



**Etude hydrogéologique par traçages et jaugeage des sources du
Moulin et Fontenu pour la détermination du bassin d'alimentation du
lac de Chalain.**

**Conseil départemental du Jura
17 rue Rouget De Lisle 39 000 LONS LE SAUNIER**

10/07/2018



4 les Berrods - Prénovel 39150 NANCHEZ

Tél : 03 84 33 75 13

contact@hydrogeologie-caille.com

www.hydrogeologie-caille.com

1	<i>Introduction.</i>	5
2	<i>L'alimentation du lac de Châlain.</i>	6
3	<i>Réseau spéléologique du Gour Bleu (Source du moulin).</i>	9
4	<i>Opérations de traçage.</i>	13
4.1	Campagne 2018.	16
5	<i>Operations de surveillance.</i>	18
5.1	Campagne 2016-2017.	18
5.1	Campagne 2018.	20
6	<i>Interprétation des résultats de traçages.</i>	21
6.1	Lapiés Sur le Marais.	21
6.2	Lapiés La Frate.	21
6.3	Lapiés de Pré Jacquin.	21
6.4	Lapiés En Evennes.	22
6.1	Lapiés au nord de Saffloz.	22
6.2	Point de rejet du réseau eau pluviale de Songeson.	22
6.3	Lapiés à côté de la cabane de chasse de Saffloz.	22
6.4	Perte de l'étang de Saffloz.	22
6.5	Regard au cimetière de Songeson.	22
7	<i>Interprétation des paramètres physico-chimiques.</i>	22
8	<i>Jaugeage des sources du Moulin et Fontenu.</i>	23
8.1	Principes.	23
8.2	Courbes de tarage.	24
8.3	Hydrogrammes.	25
8.4	Bilan hydrologique, année 2017.	26
8.5	Caractérisation du fonctionnement du réseau karstique.	27
9	<i>Conclusions.</i>	29
	<i>Annexe 1 : Spectres d'analyse des fluocapteurs positifs.</i>	32

Table des figures :

<i>Figure 1 : Carte des traçages existants (DREAL)</i>	5
<i>Figure 2 : Répartition des formations géologiques autour de la combe d'Ain.</i>	6
<i>Figure 3 : Coupe géologique schématisée et circulation des eaux.</i>	7
<i>Figure 4 : Vue de la source du Moulin.</i>	8
<i>Figure 5 : Projection du relevé topographique du réseau spéléologique.</i>	9
<i>Figure 6 : Vue du réseau noyé du Gour Bleu (photos Yann HUOT).</i>	10
<i>Figure 7 : Limites du BV de la combe d'Ain en relation avec le lac.</i>	11
<i>Figure 8 : Carte géologique (BRGM)</i>	12
<i>Figure 9 : Légende de la carte géologique.</i>	12
<i>Figure 10 : Caractéristiques des injections.</i>	13
<i>Figure 11 : Localisation des points d'injection.</i>	13

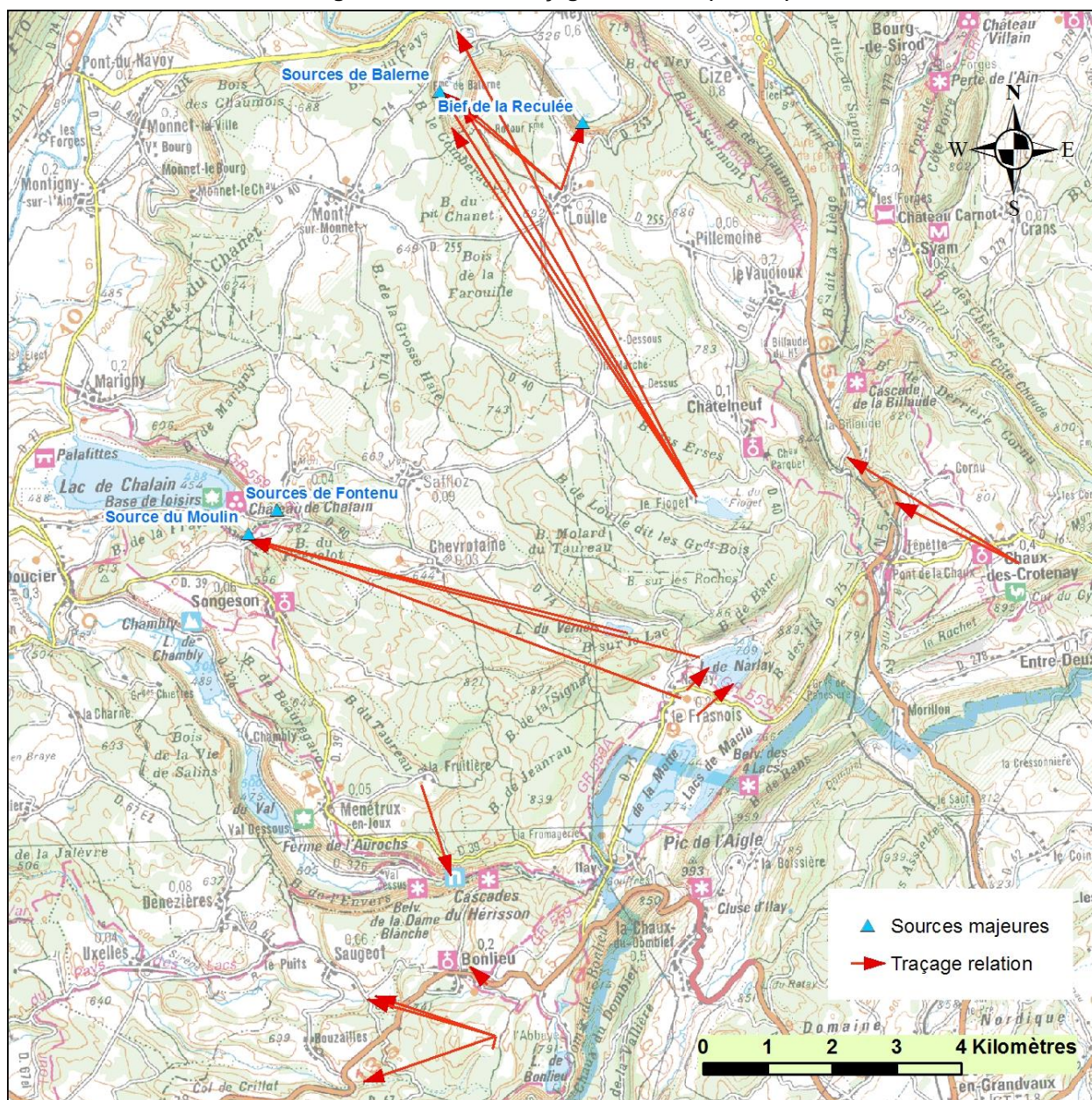
<i>Figure 12 : Vue du point d'injection « Sur le Marais ».</i>	14
<i>Figure 13 : Vue du point d'injection « La Frate ».</i>	14
<i>Figure 14 : Vue du point d'injection « Pré Jacquin ».</i>	14
<i>Figure 15 : Vue du point d'injection « En Evennes ».</i>	15
<i>Figure 16 : Evolution des débits dans l'Ain à Bourg de Sirod.</i>	15
<i>Figure 17 : Vues des 5 points d'infiltration.</i>	16
<i>Figure 18 : Carte de localisation des points d'injection.</i>	17
<i>Figure 19 : Tableau de la surveillance par fluocapteurs et résultats positifs.</i>	18
<i>Figure 20 : Tableau de la surveillance des sources par fluorimètres.</i>	18
<i>Figure 21 : Enregistrement du fluorimètre aux sources de Fontenu.</i>	19
<i>Figure 22 : Enregistrement du fluorimètre à la source du Moulin.</i>	19
<i>Figure 23 : Tableau de la surveillance par fluocapteurs et résultats positifs.</i>	20
<i>Figure 24 : Tableau de la surveillance des sources par fluorimètres.</i>	20
<i>Figure 25 : Fluorimètre aux sources de Fontenu.</i>	21
<i>Figure 26 : Typologie des sources.</i>	23
<i>Figure 27 : Courbe de tarage, ruisseau du Moulin.</i>	24
<i>Figure 28 : Courbe de tarage, ruisseau de Fontenu.</i>	25
<i>Figure 29 : Hydrogrammes, ruisseau du Moulin.</i>	25
<i>Figure 30 : Hydrogrammes, ruisseau de Fontenu.</i>	26
<i>Figure 31 : Tableau du calcul des précipitations efficaces.</i>	26
<i>Figure 32 : Tableau du calcul de la surface du BA.</i>	27
<i>Figure 33 : Courbe de récession, source du Moulin.</i>	27
<i>Figure 34 : Courbe de récession, source de Fontenu.</i>	28
<i>Figure 35 : Classification des systèmes karstiques de Mangin.</i>	28
<i>Figure 36 : Carte des traçages.</i>	30
<i>Figure 37 : Carte du bassin d'alimentation karstique du lac de Chalain sur fond topographique.</i>	31

1 INTRODUCTION.

Les limites du bassin d'alimentation hydrogéologique du lac de Chalain ne sont pas connues avec précision. On sait grâce à des anciens traçages que les pertes des lacs de Narlay et du Vernois communiquent avec les sources de la reculée de Chalain, le secteur des lacs du Frasnois constitue la limite est du bassin. La connaissance des limites nord, ouest et sud nécessitent la réalisation de nouveaux traçages des eaux souterraines. Quatre traçages ont été réalisés à partir de points d'infiltration des eaux dans le milieu souterrain dans des lapiez.

Les traceurs utilisés pour ces opérations ont un fort pouvoir de coloration et peuvent être détectés au laboratoire pour de très faibles valeurs de concentration dans les eaux (microgramme/litre). Il s'agit de fluorescéine (vert) et d'éosine (rouge). Comme les points d'injection des traceurs ne sont pas des pertes actives (écoulements qui disparaissent dans le sous-sol), l'eau nécessaire à l'injection a été apportée sur place par une citerne de 13 m³.

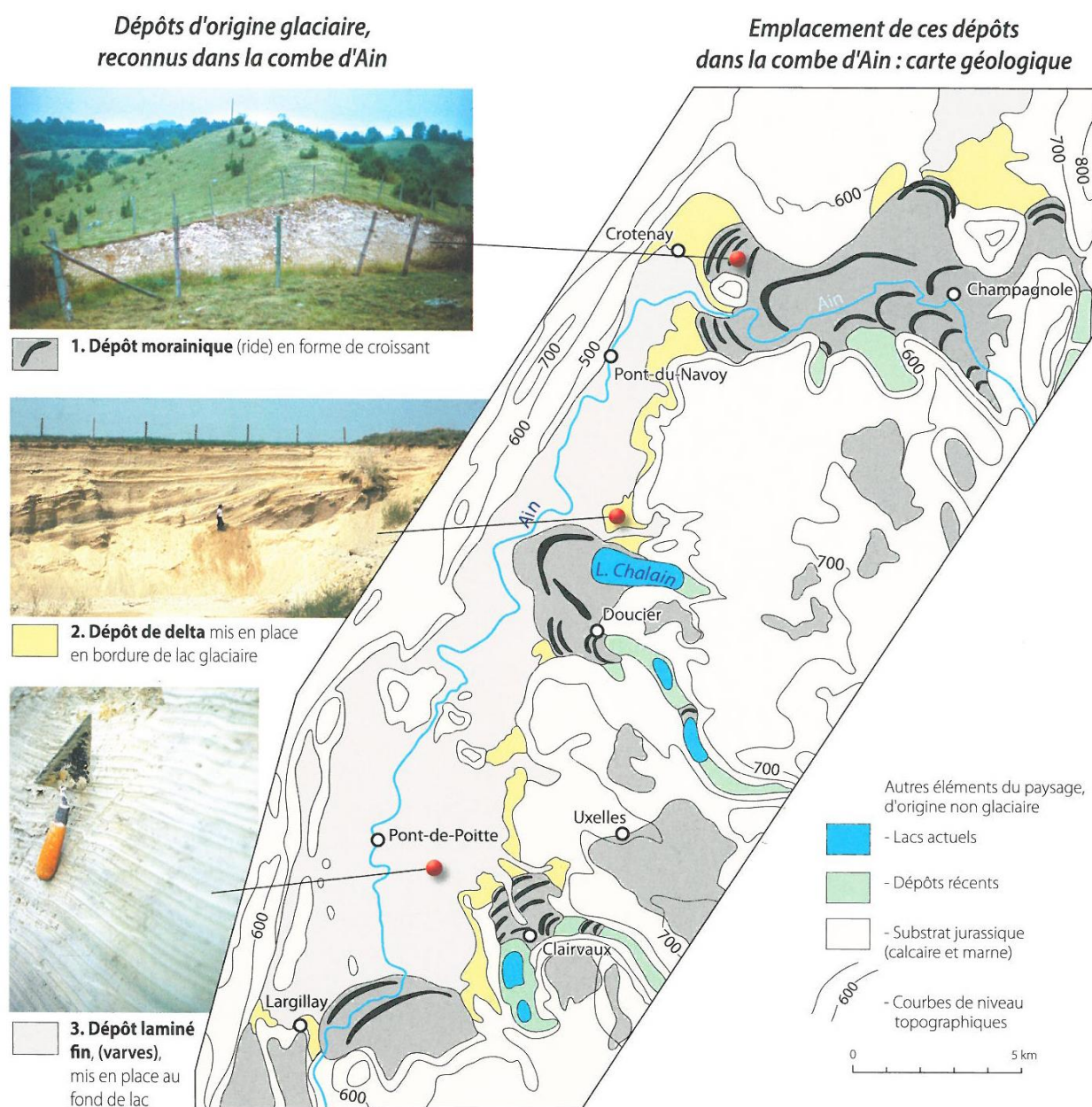
Figure 1 : Carte des traçages existants (DREAL)



2 L'ALIMENTATION DU LAC DE CHALAIN.

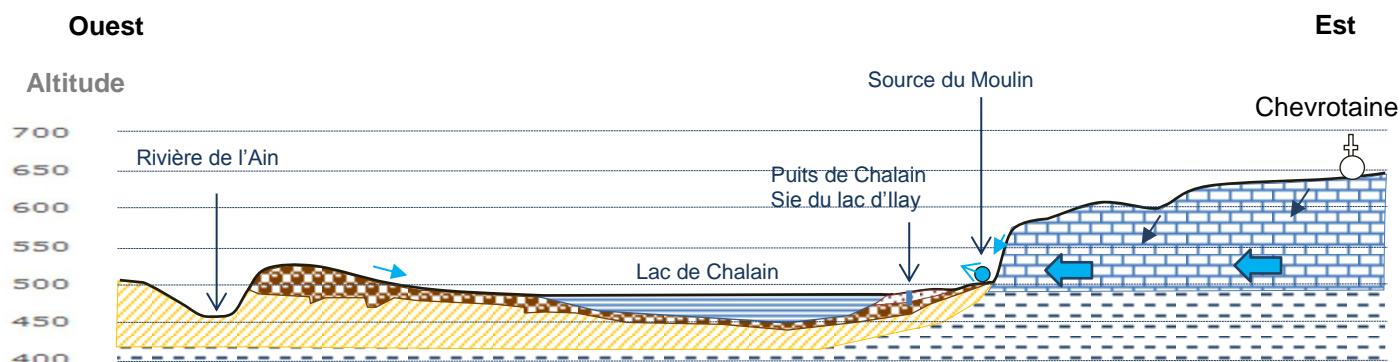
Le lac de Chalain se situe au contact entre plateau calcaire et combe d'Ain. Il est l'héritier de l'histoire glaciaire de la région. Les derniers glaciers de l'époque du Würm il y a 20 000 ans ont déposé des matériaux constitués de blocs, graviers, sables et limons fins dans des moraines, des deltas fluvio-glaciaires, des varves. La force d'érosion des glaciers a creusé des reculées dans le plateau calcaire et déposé des rides morainiques qui forment des barrages naturels derrière lesquels subsistent des lacs comme celui de Chalain.

Figure 2 : Répartition des formations géologiques autour de la combe d'Ain.






D'après « Montagne du Jura » de Vincent Bichet & Michel Campy – 2008.



Figure 3 : Coupe géologique schématique et circulation des eaux.






Combe d'Ain :

-  Alluvion récente (aquifère).
-  Dépôt morainique hétérogène (aquifère ou imperméable).
-  Dépôts laminés fins ou varves (imperméable).

Plateau de Chevrotaine :

-  Calcaires du Rauracien (J6) et Séquanien (j7) (aquifère).
-  Marno-calcaire de l'Argovien (j5) (imperméable).

Circulations d'eau :

-  Ruissellement.
-  Infiltration.
-  Circulation dans le réseau karstique.

Le lac de Chalain possède 3 types d'alimentation :

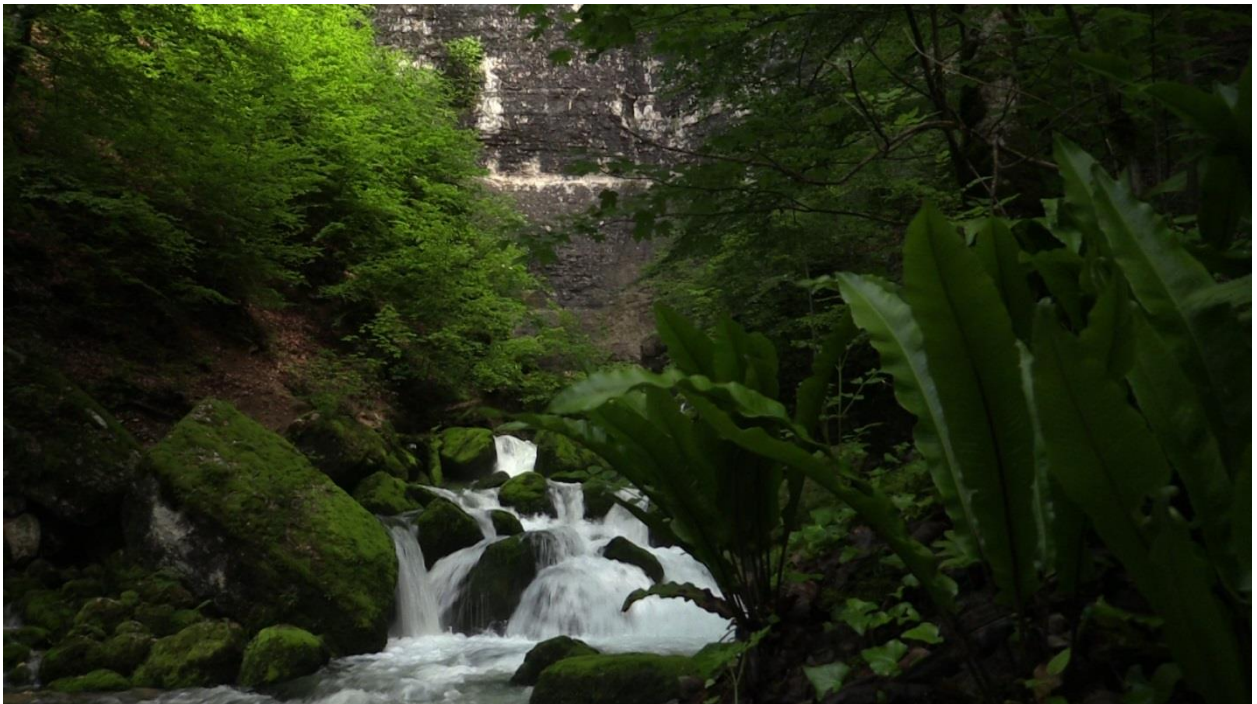
- Les circulations dans le réseau karstique qui alimente les sources du Moulin et de Fontenu situées au fond de la reculée à l'est du lac. Les sources ont localisées au contact des calcaires du Rauracien et des marnes de l'Argovien. Ce réseau hétérogène est constitué de galeries et de fissures qui drainent une vaste surface de plateau entre Le Frasnois et Doucier-Marigny. Les circulations dans ce réseau sont rapides (de quelques jours à quelques semaines) entre l'infiltration des eaux de pluie sur le plateau calcaire et leur sortie aux sources. Ce sont de loin les principaux apports qui alimentent le lac.
- Les ruissellements des eaux de pluie sur la combe d'Ain et les circulations dans les dépôts morainiques et alluviaux (sables, graviers et blocs plus ou moins argileux) qui drainent une nappe localisée principalement à l'ouest du lac (voir Figure 7), mais dont une petite enclave est présente à l'est dans la reculée (camping du Domaine de Chalain). Cette nappe superficielle alimente des biefs : les Voissières à Doucier et les fossés qui drainent les champs à l'ouest du lac vers le site archéologique. Les débits susceptibles de circuler dans ces formations sont limités et négligeables par rapport aux sources karstiques du Moulin et Fontenu Un forage exploité par le SIE du Lac d'Ilay est situé dans le camping du domaine de Chalain et capte la nappe superficielle des alluvions récentes.

- Les pluies sur la surface du lac et les ruissellements sur les versants pentus au pied des falaises calcaires.

Le lac repose sur des terrains imperméables, aucune alimentation sous lacustre n'est possible

Pour l'année 2017, les volumes d'eau qui sont en jeux pour l'alimentation en eau du lac sont calculés par un bilan hydrologique. Ce bilan prend en compte les débits mesurés aux sources du Moulin et Fontenu (Mise en place de stations de jaugeage qui enregistrent les débits depuis mi-décembre 2016), les précipitations mesurées à la station Météo-France du Frasnais et l'ETP (évapotranspiration potentielle) calculée par Météo-France.

Figure 4 : Vue de la source du Moulin.



3 RESEAU SPELEOLOGIQUE DU GOUR BLEU (SOURCE DU MOULIN).

La source du Moulin est visitée par les plongeurs spéléologues, le réseau est visitable sur plusieurs kilomètres de galeries noyées ou non. L'extension du réseau vers l'est est d'environ 1 km en direction de la butte « Le Prévalot ». Les galeries s'organisent suivant 2 directions principales : N36° et N135°. En surface on retrouve la direction N135° pour les principaux vallons comme celui qui se prolonge à l'Est de Songeson.

Figure 5 : Projection du relevé topographique du réseau spéléologique.

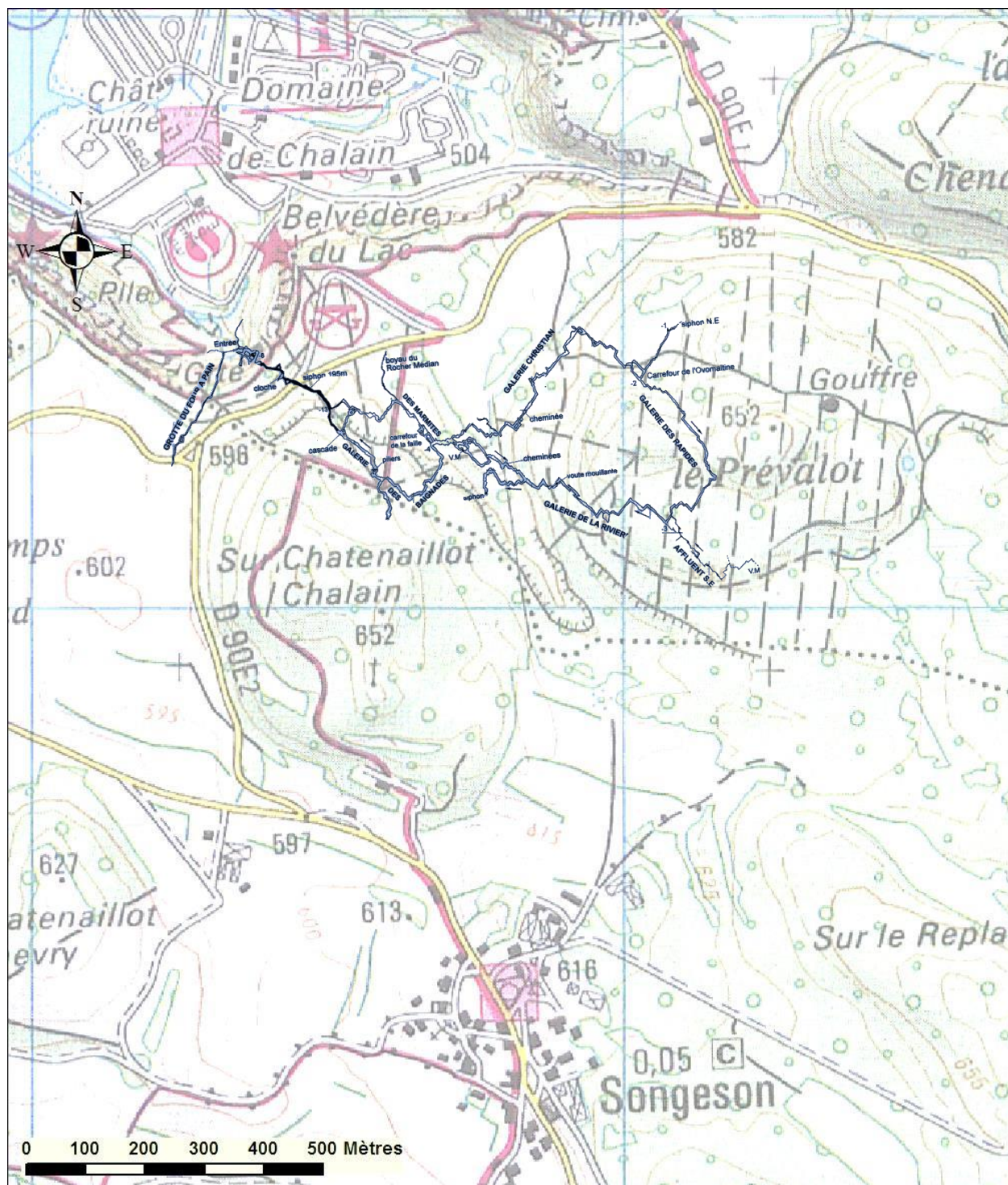


Figure 6 : Vue du réseau noyé du Gour Bleu (photos Yann HUOT).



Figure 7 : Limites du BV de la combe d'Ain en relation avec le lac.

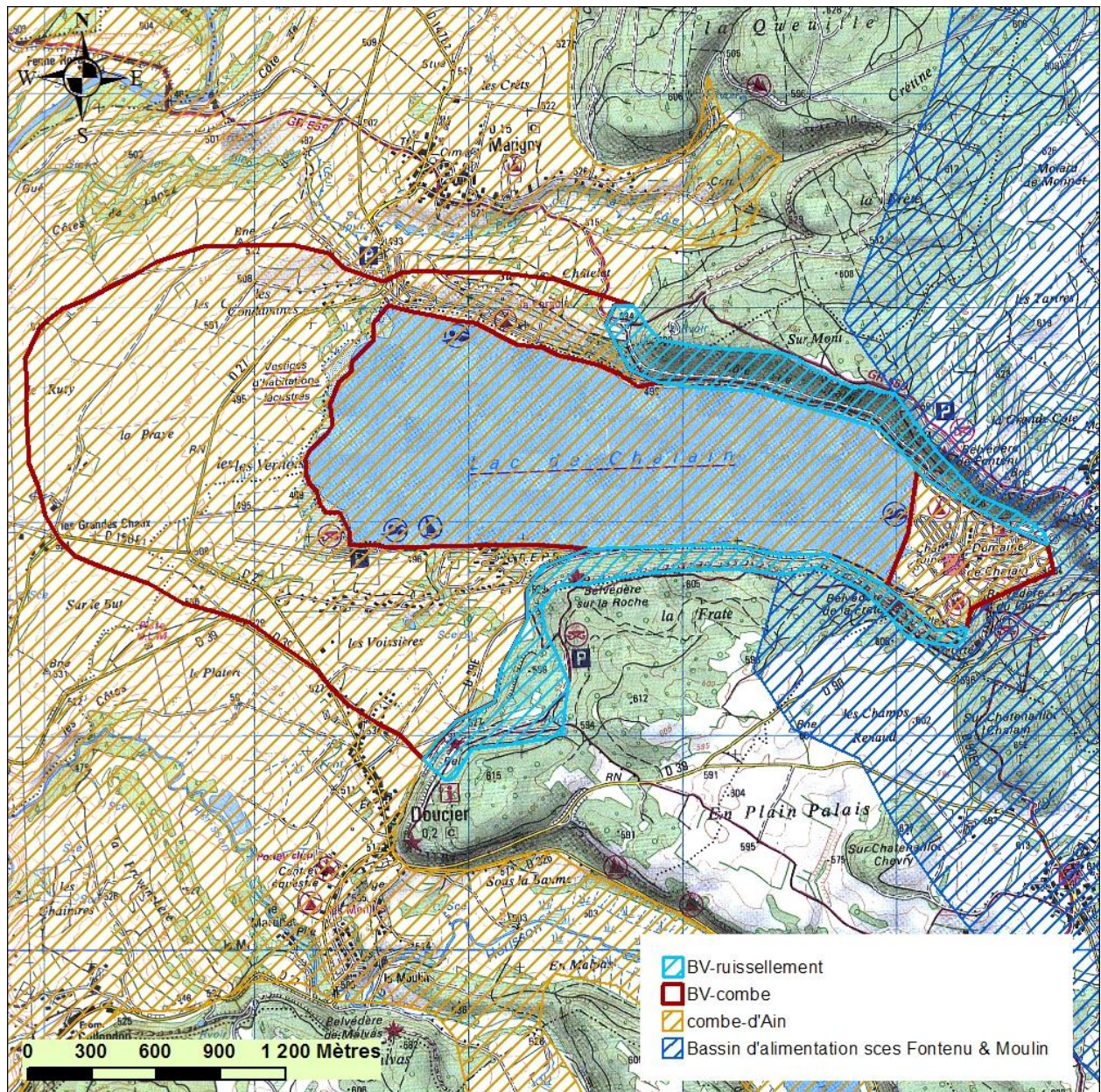


Figure 8 : Carte géologique (BRGM)

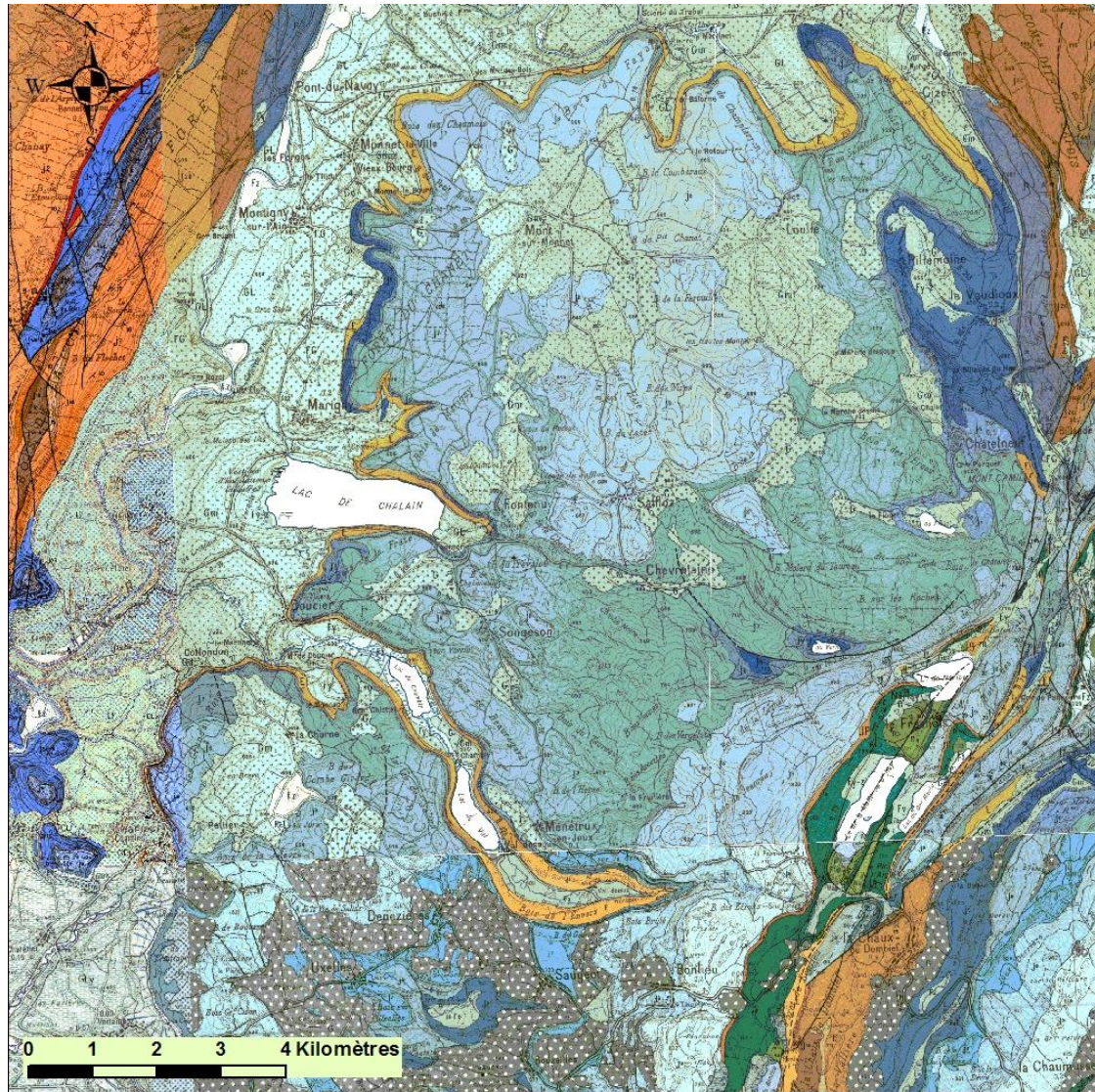
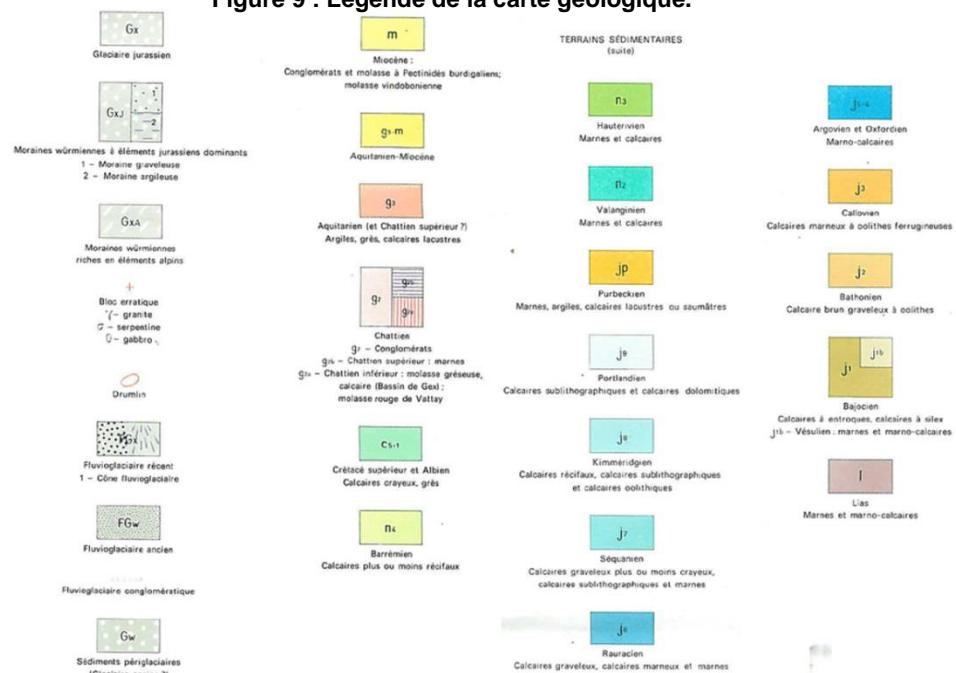


Figure 9 : Légende de la carte géologique.



4 OPERATIONS DE TRAÇAGE.

4.1 CAMPAGNE 2016/2017.

Les traçages ont été réalisés en 2 phases le 07/12/2016 et le 02/03/2017. Les points d'injection choisis correspondent à des lapiés et pour chaque point 13 m³ d'eau ont été injectés pour pousser le traceur dans le sous-sol.

Figure 10 : Caractéristiques des injections.

Date	Quantité (kg)	Traceur	Localisation	Type de point
07/12/2016 09:15	3 kg	Eosine	Lapiez "Sur le Marais"	Lapiez, ajout de 13 m3 d'eau
07/12/2016 10:30	1,5 kg	Fluorescéine	Lapiez "La Frate"	Lapiez, ajout de 13 m3 d'eau
02/03/2017 09:00	3 kg	Fluorescéine	Lapiez "Les Prés Jacques"	Lapiez, ajout de 13 m3 d'eau
02/03/2017 10:00	4 kg	Eosine	Lapiez "En Evennes"	Lapiez, ajout de 13 m3 d'eau

Figure 11 : Localisation des points d'injection.

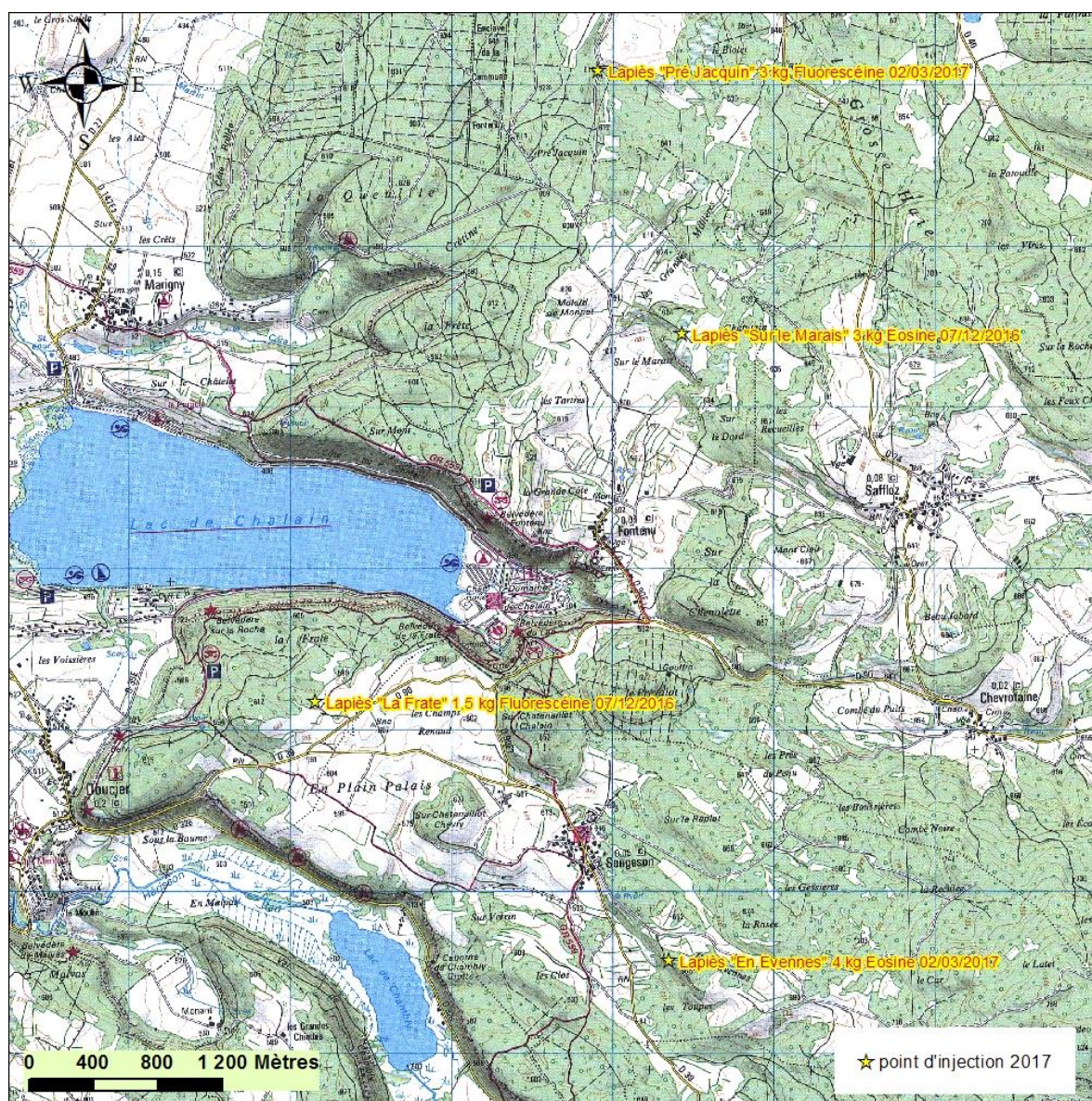


Figure 12 : Vue du point d'injection « Sur le Marais ».



Figure 13 : Vue du point d'injection « La Frate ».



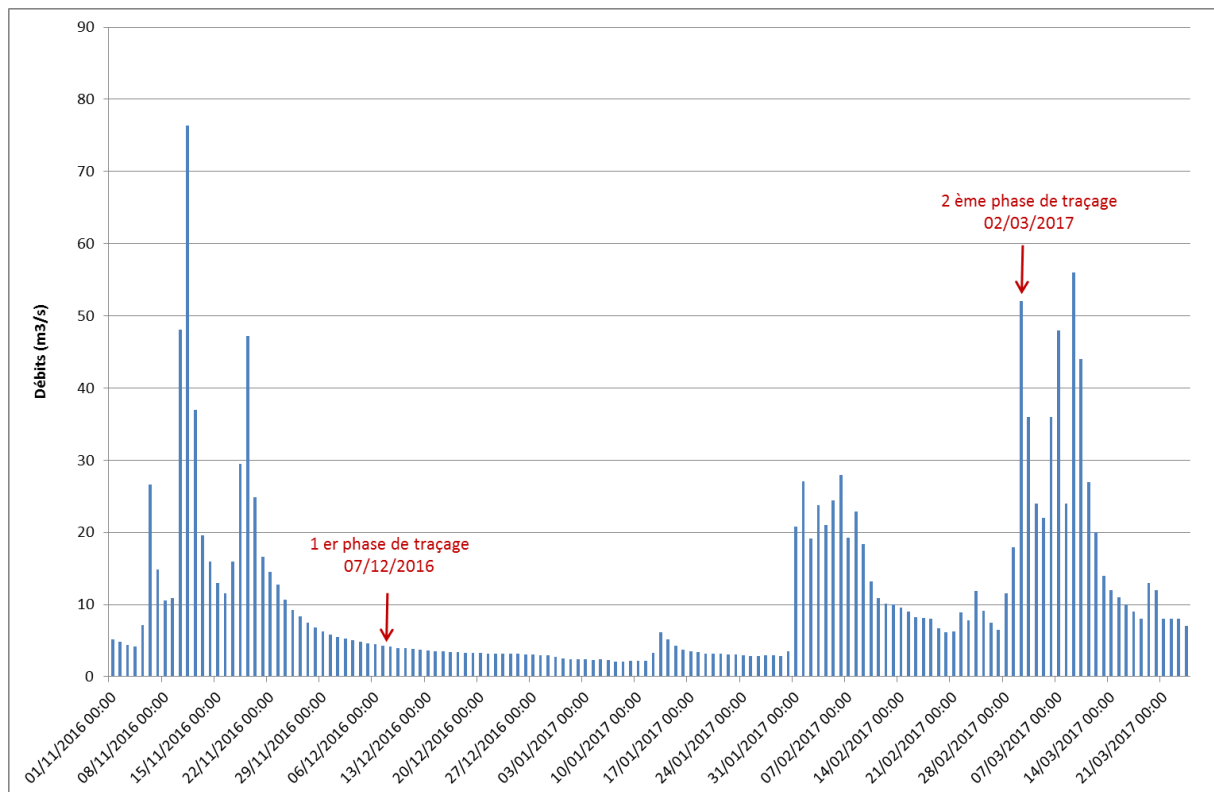
Figure 14 : Vue du point d'injection « Pré Jacquin »



Figure 15 : Vue du point d'injection « En Evennes ».



Figure 16 : Evolution des débits dans l'Ain à Bourg de Sirod.



La 1^{er} phase de traçage s'est déroulée en période de basses eaux, alors que la 2nd a eu lieu à une période de hautes eaux.

4.2 CAMPAGNE 2018.

Cinq nouveaux traçages ont été menés en mai et juin 2018 afin d'affiner les limites du bassin d'alimentation des sources au nord vers Saffloz et au sud vers Songeson.

n°	Date	Traceur	Quantité	Lieu	Eau d'injection	X Lambert 93	Y Lambert 93
1	16/05/2018 11:00	Eosine	1,5 kg	Lapiez nord Saffloz	Ecoulement naturel	917555	6623288
2	16/05/2018 11:00	Fluorescéine	1,5 kg	Rejet EU Songeson	Rejet EU	915553	6620290
3	08/06/2018 10:00	Fluorescéine	1,5 kg	Lapiez cabane des chasseurs Saffloz	8 m3	918993	6622866
4	08/06/2018 12:30	Sulforhodamine B	1 kg	Perte étang de saffloz	Ecoulement naturel	917653	6622566
5	12/06/2018 16:00	Eosine	1,5 kg	Regard robinet cimetière Songeson	Robinet 12 m3	915654	6620710

Figure 17 : Vues des 5 points d'infiltration.



Figure 18 : Carte de localisation des points d'injection.

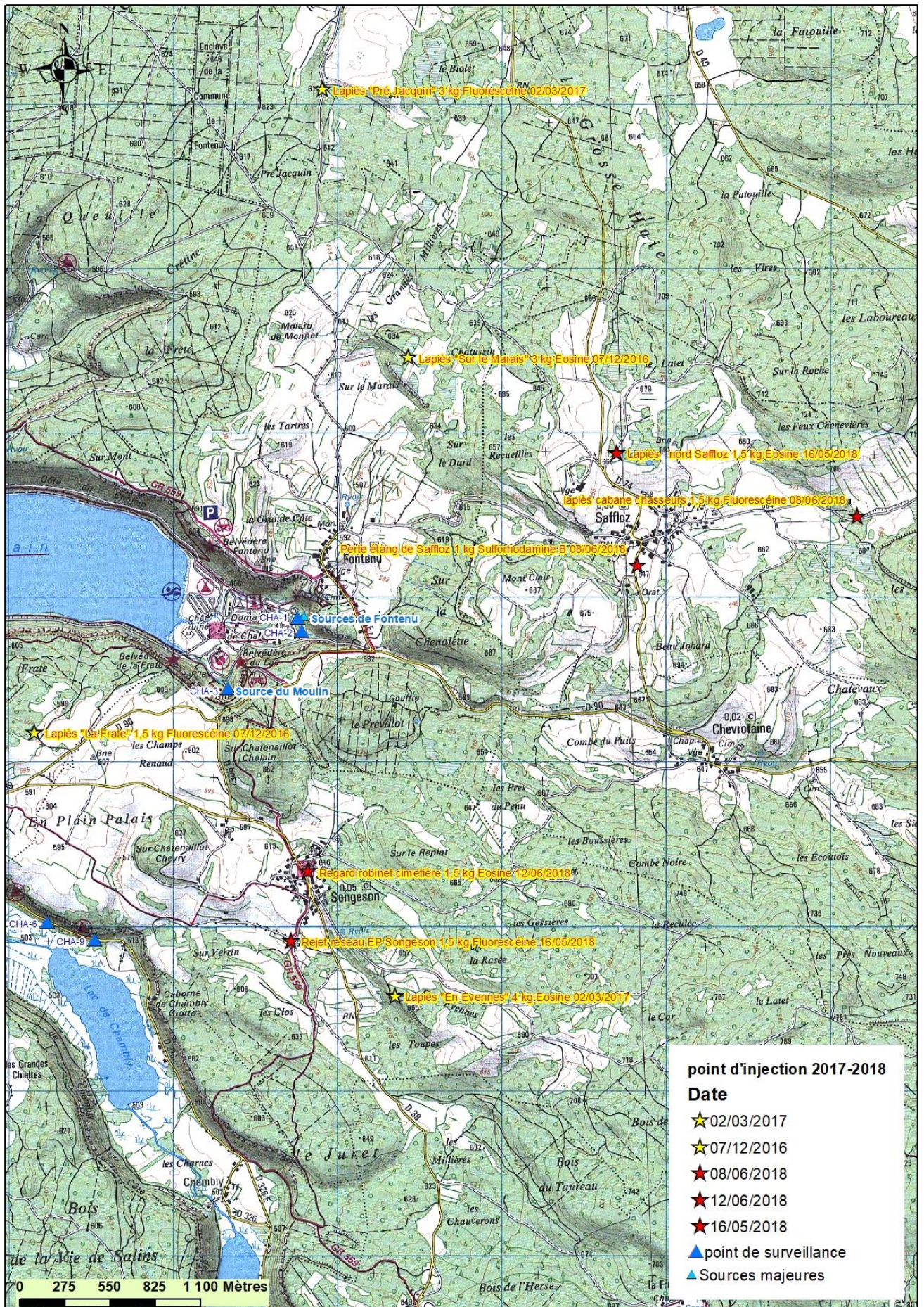


Figure 21 : Enregistrement du fluorimètre aux sources de Fontenu.

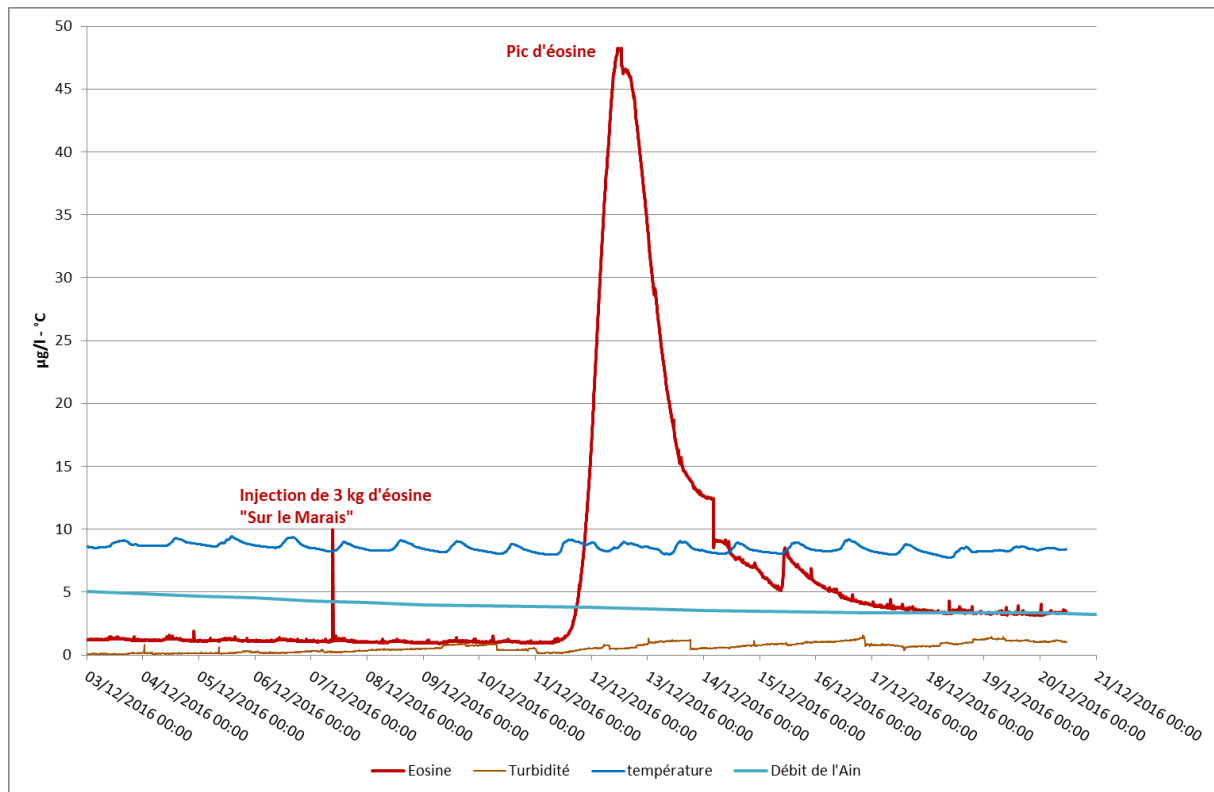
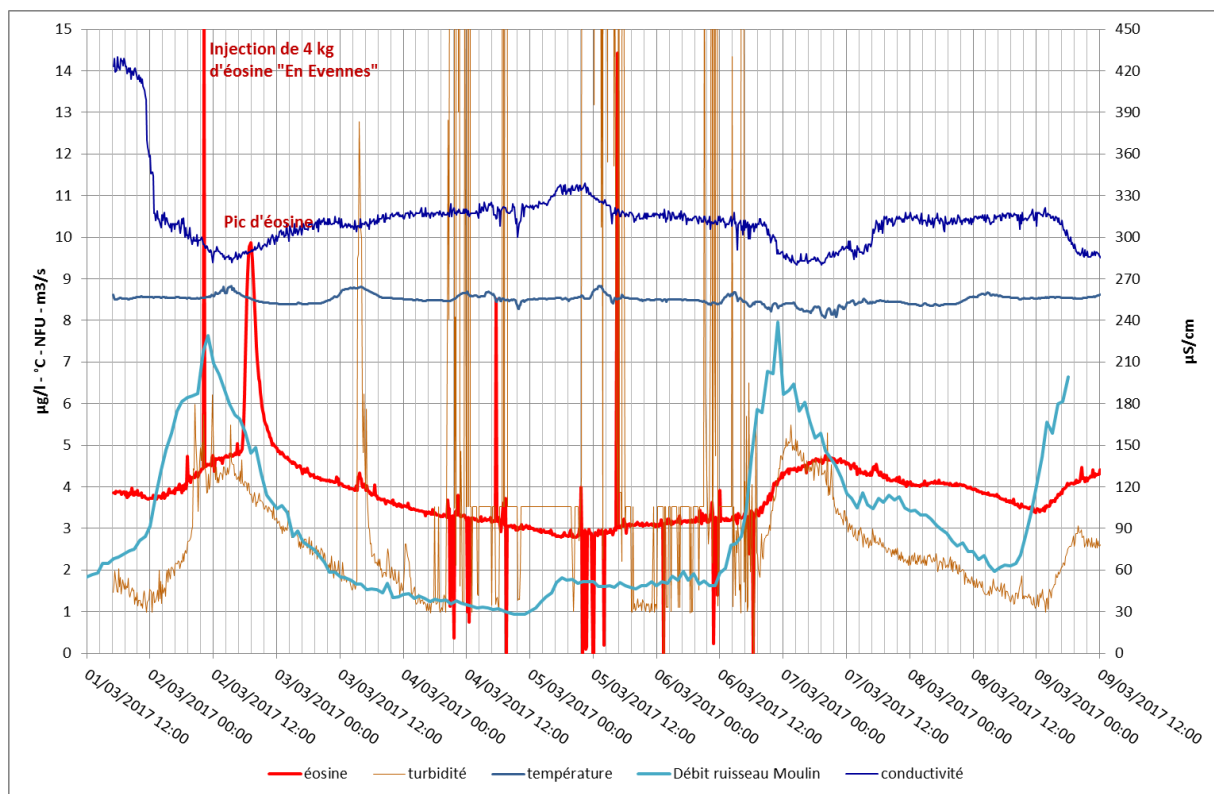


Figure 22 : Enregistrement du fluorimètre à la source du Moulin.



5.1 CAMPAGNE 2018.

Un fluorimètre a été mis en place dans le ruisseau de Fontenu, et des fluocapteurs surveillent toutes les émergences.

Les spectres d'analyse des fluocapteurs sont en annexe.

Figure 23 : Tableau de la surveillance par fluocapteurs et résultats positifs.

Nom	Mis en place	Changé le	Changé le	Changé le	Changé le
Source de Fontenu nord	16/05/2018 11:00	22/05/2018 14:00	08/06/2018 11:00	12/06/2018 14:00	20/06/2018 15:00
Source de Fontenu sud	16/05/2018 11:00	22/05/2018 14:00	08/06/2018 11:00	12/06/2018 14:00	20/06/2018 15:00
Source du Moulin	16/05/2018 11:00	22/05/2018 14:00	08/06/2018 11:00	12/06/2018 14:00	20/06/2018 15:00
Source route de Chambly 1 est	16/05/2018 11:00	22/05/2018 14:00	08/06/2018 11:00		20/06/2018 15:00
Source route de Chambly 2 centre	16/05/2018 11:00	22/05/2018 14:00	08/06/2018 11:00		20/06/2018 15:00
Source route de Chambly 3 ouest	16/05/2018 11:00	22/05/2018 14:00			
Riv. Balerne	16/05/2018 11:00	22/05/2018 14:00	08/06/2018 11:00	12/06/2018 14:00	
Rui. affluent Balerne	16/05/2018 11:00	22/05/2018 14:00	08/06/2018 11:00	12/06/2018 14:00	
Source vallon de Saffloz			08/06/2018 11:00	12/06/2018 14:00	
	sec				

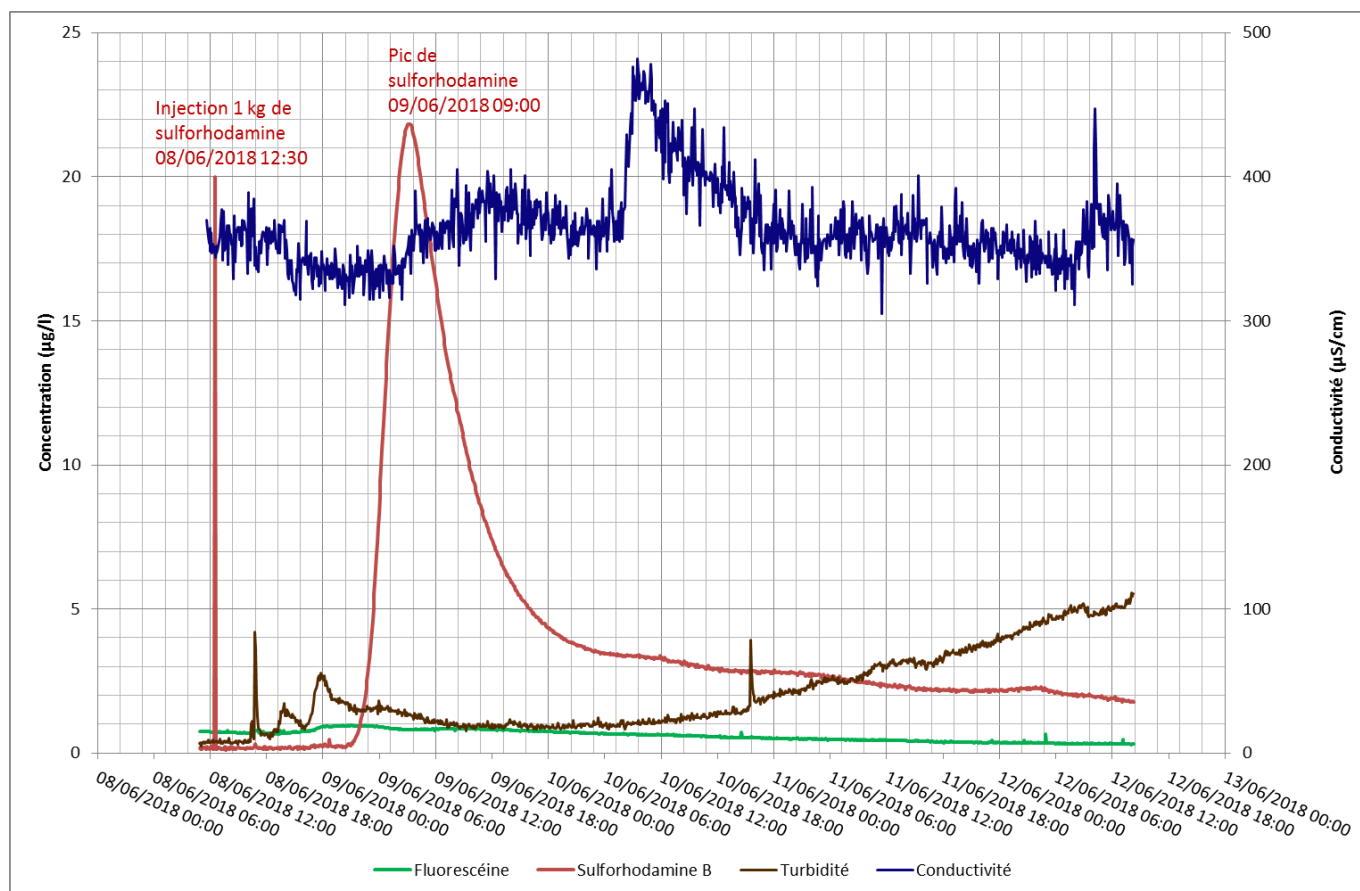
Figure 24 : Tableau de la surveillance des sources par fluorimètres.

n°	Date	Traceur	Quantité	Lieu	Eau d'injection	X Lambert 93	Y Lambert 93
1	16/05/2018 11:00	Eosine	1,5 kg	Lapiez nord Saffloz	Ecoulement naturel	917555	6623288
2	16/05/2018 11:00	Fluorescéine	1,5 kg	Rejet EU Songeson	Rejet EU	915553	6620290
3	08/06/2018 10:00	Fluorescéine	1,5 kg	Lapiez cabane des chasseurs Saffloz	8 m3	918993	6622866
4	08/06/2018 12:30	Sulforhodamine B	1 kg	Perte étang de saffloz	Ecoulement naturel	917653	6622566
5	12/06/2018 16:00	Eosine	1,5 kg	Regard robinet cimetière Songeson	Robinet 12 m3	915654	6620710

Tous les traceurs ont été retrouvés dans un des points de surveillance au moins.

Le fluorimètre a détecté la sulforhodamine B dans les sources de Fontenu nord et sud (voir Figure 25).

Figure 25 : Fluorimètre aux sources de Fontenu.



6 INTERPRÉTATION DES RESULTATS DE TRAÇAGES.

6.1 LAPIES SUR LE MARAIS.

L'éosine est détectée par le fluorimètre placé dans le ruisseau de Fontenu (voir Figure 21) 4 jours après son injection. La distance rectiligne apparente parcourue est de 1720 m, soit une vitesse de 18 m/h = 430 m/jour. Les 2 fluocapteurs du 12/12/2016 placés dans les sources de Fontenu nord et sud sont positifs. On retrouve des traces d'éosine dans les fluocapteurs du 07/03/2017.

6.2 LAPIES LA FRATE.

La fluorescéine est détectée dans les 2 fluocapteurs du 12/12/2016 des sources situées sous le remblai de la route de Chambly. Il s'agit d'émergences plus ou moins diffuses qui alimentent un ruisseau qui rejoint le Hérisson 1 km à l'aval.

6.3 LAPIES DE PRE JACQUIN.

La fluorescéine est présente massivement dans le fluocapteur du 07/03/2017 de la rivière Balerne qui draine les différentes sources qui émergent au fond de cette reculée. Elle est également détectée en plus

faible concentration dans le ruisseau de Maison du Bois situé au pied du plateau au sud-ouest de Balerne.

6.4 LAPIES EN EVENNES.

L'éosine est présente massivement dans le fluocapteur du 07/03/2017 de la source route de Chambly. Elle est également détectée en concentration plus faible par le fluorimètre ainsi que dans le fluocapteur du 07/03/2017 placés dans la source du Moulin. Le fluorimètre a détecté l'éosine seulement 7 heures après son injection. La distance apparente parcourue est de 2120 m entre le point d'injection et la source du Moulin, soit une vitesse de $303 \text{ m/h} = 7280 \text{ m/jour}$. Il s'agit d'une vitesse exceptionnellement élevée à mettre en relation avec la période de hautes eaux pendant laquelle l'injection a été réalisée (voir Figure 22). On peut déduire de cet essai qu'en basses eaux le réseau karstique profond alimente les sources situées sous la route de Chambly dans la vallée du Hérisson et qu'en période de hautes eaux, un réseau karstique plus élevé se met en charge dans ce secteur du plateau et draine une partie des eaux directement vers la source du Moulin.

6.1 LAPIES AU NORD DE SAFFLOZ.

L'éosine est présente dans les fluocapteurs du 22/05/2018 disposés dans la rivière Balerne (CHA-7 & CHA-8) et un de ses affluents. A noter que le site constitué d'une grande dalle calcaire sert de zone de stockage de fumier, les eaux de lessivage descendent directement dans le sous-sol et arrivent rapidement aux sources de Balerne.

6.2 POINT DE REJET DU RESEAU EAU PLUVIALE DE SONGESON.

La fluorescéine est présente dans les 3 fluocapteurs qui surveillent les différentes émergences qui alimentent la zone humide aval du lac de Chambly.

6.3 LAPIES A COTE DE LA CABANE DE CHASSE DE SAFFLOZ.

La fluorescéine est présente dans les 2 fluocapteurs qui surveillent les écoulements dans la reculée de Balerne.

6.4 PERTE DE L'ETANG DE SAFFLOZ.

La sulforhodamine est présente dans les sources de Fontenu et de manière plus diluée dans la source du Moulin. Le fluorimètre mis en place dans le ruisseau de Fontenu a détecté la sulforhodamine B 13 heures après son injection, la vitesse apparente du transit souterrain est de $153 \text{ m/heure} = 1700 \text{ m/jour}$. C'est le premier traçage qui touche simultanément les sources de Fontenu et du Moulin : la partie centrale du bassin d'alimentation est commune aux 2 sources.

6.5 REGARD AU CIMETIERE DE SONGESON.

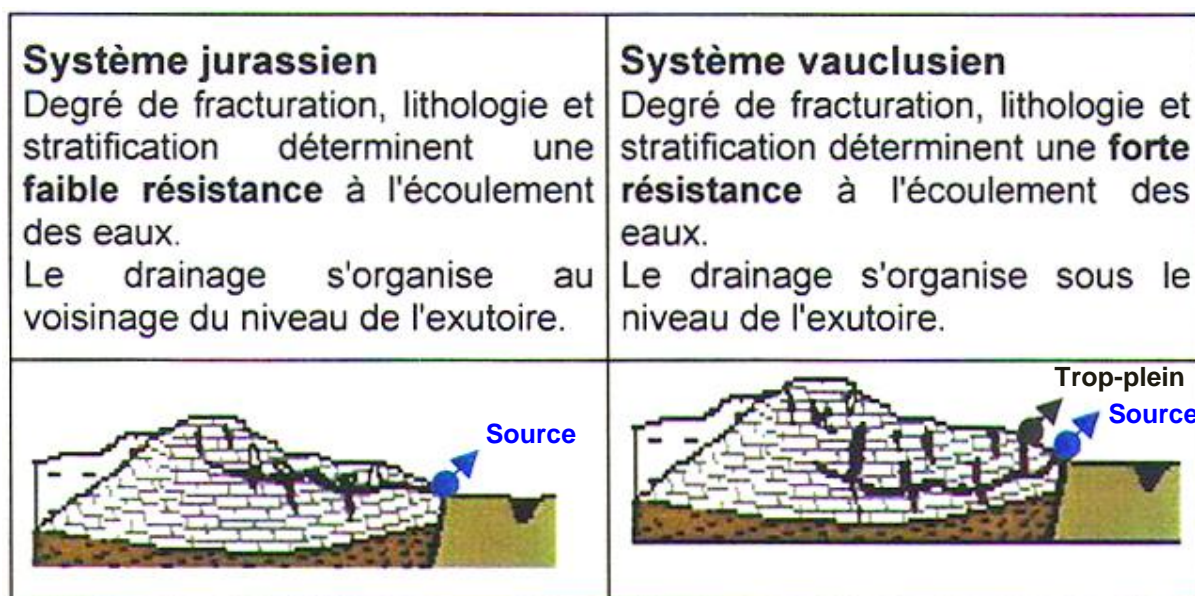
L'éosine est présente dans le fluocapteur de la source de Chambly centre, à noter que la source Est est à sec lors de cette opération de traçage.

7 INTERPRETATION DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES.

Les fluorimètres mesurent la conductivité, la température et la turbidité des eaux.

- Sur la Figure 21, les débits à la source de Fontenu sont restés stables, on observe uniquement des variations quotidiennes de température dues à l'exposition de l'appareil aux rayons solaires, ces variations ne présentent pas d'intérêts pour la compréhension des mécanismes de circulations souterraines des eaux.
- Sur la Figure 22 du suivi à la source du Moulin, on observe 2 pics de crues importants de 8 m³/s. Au premier pic du 2/03, on observe une chute brutale de la minéralisation des eaux avec une conductivité qui passe de 420 à 290 µS/cm (baisse de 130 µS/cm). Ensuite la conductivité reste à des valeurs basses, et baisse à nouveau lors du second pic du 7/03 de seulement 30 µS/cm. Les eaux de pluie peu minéralisées arrivent rapidement à la source et font chuter la conductivité : le réseau karstique ne possède pas de réserves d'eau stockées dans une zone noyée. Il s'agit d'un système de type jurassien, par opposition au système vauclusien qui comporte d'importantes réserves contenues dans une zone noyée.

Figure 26 : Typologie des sources.



Des pics de turbidité apparaissent en même temps que les pics de crue. Les valeurs mesurées sont assez faibles (5 NFU).

8 JAUGEAGE DES SOURCES DU MOULIN ET FONTENU.

8.1 PRINCIPES.

Des stations de jaugeage ont été mises en place pour suivre les débits des 2 sources karstiques qui alimentent le lac. Elles ont fonctionné entre le 21/12/2016 et le 08/01/2018.

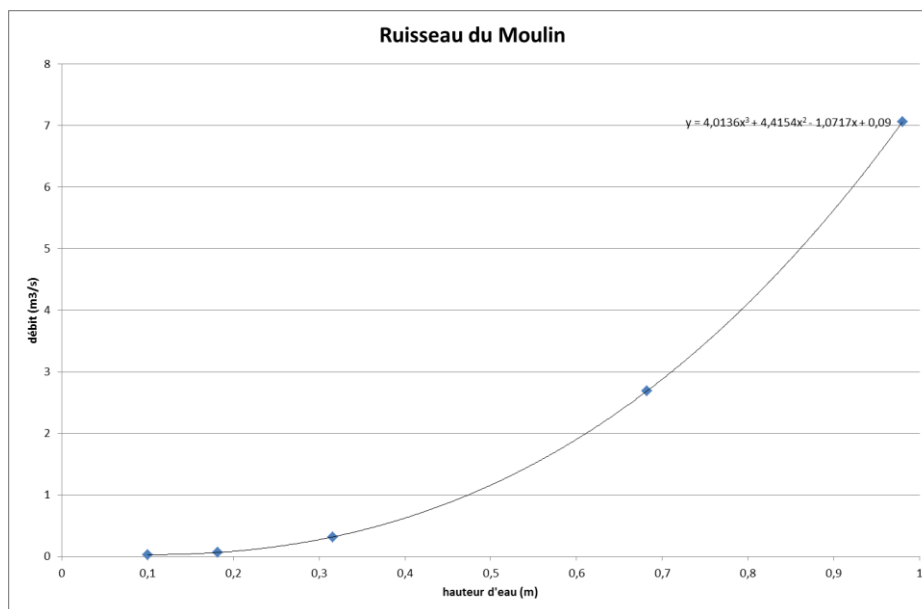
Chaque station a été équipée d'une sonde de pression et d'un enregistreur qui mesure la hauteur d'eau (h) toutes les heures. 6 mesures de débits (Q) pour différentes conditions hydrologiques ont été réalisées

afin d'obtenir le courbe de tarage de chaque station $Q = f(h)$. La connaissance des débits des sources sur une année a permis le calcul d'un bilan hydrologique qui fournit une estimation de la surface du BAC. Les hydrogrammes de crue sont utilisés pour caractériser le fonctionnement du réseau karstique en utilisant la méthode de Mangin.

8.2 COURBES DE TARAGE.

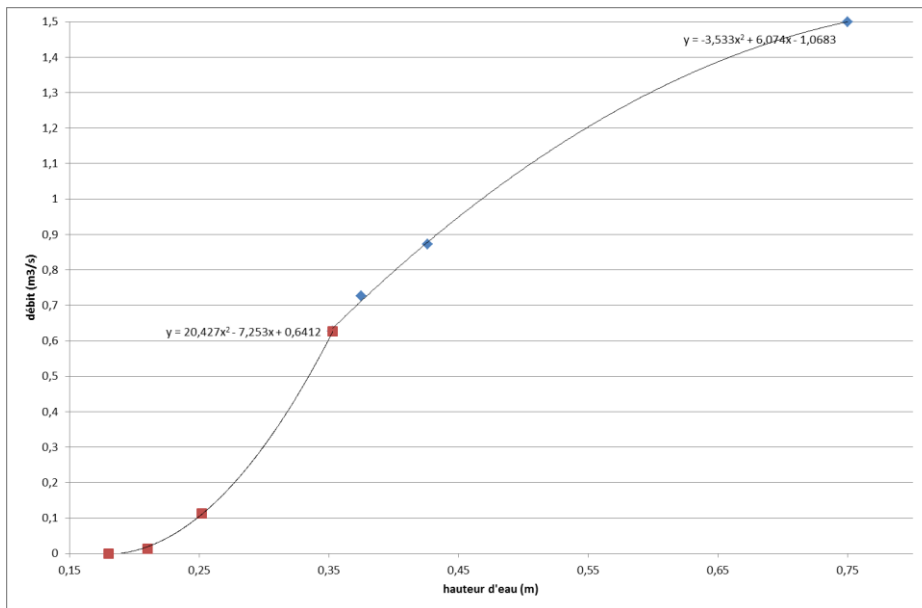
Source du Moulin, la station a été installée au niveau de la passerelle piéton. Les mesures de débit ont été réalisées à l'amont de la passerelle ainsi que dans le canal qui passe par le centre aquatique du camping qui détourne une petite partie du débit de la source.

Figure 27 : Courbe de tarage, ruisseau du Moulin.



Source de Fontenu, la station a été mise en place à l'amont du pont sur le ruisseau situé à l'intérieur du camping et le plus proche des émergences.

Figure 28 : Courbe de tarage, ruisseau de Fontenu.



8.3 HYDROGRAMMES.

Les 2 stations ont fonctionné sans interruption du 21/12/2016 au 08/01/2018, elles ont enregistré des périodes d'étiage (juillet, août, septembre 2017) et des crues (novembre, décembre 2017).

Figure 29 : Hydrogrammes, ruisseau du Moulin.

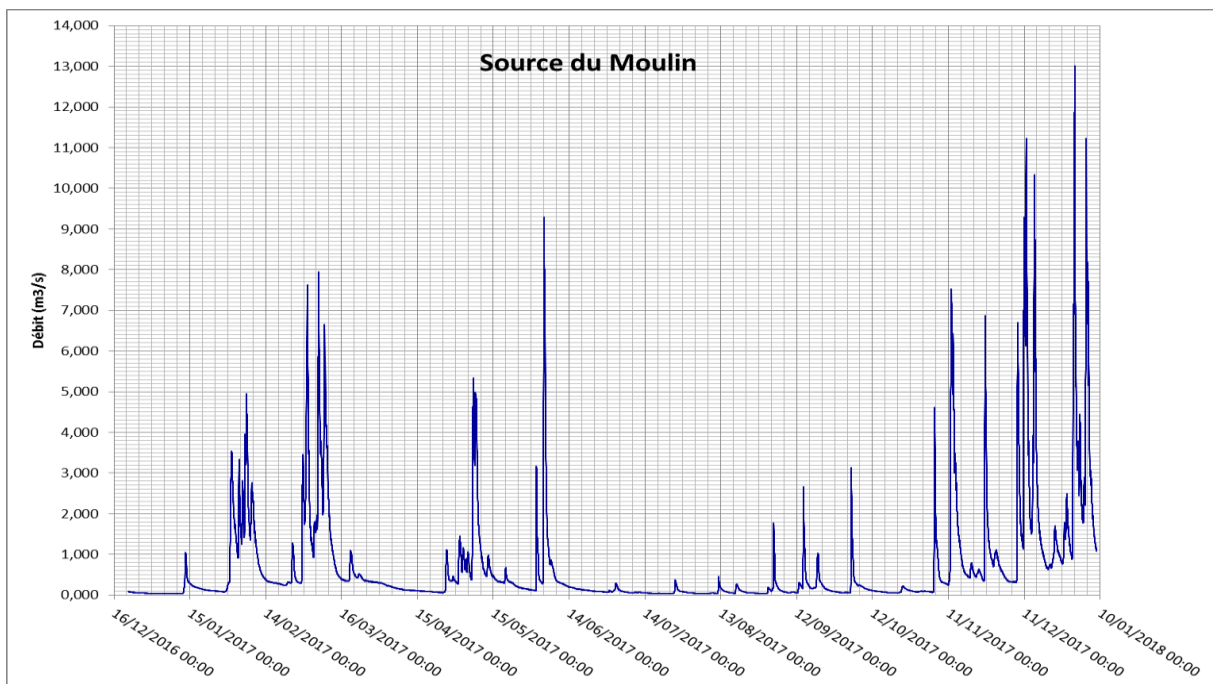
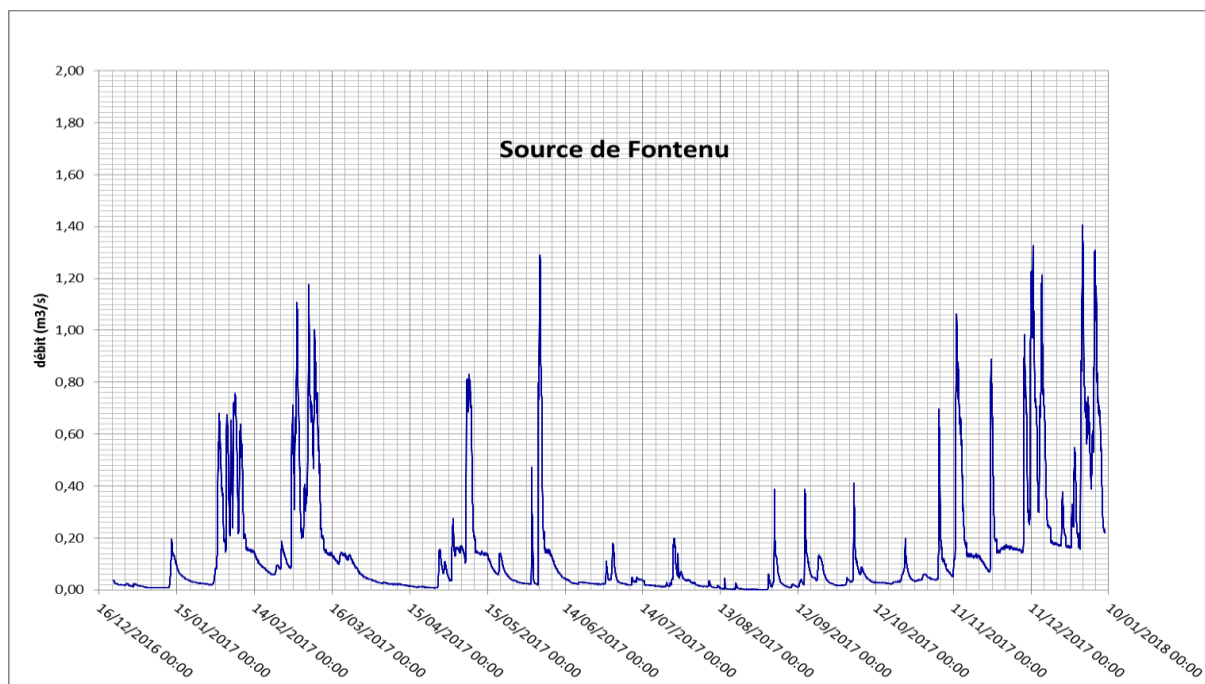


Figure 30 : Hydrogrammes, ruisseau de Fontenu.



8.4 BILAN HYDROLOGIQUE, ANNEE 2017.

Le calcul du bilan hydrologique se fait en comparant les débits mesurés aux sources et les pluies infiltrées qui rechargent l'aquifère.

La surface du bassin est donnée par la formule : $S_{BAC} = V_{annuel} / P_{efficaces}$

Dans le bassin d'alimentation des sources il n'y a aucune exportation d'eau pluviale par des ruissellements superficiels : toutes les eaux s'infiltrent dans le sous-sol.

Les variations des réserves souterraines d'une année à l'autre sont négligeables et n'interviennent pas dans le calcul.

La pluie efficace est calculée en soustrayant l'évapotranspiration réelle (ETR) mensuelle (station météo France de Champagnole) à la pluviométrie mesurée aux Frasnois. Elle est de 896 mm.

Figure 31 : Tableau du calcul des précipitations efficaces.

DATE	ETP (mm)	pluvio (mm)	Pluie efficace (mm)
janvier 2017	1	76,3	75,3
février 2017	16,5	144,7	128,2
mars 2017	45	147,9	102,9
avril 2017	69,1	72,2	3,1
mai 2017	93,4	178,9	85,5
juin 2017	125,1	118,3	0
juillet 2017	113,1	100,9	0
août 2017	101,5	94,4	0
septembre 2017	46,7	86,8	40,1
octobre 2017	26,9	78,3	51,4
novembre 2017	0	220,5	220,5
décembre 2017	0	188,7	188,7
		Somme	895,7

Le volume d'eau écoulé aux sources est de 2,460 millions de mètres cubes.

Figure 32 : Tableau du calcul de la surface du BA.

	volume annuel (m3)	Pluie efficace (mm)	Surface BA (m2)	Surface BA (km2)	Surface BA (ha)
Moulin	20469551				
Fontenu	4129761				
Total	24599312	896	27463785	27,464	2746

La surface du bassin d'alimentation des sources est évaluée à 27,5 km² environ. Cette valeur est plus faible que la surface de bassin estimée au départ de l'étude qui était de 36 km².

8.5 CARACTERISATION DU FONCTIONNEMENT DU RESEAU KARSTIQUE.

L'étude par la méthode de Mangin de la courbe de récession des pics de crue permet le calcul de 2 paramètres caractéristiques du fonctionnement du réseau karstique : k qui mesure le pouvoir régulateur du système et i qui mesure le retard à l'infiltration. Ces valeurs reportées sur un graphique permettent de classer le réseau karstique parmi 5 systèmes types définis par Mangin.

La courbe de récession correspond à la courbe de décrue suivie de la courbe de tarissement.

Sur 2017 un seul phénomène de crue est interprétable, il s'agit de la crue du 04/06/2017 qui est suivie d'une période de tarissement suffisamment longue.

Figure 33 : Courbe de récession, source du Moulin

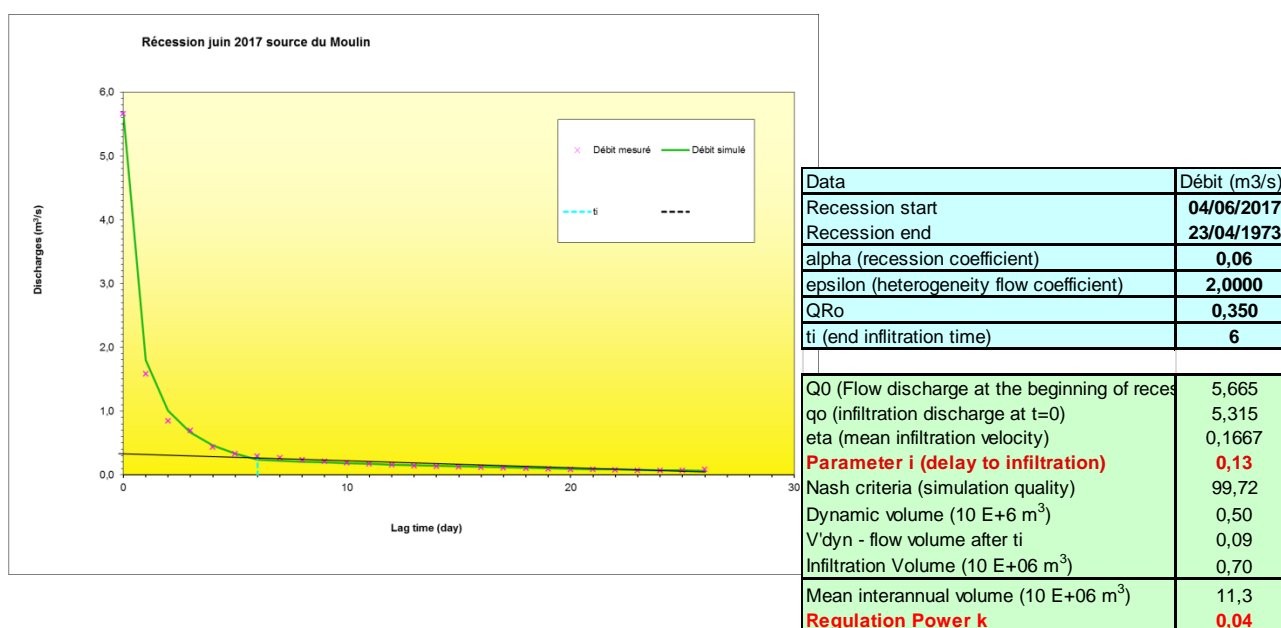


Figure 34 : Courbe de récession, source de Fontenu.

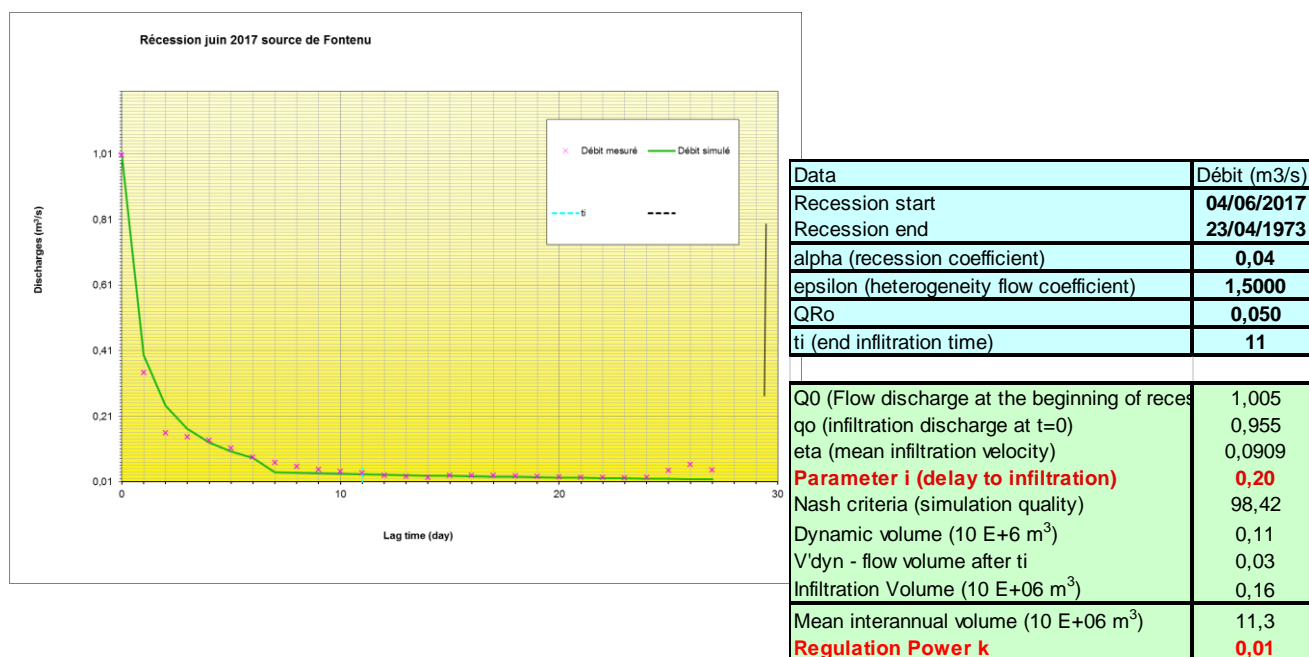
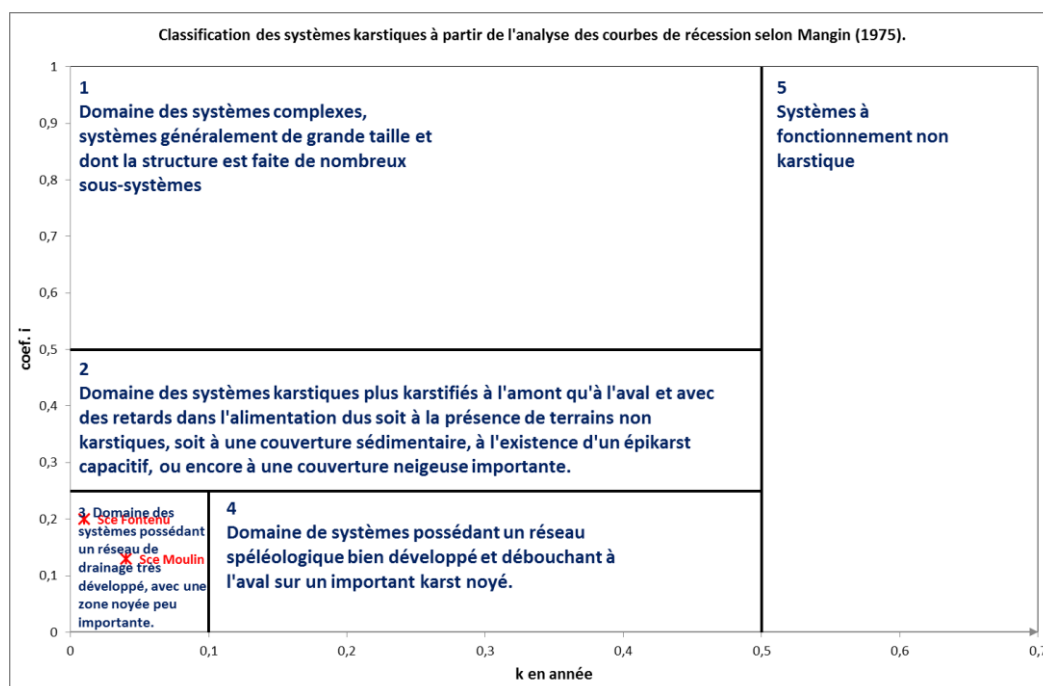


Figure 35 : Classification des systèmes karstiques de Mangin.



Les 2 sources présentent sensiblement les mêmes caractéristiques, il s'agit du « Domaine des systèmes possédant un réseau de drainage très développé, avec une zone noyée peu importante. ».

Le système karstique du Moulin et Fontenu possède des conduits karstiques suffisamment gros et étendus pour évacuer rapidement les eaux des précipitations d'où un pouvoir régulateur faible compris entre 4 et 15 jours. L'infiltration des eaux de pluie se fait rapidement : il n'y a pas de stockage dans les formations superficielles (sol, moraine, lapiés). Il n'y a pas de zone noyée, il s'agit bien d'un système « jurassien » (voir Figure 26 : Typologie des sources.).

9 CONCLUSIONS.

L'association des données de traçages et du bilan hydrologique a permis de délimiter un bassin d'alimentation dont la surface de 27,5 km² correspond à la superficie nécessaire à la recharge de l'aquifère pour alimenter les sources du Moulin et de Fontenu. La surface a été callée en fonction du bilan hydrologique.

Le lac possède une part d'alimentation par les formations fluvio-glaciaires de la combe d'Ain à l'ouest et à l'est du lac. Il s'agit d'échanges entre la nappe présente au niveau du Domaine de Chalain et le lac et de ruissellement sur des surfaces imperméables drainées par des biefs et des fossés. Les terrains qui communiquent avec le lac correspondent au bassin versant hydrologique de ces reliefs, soit une surface de 3,6 km². Les débits issus de ces surfaces sont beaucoup moins importants que ceux qui sortent des sources de Fontenu et du Moulin. Cependant ces débits sont assez réguliers tout au long de l'année.

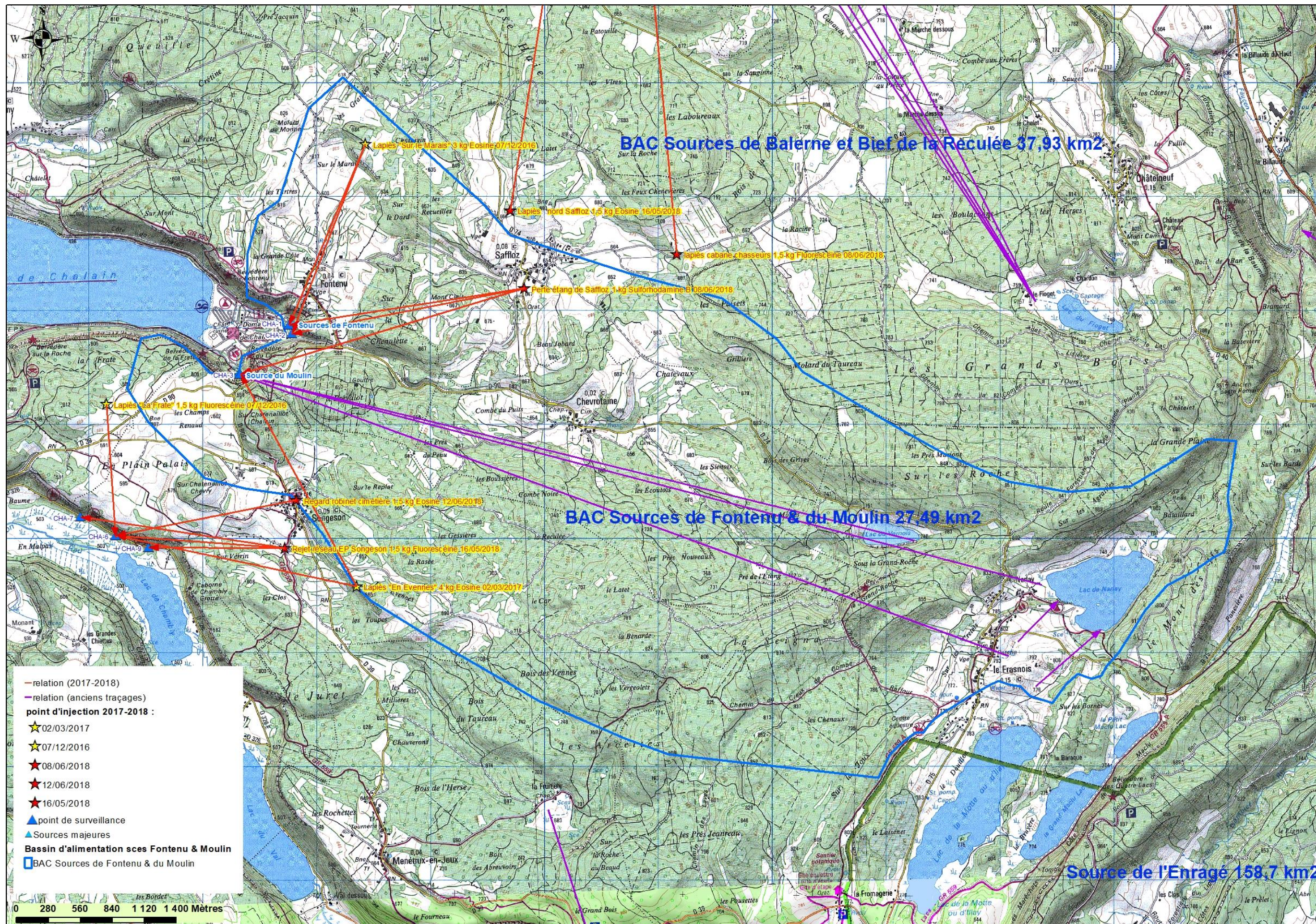
Les versants calcaires, dont les sommets sont occupés par des falaises et la base par des éboulis, présents au sud et au nord du lac favorisent les ruissellements vers le lac à cause des fortes pentes qui ne permettent pas aux eaux de s'infiltrer. La surface de ces zones est de 0,8 km².

La surface totale d'alimentation du lac est donc d'environ 31,9 km².

Figure 36 : Carte des traçages.



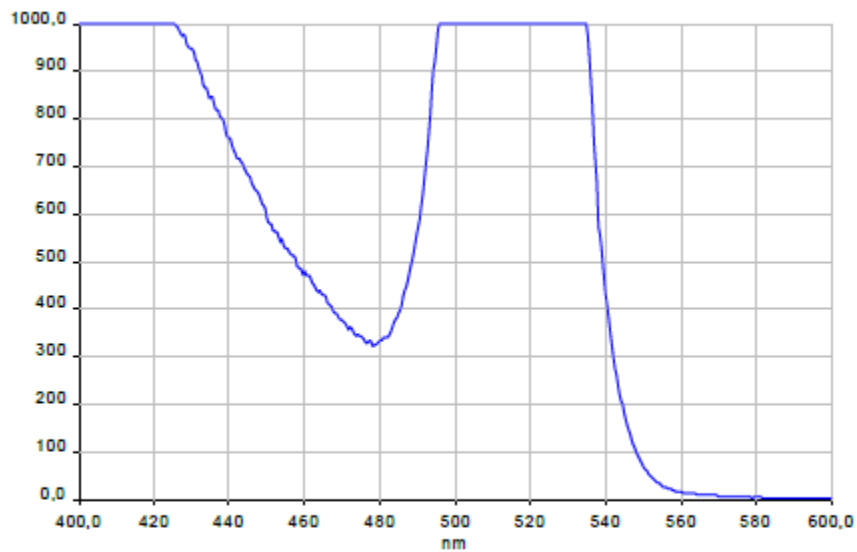
Figure 37 : Carte du bassin d'alimentation karstique du lac de Chalain sur fond topographique.



Annexe 1 : Spectres d'analyse des fluocapteurs positifs.

réf.	Nom	Mis en place	Changé le	Mis en place/changé le	Changé le	Changé le
CHA-1	Source de Fontenu nord	1/12/16 10:00	12/12/2016 15:00	01/03/2017 15:00	07/03/2017 15:00	15/03/2017 15:00
CHA-2	Source de Fontenu sud	1/12/16 10:00	12/12/2016 15:00	01/03/2017 15:00	07/03/2017 15:00	15/03/2017 15:00
CHA-3	Source du Moulin	1/12/16 10:00	12/12/2016 15:00	01/03/2017 15:00	07/03/2017 15:00	15/03/2017 15:00
CHA-4	Ruisseau les Voissières CREPS	1/12/16 10:00	12/12/2016 15:00			
CHA-5	Fontaine Doucier	1/12/16 10:00	12/12/2016 15:00			
CHA-6	Source route de Chambly est	1/12/16 10:00	12/12/2016 15:00			
CHA-7	Source route de Chambly ouest	1/12/16 10:00	12/12/2016 15:00	01/03/2017 15:00	07/03/2017 15:00	
CHA-8	Rivière Hérisson aval	1/12/16 10:00	12/12/2016 15:00	01/03/2017 15:00	07/03/2017 15:00	
CHA-9	Bief de la Côte Marigny	1/12/16 10:00	12/12/2016 15:00	01/03/2017 15:00	07/03/2017 15:00	
CHA-10	Fontaine Noire			01/03/2017 15:00	07/03/2017 15:00	
CHA-11	Rui. Monnet la Ville			01/03/2017 15:00	07/03/2017 15:00	
CHA-12	Rui. Maison du Bois			01/03/2017 15:00	07/03/2017 15:00	
CHA-13	Riv. Balerne			01/03/2017 15:00	07/03/2017 15:00	
CHA-14	Sce Eventail			01/03/2017 15:00	07/03/2017 15:00	
CHA-15	Riv. Hérisson amont			01/03/2017 15:00	07/03/2017 15:00	

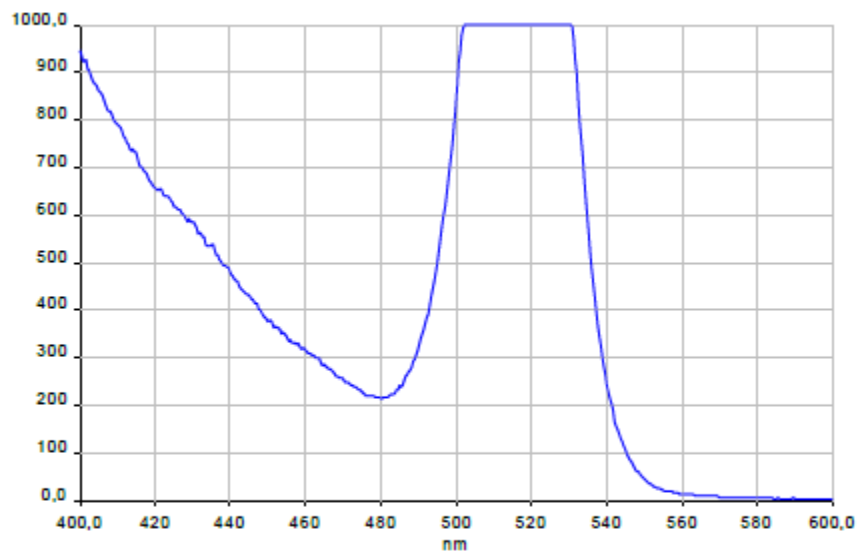
A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



B. OBSERVATION

Le fluocapteur de **CHA-1**, relevés le 12/12/16, présente un pic saturé d'éosine.

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE

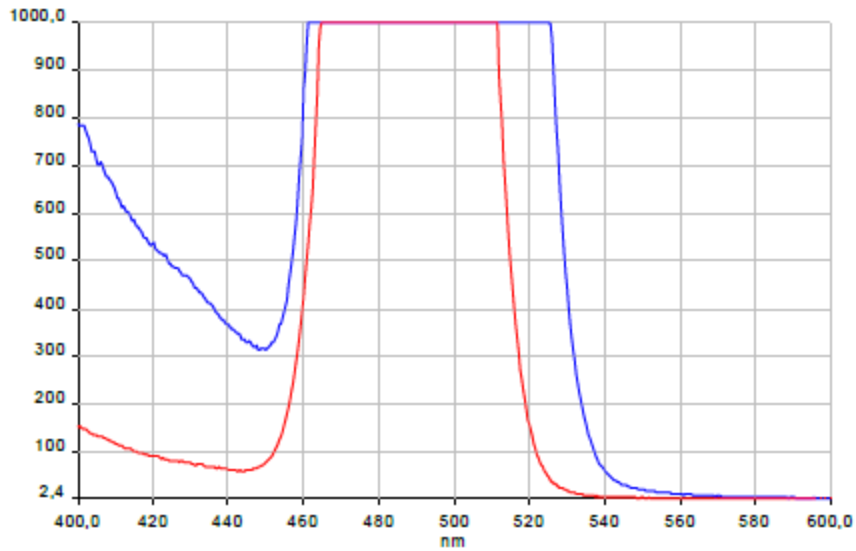


B. OBSERVATION

Le fluocapteur de **CHA-2**, relevé le 12/12/16, présente un pic saturé d'éosine.

- 12/12/16 ————
- 12/12/16 dilué ————

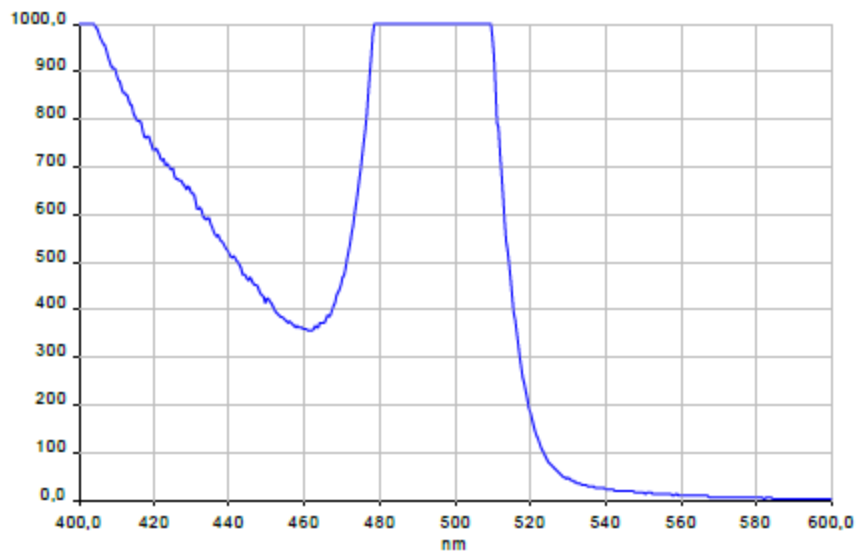
A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



B. OBSERVATION

Le fluocapteur de **CHA-6**, relevé le 12/12/16, présente un pic saturé de Fluorescéine.

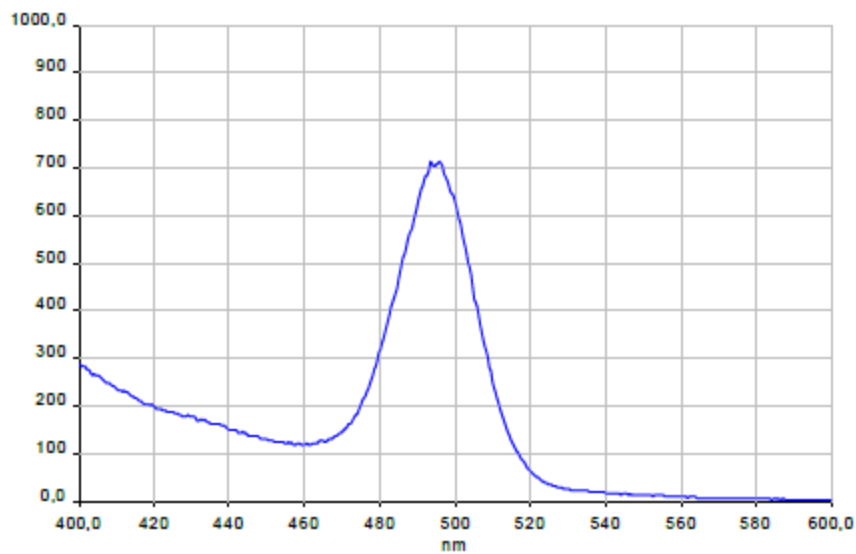
A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



B. OBSERVATION

Le fluocapteur de **CHA-7**, relevé le 12/12/16, présente un pic saturé de Fluorescéine.

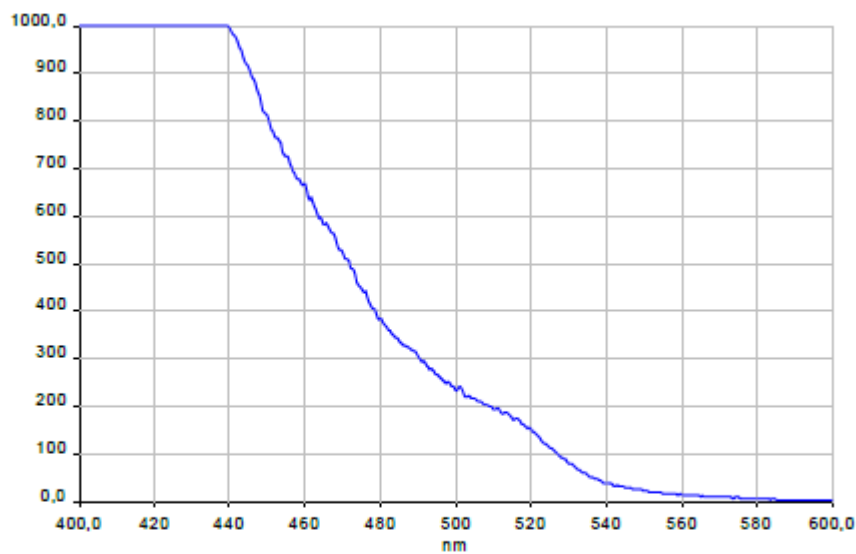
A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



B. OBSERVATION

Le fluocapteur de **CHA-8**, relevé le 12/12/16, présente un pic de Fluorescéine.

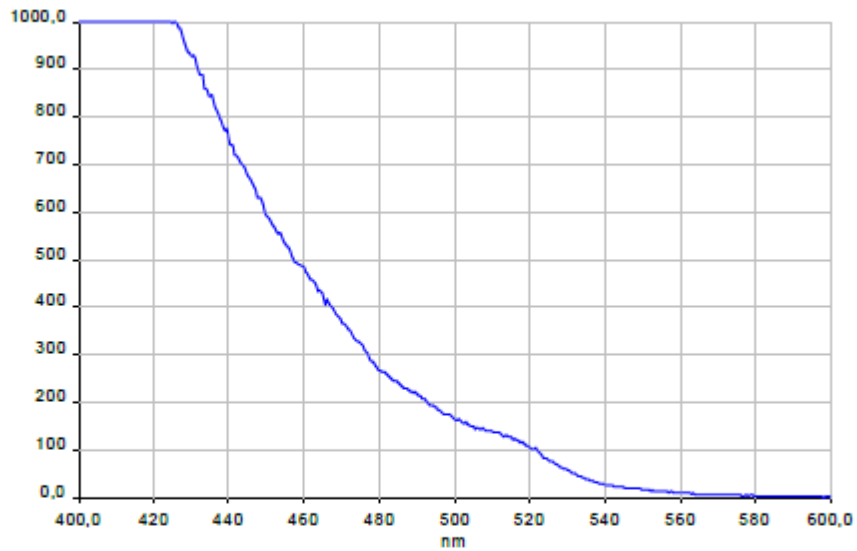
A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



B. OBSERVATION

Le fluocapteur de **Source de Fontenu nord - CHA-1**, relevé le 07/03/17, présente de potentielles traces d'éosine.

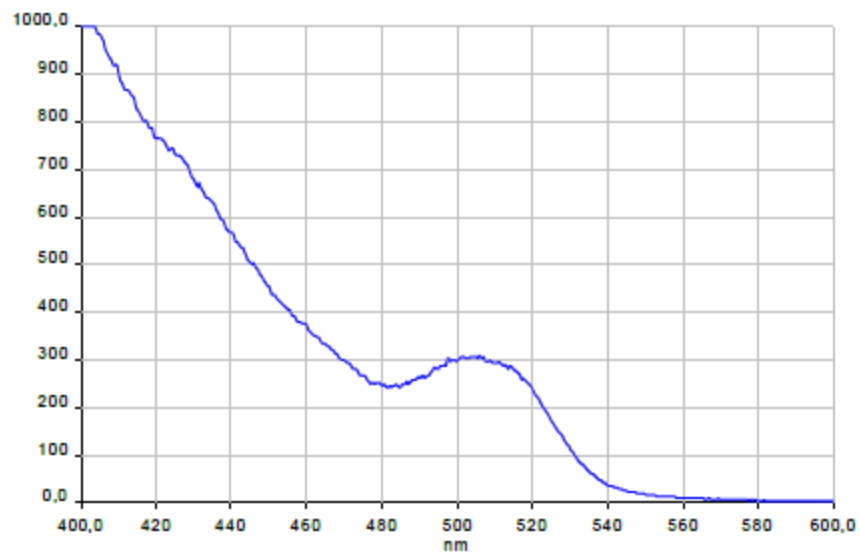
A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



B. OBSERVATION

Le fluocapteur de **Source de Fontenu sud – CHA-2**, relevé le 07/03/17, présente de potentielles traces d'éosine.

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE

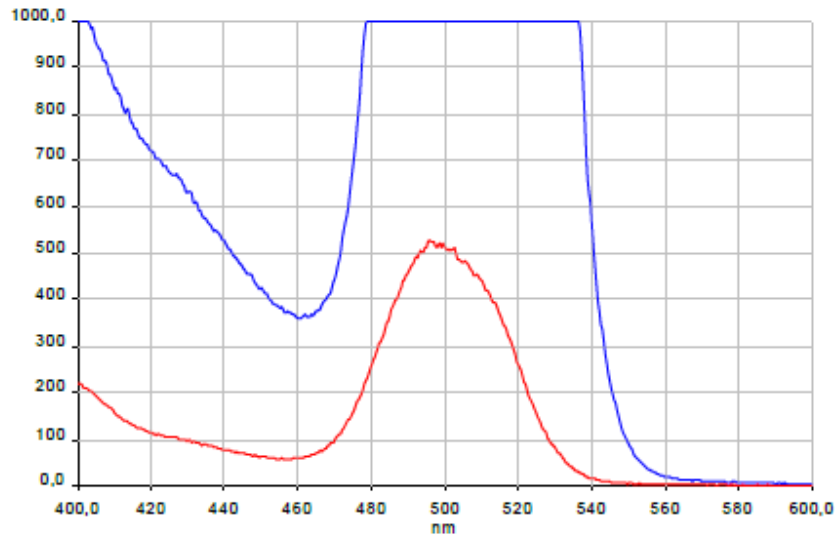


B. OBSERVATION

Le fluocapteur de **Source du Moulin – CHA-3**, relevé le 07/03/17, présente des traces d'éosine.

- 07/03/17 ————
- 07/03/17 dilué ————

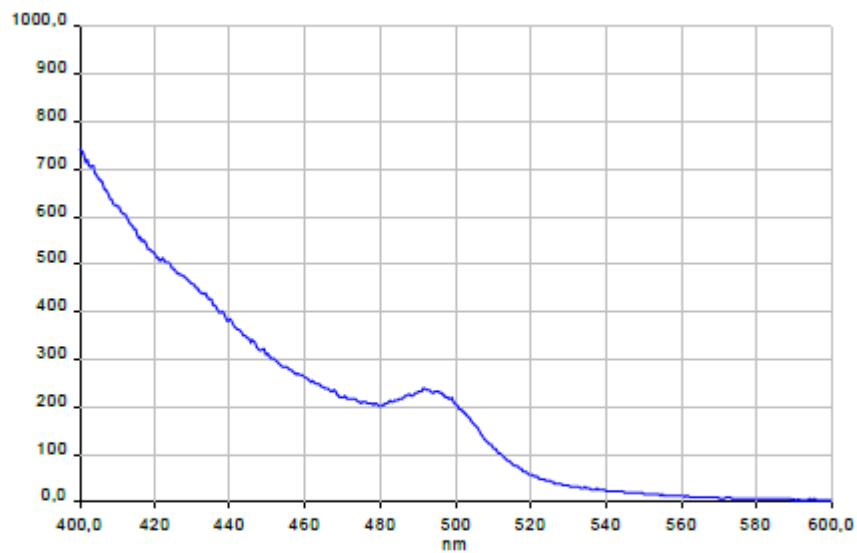
A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



B. OBSERVATION

Le fluocapteur de **Source route de Chambley est – CHA-6**, relevé le 07/03/17, présente un pic saturé en Eosine.

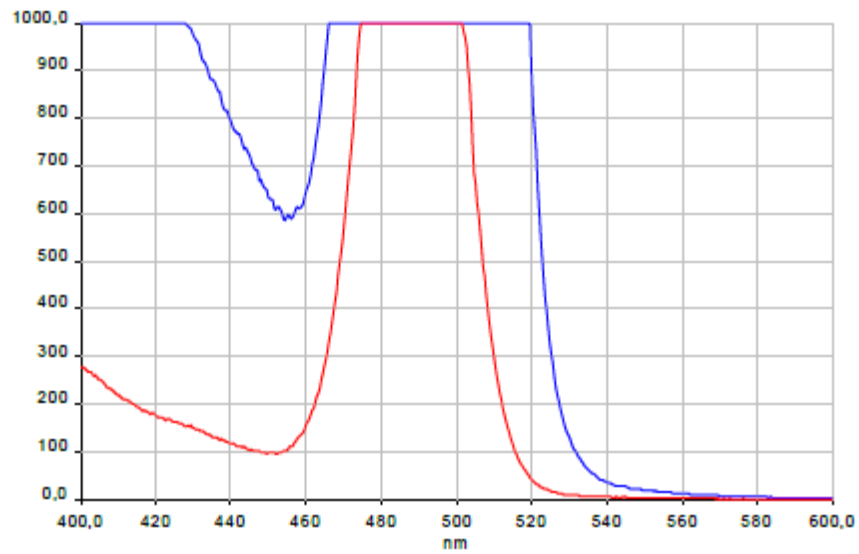
A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



B. OBSERVATION

Le fluocapteur de **Rui Maison du Bois – CHA-12**, relevé le 07/03/17, présente des traces de Fluorescéine.

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



B. OBSERVATION

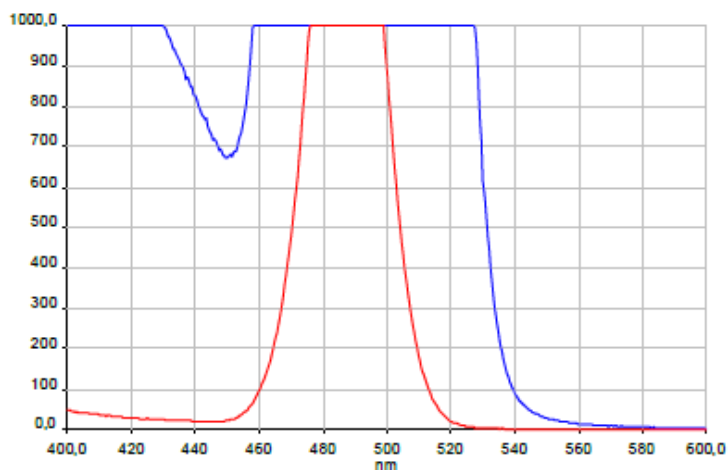
Le fluocapteur de Riv Balerne – CHA-13, relevé le 07/03/17, présente un pic saturé de Fluorescéine.

Annexe 2 : Spectres d'analyse des fluocapteurs positifs, 2nd campagne.

Analyse réalisée sur le fluocapteur de la « **Source route de Chambly 1 est – CHA-4** » du :

- 22/05/18 ————
- 22/05/18 dilué ————

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE

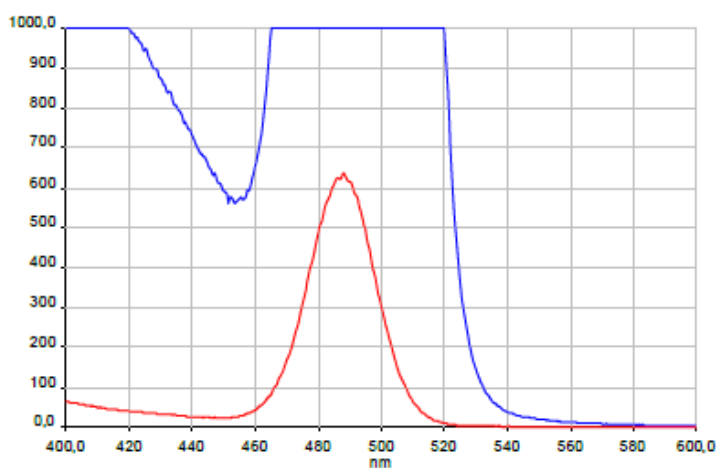
**B. OBSERVATION**

Le fluocapteur de la **Source route de Chambly 1 est – CHA-4**, relevé le 22/05/18, présente un pic saturé de Fluorescéine.

Analyse réalisée sur le fluocapteur de la « **Source route de Chambly 2 centre – CHA-5** » du :

- 22/05/18 ————
- 22/05/18 dilué ————

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE

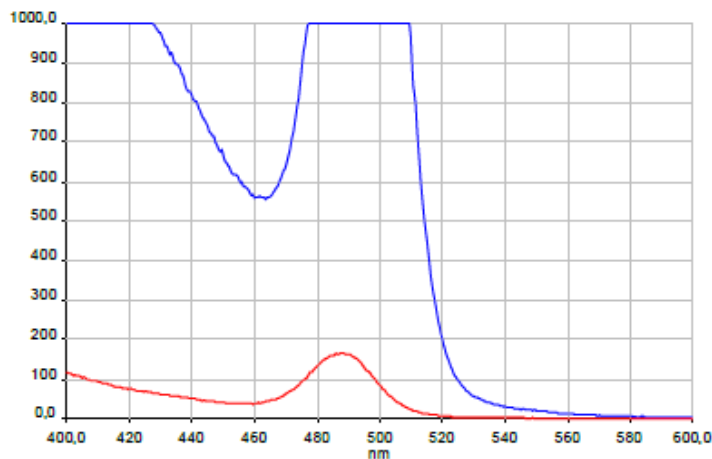
**B. OBSERVATION**

Le fluocapteur de la **Source route de Chambly 2 centre – CHA-5**, relevé le 22/05/18, présente un pic saturé de Fluorescéine.

Analyse réalisée sur le fluocapteur de la « Source route de Chambly 3 ouest – CHA-6 » du :

- 22/05/18 —
- 22/05/18 dilué —

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



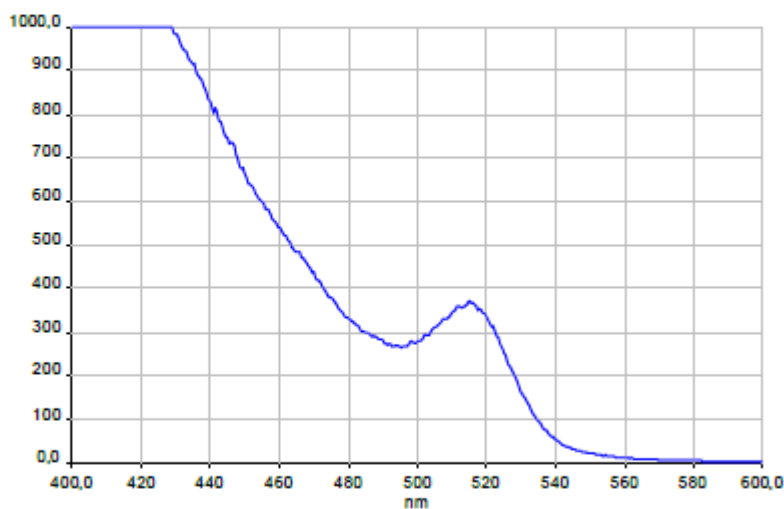
B. OBSERVATION

Le fluocapteur de la Source route de Chambly 3 ouest – CHA-6, relevé le 22/05/18, présente un pic saturé de Fluorescéine.

Analyse réalisée sur le fluocapteur de la « Riv. Balerne – CHA-7 » du :

- 22/05/18 —

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



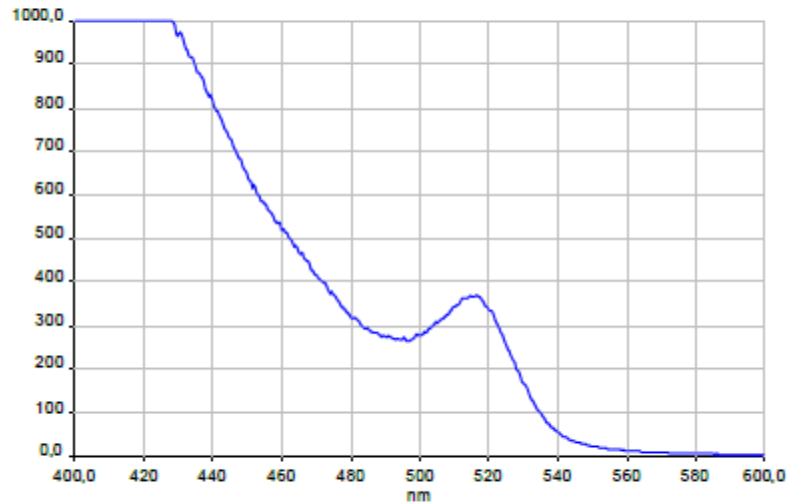
B. OBSERVATION

Le fluocapteur de la Riv. Balerne – CHA-7, relevé le 22/05/18, présente un pic d'éosine.

Analyse réalisée sur le fluocapteur du « Rui. Affluent Balerne – CHA-8 » du :

- 22/05/18

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



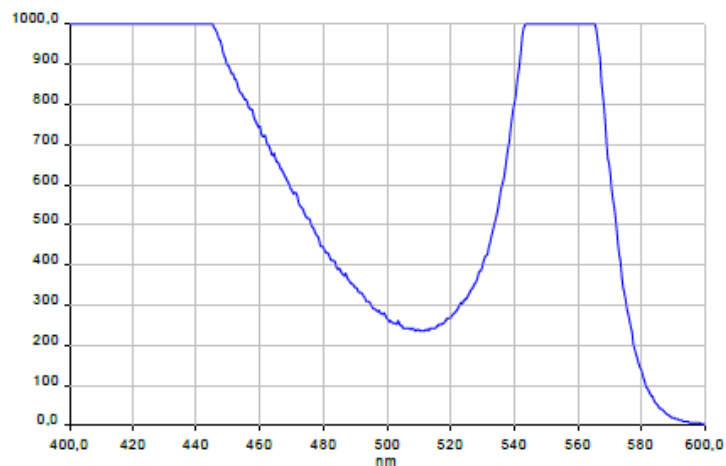
B. OBSERVATION

Le fluocapteur du Rui. Affluent Balerne – CHA-8, relevé le 22/05/18, présente un pic d'éosine.

Analyse réalisée sur le fluocapteur de la « Source de Fontenu nord – CHA-1 » du :

- 12/06/18

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



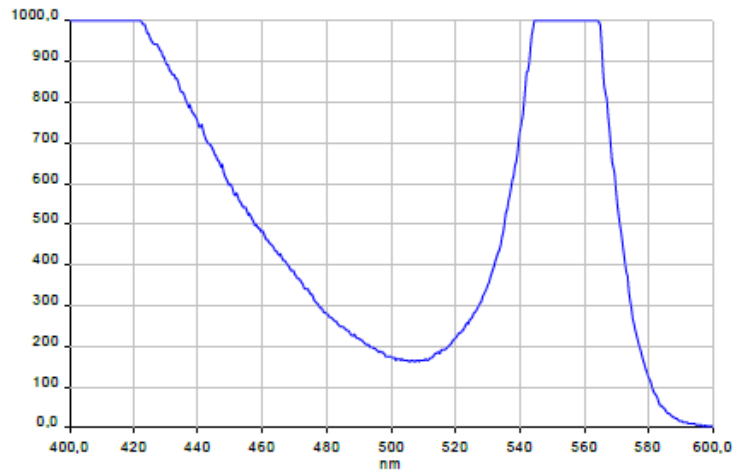
B. OBSERVATION

Le fluocapteur de la Source de Fontenu nord – CHA-1, relevé le 12/06/18, présente un pic saturé de Sulforhodamine B.

Analyse réalisée sur le fluocapteur de la « **Source de Fontenu sud – CHA-2** » du :

- 12/06/18

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



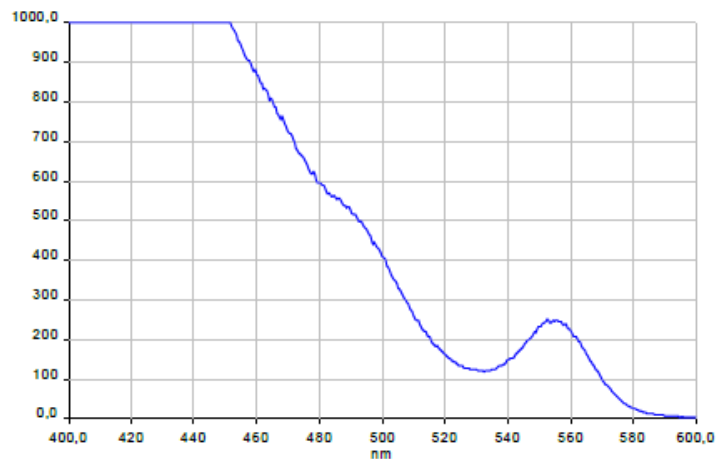
B. OBSERVATION

Le fluocapteur de la **Source de Fontenu sud – CHA-2**, relevé le 12/06/18, présente un pic saturé de Sulforhodamine B.

Analyse réalisée sur le fluocapteur de la « **Source du Moulin – CHA-3** » du :

- 12/06/18

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



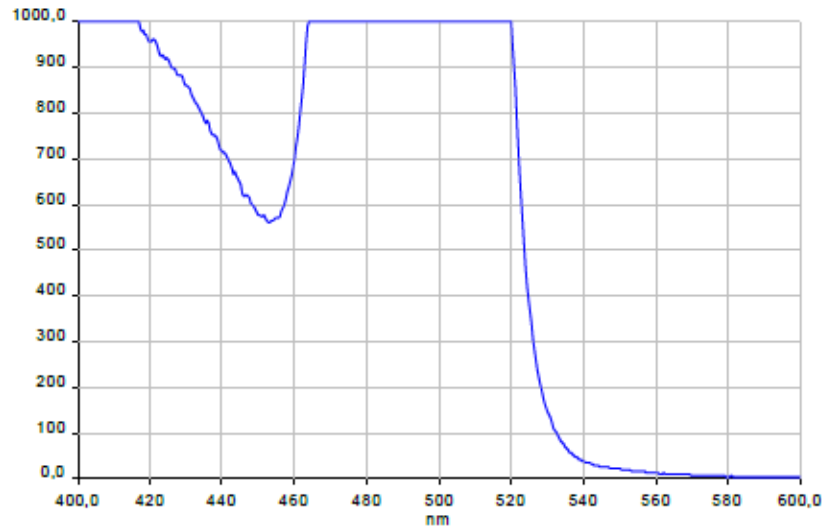
B. OBSERVATION

Le fluocapteur de la **Source du Moulin – CHA-3**, relevé le 12/06/18, présente des traces de Fluorescéine et un pic de Sulforhodamine B.

Analyse réalisée sur le fluocapteur de la « Riv. Balerne – CHA-7 » du :

- 12/06/18

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



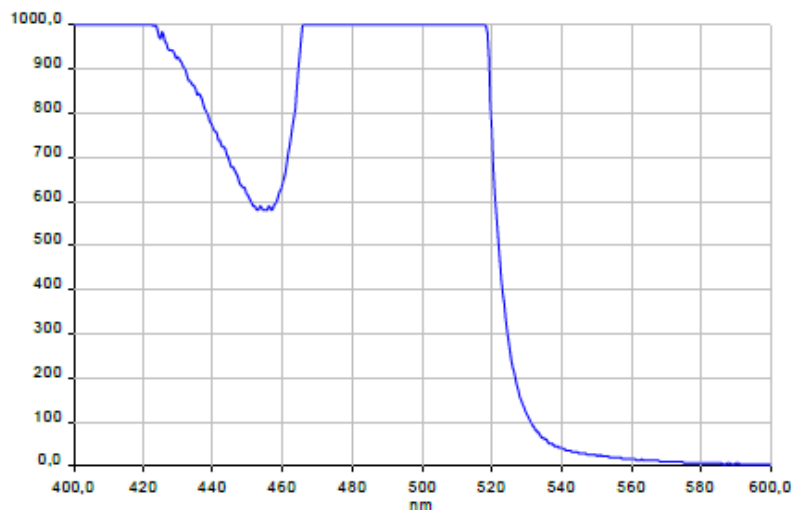
B. OBSERVATION

Le fluocapteur de la Riv. Balerne – CHA-7, relevé le 12/06/18, présente un pic saturé de Fluorescéine.

Analyse réalisée sur le fluocapteur du « Rui. Affluent Balerne – CHA-8 » du :

- 12/06/18

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



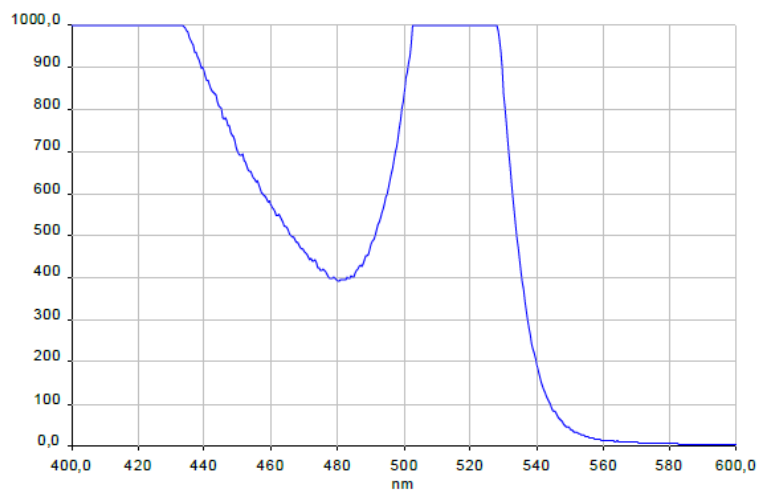
B. OBSERVATION

Le fluocapteur du Rui. Affluent Balerne – CHA-8, relevé le 12/06/18, présente un pic saturé de Fluorescéine.

Analyse réalisée sur le fluocapteur de la « Source rte de Chambly 2 centre – CHA-5 » du :

- 20/06/18

A. RESULTAT DU SPECTRE DE FLUORESCENCE



B. OBSERVATION

Le fluocapteur de la Source rte de Chambly 2 centre – CHA-5, relevé le 20/06/18, présente un pic saturé d'Eosine.