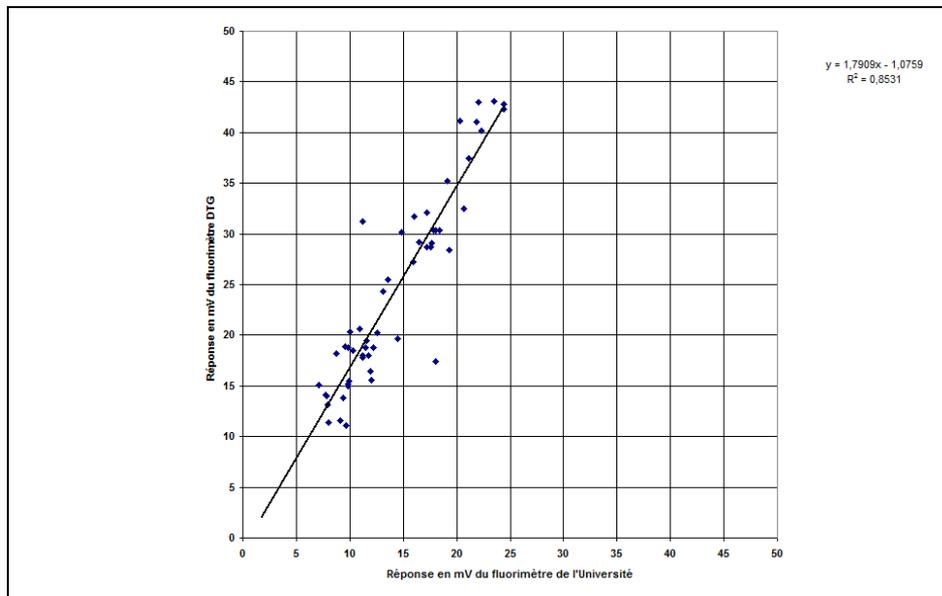


Figure 8

La relation linéaire ainsi déterminée, est appliquée aux valeurs manquantes pour le signal de DTG. On établit ainsi le graphe de la Figure 9.

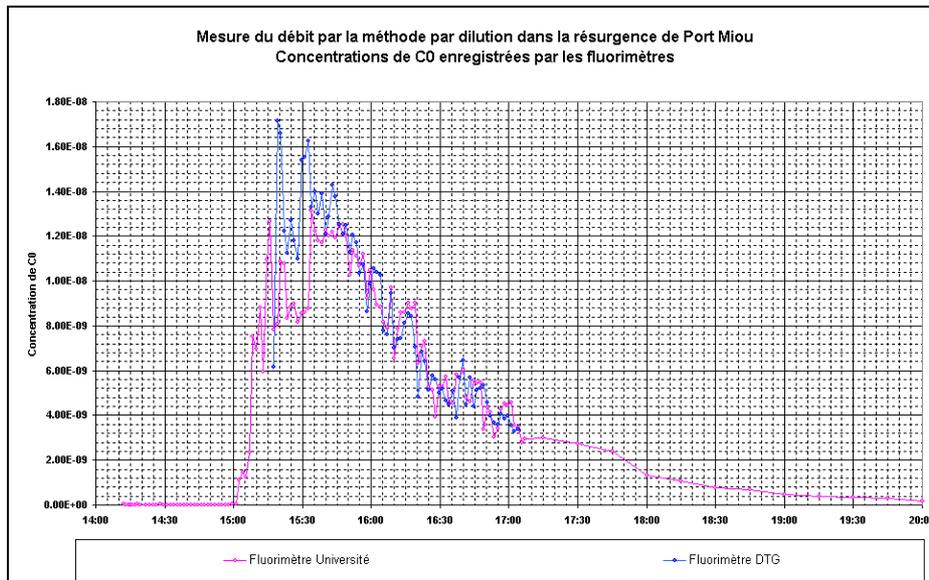


Figure 9

VI.2 Calcul du débit

VI.2.1 Le signal reconstitué

On dispose ainsi de trois signaux représentatifs de la concentration de C_0 :

- [S1] Le signal mesuré par le fluorimètre DTG et reconstitué selon la méthode 1. L'échantillonnage vaut 2 secondes.
- [S2] Le signal mesuré par le fluorimètre DTG et reconstitué selon la méthode 2. L'échantillonnage vaut 2 secondes jusqu'à 17h00, puis 15 minutes.
- [S3] Le signal mesuré par le fluorimètre de l'Université de Provence. L'échantillonnage vaut 90 secondes jusqu'à 17h00, puis 15 minutes.

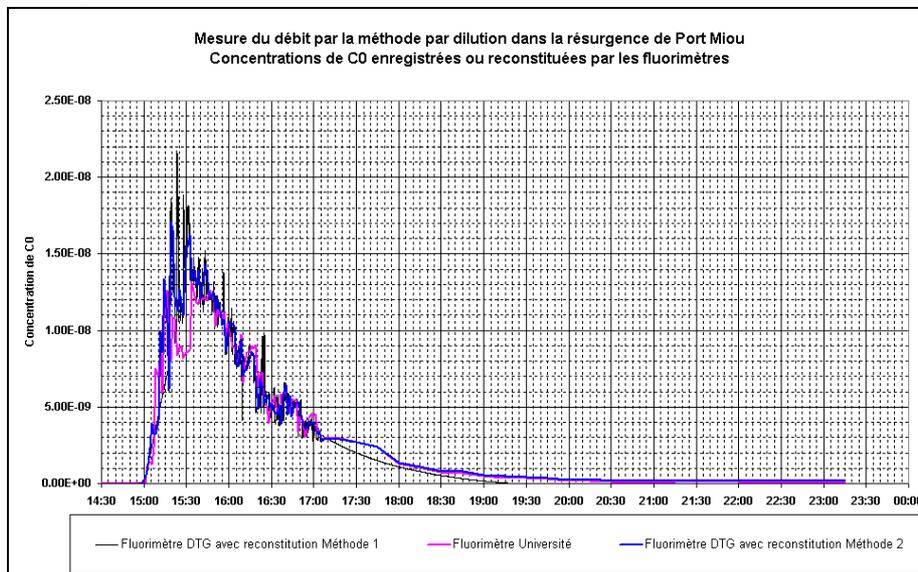


Figure 10

VI.2.2 Résultats

	S1	S2	S3
Mesure dans l'eau de la source (mV)	1.43	1.43	1.6
Mesure nette de la solution d'étalonnage (mV)	18.63	18.63	10.8
Mesure brute de la solution d'étalonnage (mV)	17.2	17.2	9.2
Solution d'étalonnage (x.CO)	5.05E-09	5.05E-09	5.05E-09
Correspondance (Concentration de CO/mV)	2.94E-10	2.94E-10	5.49E-10
Volume Vi injecté (Litres)	0.454	0.454	0.454
Valeur moyenne du nuage (mV)	16.28	10.16	5.90
Valeur moyenne de la concentration du nuage D (x.CO)	14.85	8.73	4.30
Temps de passage estimé T (Secondes)	16200	29640	29640
Débit Q (m3/s)	6.43	5.98	6.49

$$Q = \frac{V_i \cdot C_0}{\int_0^T D \cdot C_0 dt} = \frac{V_i}{\bar{D} \cdot T}$$

Le signal S1 est le moins robuste des trois. Il est en effet reconstitué selon une méthode qui reste approximative. Par conséquent, on écarte le résultat produit par son exploitation.

Le signal S2, même s'il est reconstitué en partie, présente au moins deux avantages : échantillonnage fin, enregistrement du pic de concentration.

Le signal 3 a le grand avantage d'être complet mais on se doit de rappeler le constat fait supra concernant l'écart constaté lors du passage du pic de concentration. Au moment de conclure sur un résultat, on privilégiera la seconde hypothèse – saturation de la mesure – car il semble difficile d'admettre que la condition de bon mélange soit établie à 15h45 et pas avant.

Dans ces conditions, **on propose la valeur de 6 m3/s** comme débit qui transitait dans la source de Port Miou entre 14h30 et 20h00 le 24 octobre 2009. On rappelle que cette valeur correspond à un apport d'eau saumâtre et qu'il conviendra de la corriger avec la valeur de la salinité mesurée pour en déduire l'apport en eau douce.

VII CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS POUR LA SUITE

L'opération de mesure du débit transitant dans la résurgence de Port Miou le 24 octobre 2009 entre 14h30 et 20h00, peut être considérée comme globalement satisfaisante. La méthode de mesure du débit par dilution « globale » du traceur Fluorescéine, s'avère efficace. Elle a été rendue possible grâce à :

- L'intervention d'une équipe de plongeurs capable de réaliser l'injection du traceur en amont
- La mise en œuvre de deux fluorimètres type GGUN-FL, l'un exploité par l'Université de Provence, l'autre par EDF DTG.

La condition du bon mélange, essentielle pour valider définitivement la mesure, ne peut pas être établie avec certitude mais elle ne peut pas non plus être démentie. Par conséquent, on peut retenir que cette opération a permis de mesurer de manière absolue le débit global qui transitait ce jour là dans la résurgence.

La méthode pourrait par conséquent, être répétée pour des régimes de débits différents de manière à définir une loi d'étalonnage au(x) contrôle(s) de débit qui seront mis en place. Le fluorimètre de l'Université pourrait être utilisé pour les mesures. On recommandera toutefois de procéder à un nettoyage préalable. Le volume initial Vi devra être adapté au débit estimé.

Pour l'injection, on propose de l'effectuer un peu plus en amont que lors de l'opération du 24/10/2009. Ceci est évidemment suspendu à la faisabilité qui ne peut être établie que par les plongeurs.