

Projet de mise en place d'une pompe à chaleur sur eau de nappe

Traçage des eaux souterraines à partir du forage de rejet



Ce dossier a été réalisé par :

Sciences Environnement
Agence de Besançon

Pour le compte : de la Commune de Bourbonne-les-Bains

Personnel ayant participé à l'étude :

Chef de projet : Sébastien LIBOZ

Ingénieur de projet et rédacteur : Julie PERROT

Techniciens : Enora GRISEY

Sommaire

1	Présentation de l'étude	4
2	Déroulement des travaux	4
2.1	Réalisation de l'ouvrage	4
2.2	Essais de pompage	5
3	Contexte géologique et hydrogéologique	6
4	Déroulement de l'étude	7
4.1	Principe de traçage par injection de colorant	7
4.2	Déroulement de l'injection	8
4.3	Description des points de surveillance	9
4.4	Résultats de la coloration	10
4.4.1	Principe	10
4.4.2	Restitution observée	11
5	Conclusion	12

Liste des figures

Figure 1 : Localisation	4
Figure 2 : Coupe géologique et technique de l'ouvrage	4
Figure 3 : Contexte géologique	6
Figure 4 : Localisation des points de surveillance	9
Figure 5 : Carte de restitution	11

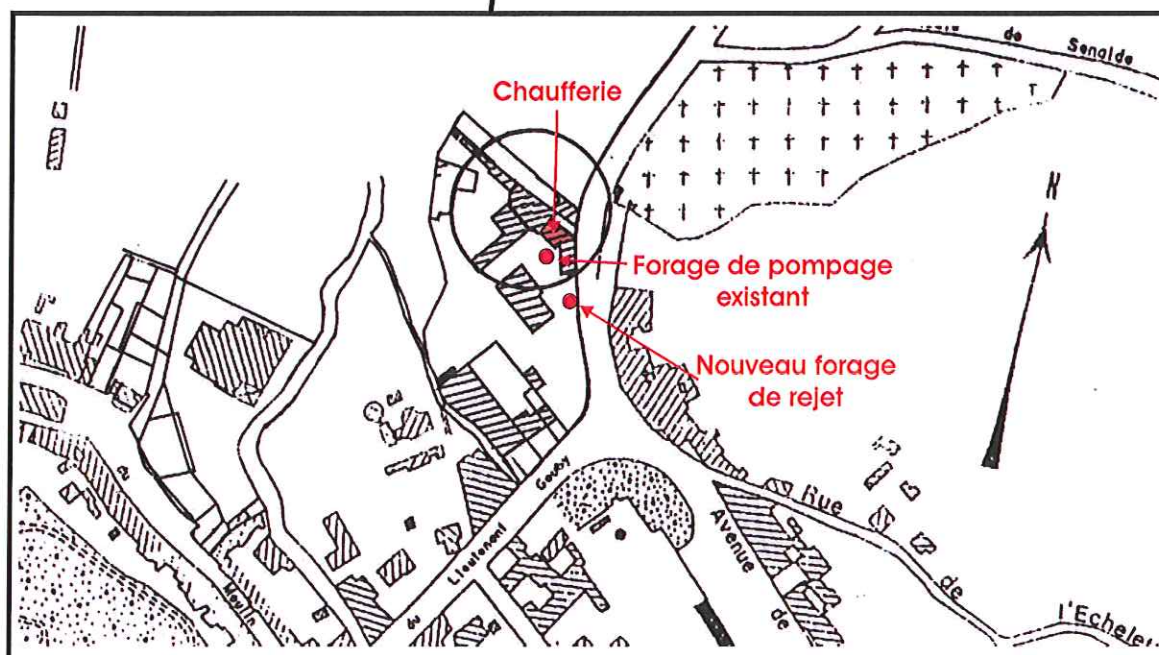
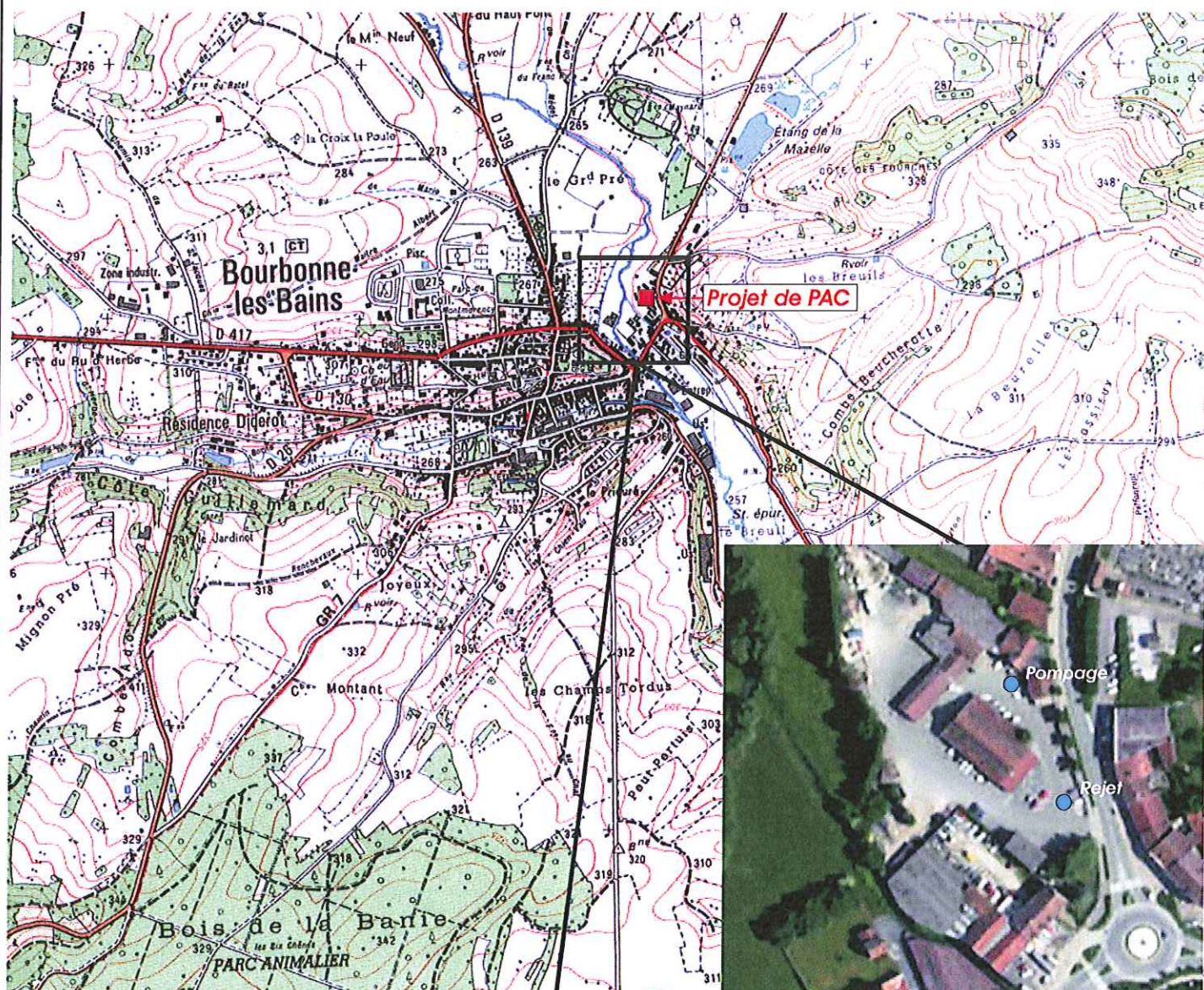
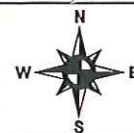
Liste des annexes

Annexe 1 : Fiche de coloration
Annexe 2 : Spectres des fluocapteurs



Figure 1 : Plan de localisation des ouvrages

Réf dossier : 2010/015



1 Présentation de l’étude

Dans le cadre de la rénovation d'une partie de ses locaux techniques, la commune de Bourbonne-les-Bains prévoit de remplacer le système de chaufferie existant.

Le projet prévoit la mise en place d'un système de pompage à chaleur eau/eau, qui fonctionnera à partir d'un doublet de forage. En effet, le site des services techniques est pourvu d'un ancien puits de captage d'eau potable, aujourd'hui non exploité. Il sera donc utilisé comme puits de pompage, le puits de rejet restant à mettre en place sur le site.

Celui-ci a été réalisé le 6 juillet 2011 par la société Vauthrin Forages, à quelques dizaines de mètres à l'aval du puits existant.

[Figure 1 : Localisation](#)

En accord avec l'hydrogéologue agréé en charge de la mise en place des périmètres de protection autour du champ captant du Grand Pré, nous avons été mandatés par la mairie de Bourbonne les Bains pour réaliser un traçage des eaux souterraines lors du test d'absorption des 12 et 13 juillet 2011, afin de s'assurer de l'absence de circulation entre le point de rejet du projet de PAC et la zone de captage d'eau potable.

Cette expérience de coloration doit également permettre de vérifier l'absence de liaison entre le doublet de forages.

2 Déroulement des travaux

2.1 Réalisation de l'ouvrage

Les travaux ont été réalisés du 6 au 7 juillet 2011.

La foration a été réalisée au marteau fond de trou, puis à l'Odex en raison de la mauvaise tenue des parois.

Le forage, d'une profondeur de 16 m, a été équipé de tubes PVC :

- +0,50 à -7,0 m : Tube plein
- -7,0 à -15,50 m : Tube crépiné à fentes de 1 mm
- -15,50 à -16,0 m : Tube plein avec fond étanche

Du massif filtrant a été mis en place de -16,0 à -6,0 m, puis une cimentation de -6,0 m à la surface.

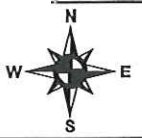
[Figure 2 : Coupe géologique et technique de l'ouvrage](#)

La coupe lithologique est détaillée au chapitre 3.



Figure 2 : Coupe géologique et technique de l'ouvrage

Réf dossier : 2010/015

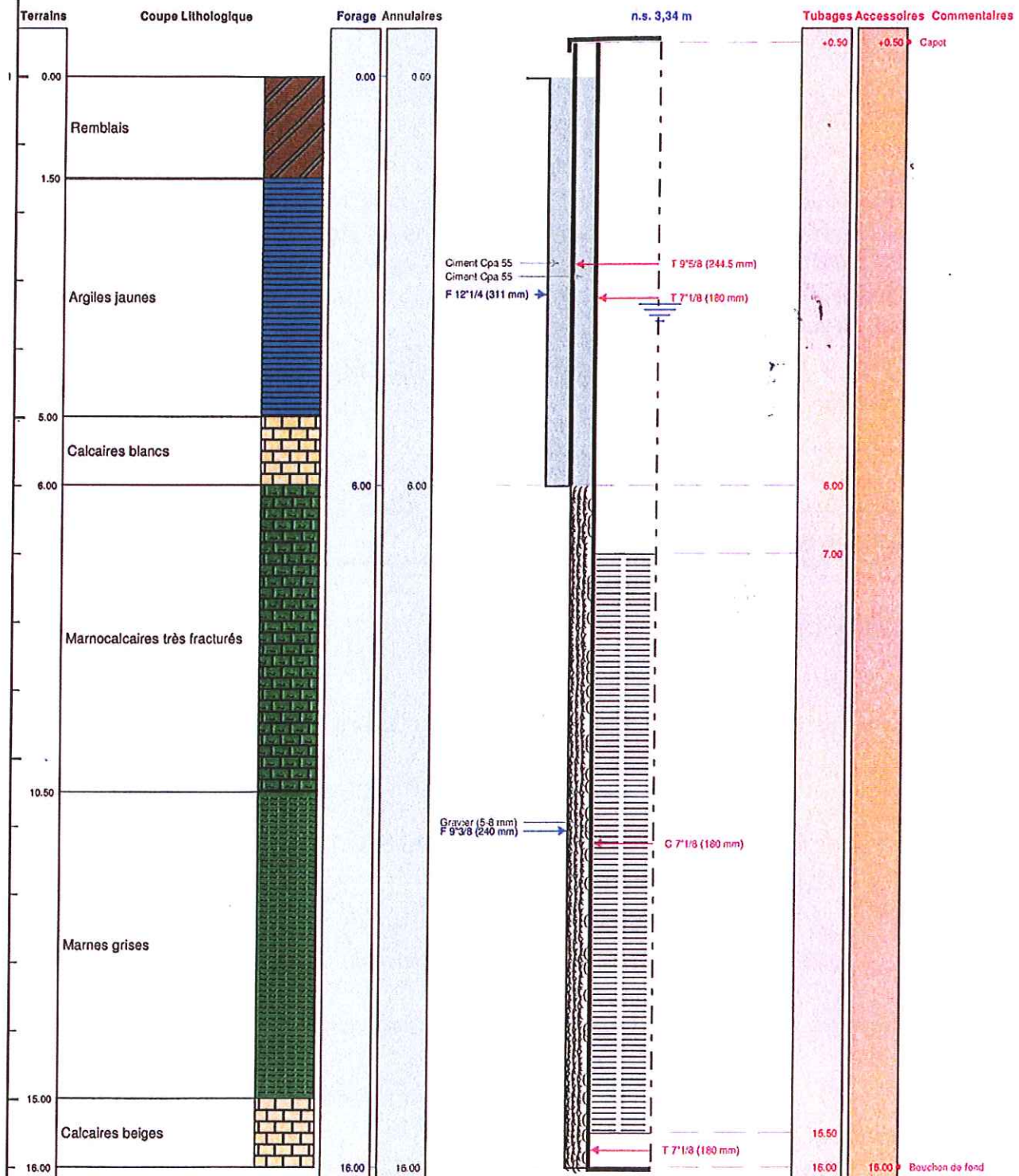


FORAGE D'EAU		Travaux réalisés :	1/1
Client :	VILLE DE BOURBONNE LES BAINS	du : 06/07/2011 au : 13/07/2011	
Maitre d'oeuvre :	BET ASSIST	Coordonnées de l'ouvrage :	
Localisation de l'ouvrage :		Lambert 2 étendu métrique	
		Longitude (X):	855 095
		Latitude (Y):	2 334 055
		Altitude sol (Z):	+266,000 m
	52400 BOURBONNE LES BAINS		

Echelle : 1/83

Profondeurs en m au-dessous du repère zéro sol (signe + au-dessus)

Nombre de forages : 1



2.2 Essais de pompage

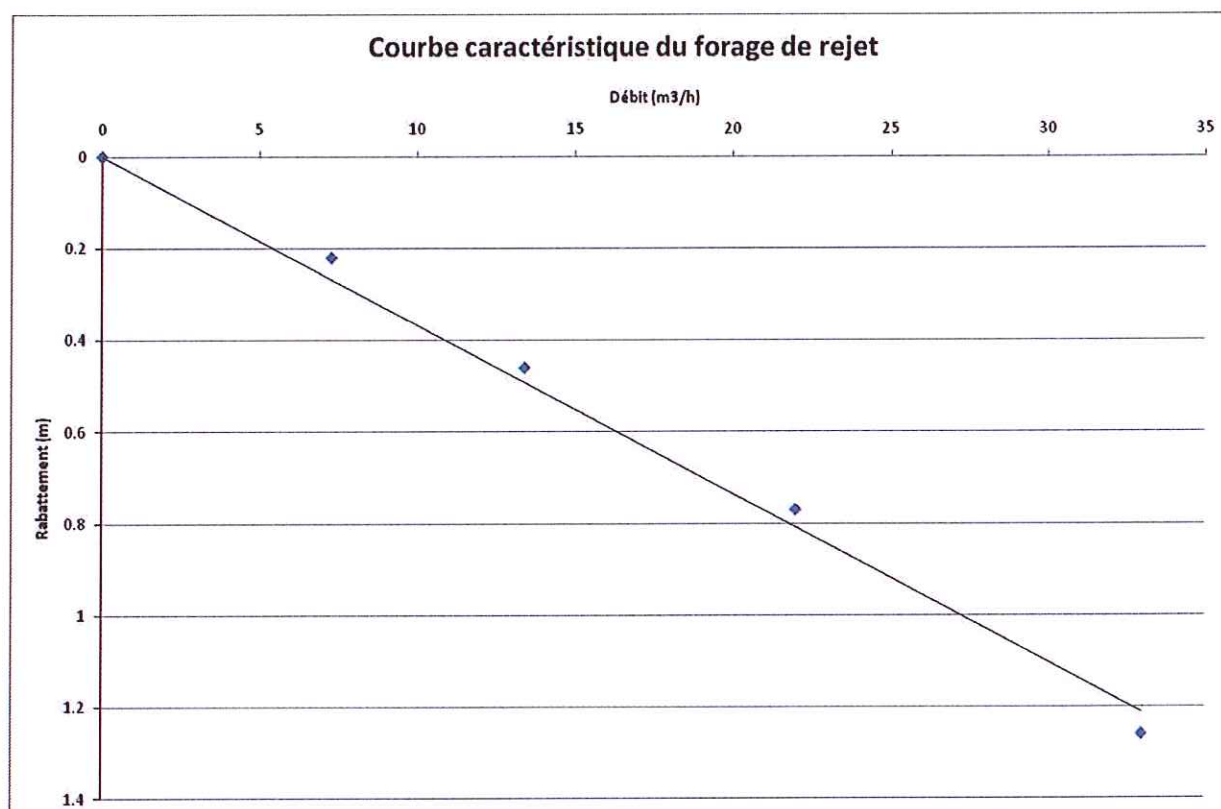
Un essai de pompage par paliers a ensuite été réalisé le 8 juillet 2011, sur quatre paliers de 1h, aux débits suivants :

Numéro de palier	Débit Q (en m ³ /h)	Rabatement (en m)
1	7,30	0,22
2	13,40	0,46
3	22	0,77
4	33	1,26

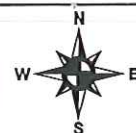
Tableau 1 : Récapitulatif de l’essai par paliers sur le forage de rejet

La courbe rabattement/débit déduite des essais de pompage par paliers ne montre aucune cassure nette entre les pompages aux différents débits. Le débit critique n’a donc pas été atteint.

D’après le rapport d’exécution du forage de rejet, le palier réalisé à 33 m³/h montre cependant une chute plus rapide du niveau d’eau, avant de se stabiliser.



Graphique 1 : Courbe caractéristique du forage de rejet



FORMATIONS SUPERFICIELLES



Alluvions modernes



Alluvions et terrasses anciennes



Éboulis des pentes

1 - placages
2 - coulées
3 - rideaux



Limons, légers d'altération et sols forestiers
(E) Limons sur alluvions anciennes

FORMATIONS DU SUBSTRAT

Terrains sédimentaires



Marnes du Lotharingien
Calcaires à Gryphées (Sindmuriens s.l.)
Schistes et calcaires (Hettangien)



Rhétien

t5s Marnes rouges de Levallois
t5s Rhétien inférieur: grès et argiles schisteuses noires



Keuper supérieur
Marnes vertes dolomitiques et marnes rouges à gypse
(Marnes irisées supérieures)



Keuper moyen
Dolomie-moellon (b) marnes bariolées, grès à roseaux



Keuper inférieur
Marnes à gypse, cargneules et sol gemme
(Marnes irisées inférieures)



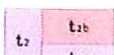
t3s Muschelkalk supérieur et Lettenkohle
t3s Lettenkohle (Dolomie)
t3s Muschelkalk supérieur: massif dolomitique à l'ouest
calcaire à Cératites et calcaire à entroques
indifférenciés au sud-est
Au nord de Monthureux:
t3s Calcaire à Cératites
t3s Calcaire à entroques



t3m Muschelkalk moyen
t3m "Couches blanches"
t3m "Couches grises"
t3m "Couches rouges" marnes bariolées



Muschelkalk inférieur
"Grès coquillier" ou partie sommitale du "Grès à Volzho"



Grès bigarré

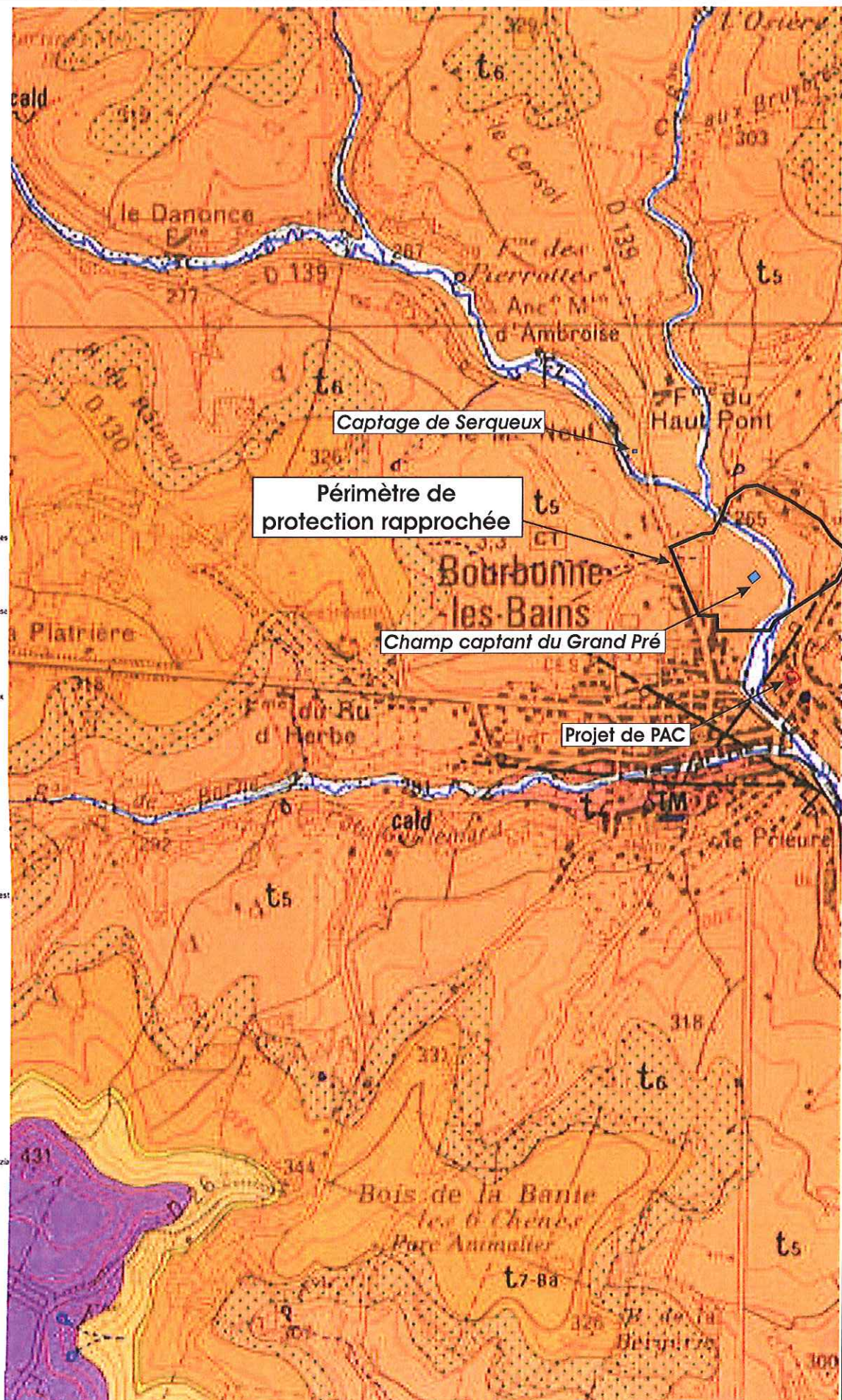
t2 "Grès à Volzho"

t2 "Couches intermédiaires"

1 - Partie supérieure gréseuse
2 - Partie inférieure conglomératique
(galets de quartz)



Grès vosgien



Un essai de pompage de longue durée de 24h a également été réalisé du 11 au 12 juillet 2011, à un débit de 22,40 m³/h.

D'après les données du rapport d'exécution, le rabattement dans le puits de rejet décroît de manière constante jusqu'à 1,51 m à la fin des 24 h d'essai, sans stabilisation.

Un test d'absorption a été mis en place sur 24 h du 12 au 13 juillet 2011.

Au débit demandé de 22 m³/h, ce test a montré de bons résultats, tant au niveau du pompage que de la capacité d'absorption du puits de rejet.

3 Contexte géologique et hydrogéologique

La commune de Bourbonne les Bains est implantée sur le complexe des calcaires dolomitiques du Muschelkalk. Ceux-ci renferment une nappe d'eau fissurale pouvant être parfois de dynamique karstique.

La ressource du Muschelkalk est d'un grand intérêt pratique et d'une utilisation très générale, soit captée à faible profondeur à partir des sources naturelles au débit souvent assez important, soit captée plus profondément par puits ou forages à l'image des forages du Grand Pré, qui alimentent en eau potable la ville de Bourbonne les Bains, ou comme cela a été le cas pour le forage de la salle des fêtes, qui sera de nouveau utilisé pour les besoins de la pompe à chaleur.

Figure 3 : Contexte géologique

Les ouvrages du champ captant du Grand Pré alimentant la Ville de Bourbonne les Bains, qui atteignent une profondeur comprise entre 15 et 30 m, montrent que, dans ce secteur les calcaires aquifères du Muschelkalk sont recouverts par 5 à 7 m de limons et d'argiles à graviers (alluvions récentes de l'Apance) qui reposent eux-mêmes sur un à deux mètres de marnes et calcaires marneux qui correspondent vraisemblablement à la base du niveau du Lettenkohle.

La coupe du forage de la salle des fêtes, recensée à la banque du sous-sol sous le n°03738X0005, n'est pas connue avec précision. Réalisé en 1971 jusqu'à 10 m de profondeur, il était exploité au débit de 50 m³/h.

Cette valeur de débit conséquente, malgré une hauteur mouillée limitée dans le puits (le niveau statique étant situé à 5 m de profondeur) témoigne de la bonne productivité des calcaires du Muchelkalk dans ce secteur.

Le recoupement des données hydrogéologiques du secteur suggère que l'écoulement général de la nappe s'effectue dans le sens de la vallée de l'Apance, du nord-ouest vers le sud-est. Il n'est pas exclu que localement, une composante de versant plus ou moins marquée, fonction de la nature des formations, accentue le sens de drainage de la nappe en direction de la rivière.

A l'image de celle prélevée sur les ouvrages du Grand Pré, l'eau de la nappe des calcaires du Muchelkalk peut être considérée comme de bonne qualité générale. Marquée par une dureté assez importante, elle ne présente pas d'altération particulière.

Lors de la réalisation du forage de rejet, les formations suivantes ont été observées :

- 0 à 1,50 m : Remblais
- 1,50 à 5,0 m : Argiles jaunes
- 5,0 à 6,0 m : Calcaires blancs
- 6,0 à 10,50 m : Marno-calcaires très fracturés
- 10,50 à 15,0 m : Marnes grises
- 15,0 à 16,0 m : Calcaires beiges.

Une première arrivée d’eau a ainsi été observée entre 7 et 10 m de profondeur, puis une deuxième à 15,50 m.

Il est intéressant de constater que la succession lithologique du secteur des ateliers municipaux diffère notablement avec celle observée sur le site de captage du Grand Pré, situé à environ 425 m plus au nord.

En effet, sous la couverture argileuse (alluvions récentes) l’on rencontre une couche d’un mètre de calcaires blancs passant à un marno-calcaire jugé très fracturé reposant sur un niveau de marne grise de -10 à -15 m.

Sur le site du Grand Pré, sous les alluvions, on rencontre environ 2 m de calcaires marneux (gris-brun-vert) qui reposent sur une épaisse série de calcaires beiges plus ou moins fracturés jusqu’à 19 m de profondeur, qui surmontent un niveau de calcaires marneux (base des forages).

Sans autres éléments lithologiques et pétrographiques, on peut supposer que la faille verticale d’orientation N45° mentionnée sur la carte géologique et dont le tracé passe immédiatement au nord du site des ateliers municipaux, rehausse le compartiment sud d’une dizaine de mètre par rapport à celui du Grand Pré et fasse remonter les calcaires marneux rencontrés à la base des forages du champ captant près de la base des alluvions récentes au droit du projet de PAC sur nappe.

4 Déroulement de l’étude

4.1 Principe de traçage par injection de colorant

Le traçage des eaux souterraines vise à mettre en évidence les relations hydrogéologiques pouvant exister entre un secteur d’infiltration avec un ou plusieurs points d’émergence (naturel ou artificiel) des eaux souterraines.

Les lieux d’injection préférentiellement utilisés sont les pertes, les dolines, les lapiez ou toutes autres entrées naturelles.

Dans le cas présent, il s’agissait d’injecter un colorant dans le forage de rejet, afin de connaître les points d’émergence.

Les colorants utilisés sont des composés fluorescents facilement solubles dans l’eau et très faiblement présents dans les eaux naturelles. Lors de cette étude, le traçage a été fait avec de la fluorescéine.

La restitution du colorant est contrôlée sur les puits et les cours d’eaux voisins.

Les concentrations de colorants restituées aux émergences sont généralement trop faibles pour être détectées à l'œil nu. La surveillance a consisté en la concentration du colorant sur fluocapteurs (cf. photo) pour l'ensemble des points de surveillance, et par fluorimètre au forage AEP F3.



Fluocapteurs

Les fluocapteurs sont des petits sachets remplis de charbon actif, placés dans les sources ou les rivières. Le charbon actif a la propriété de pouvoir fixer les composés fluorescents.

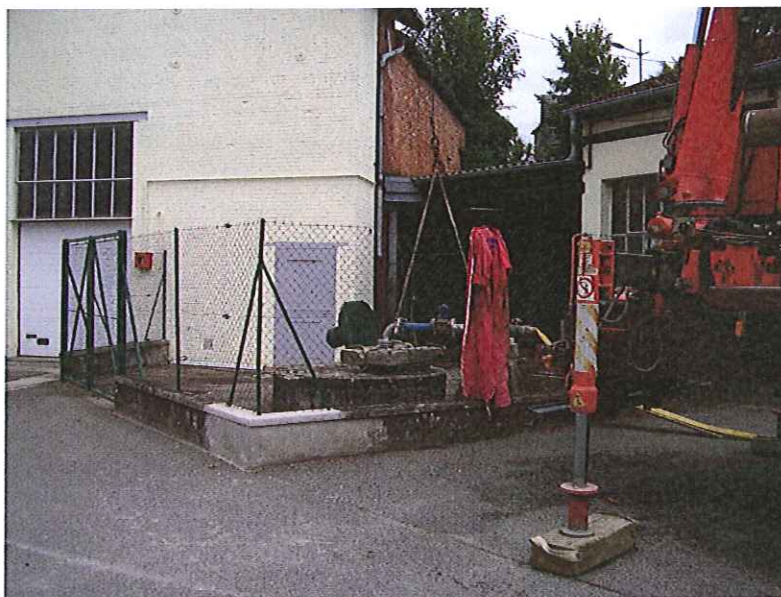
Les faibles concentrations obtenues rendent les produits inoffensifs et généralement incolores. Les ressources en eau peuvent donc être utilisées normalement pendant la coloration, notamment pour l'alimentation en eau potable ou la pisciculture. En cas de circulation très rapide, entre le lieu d'injection et d'émergence, la nuisance est visuelle, et il est préférable de ne pas utiliser l'eau.

La lecture des résultats de la coloration utilise la spectrofluorimétrie.

4.2 Déroulement de l'injection

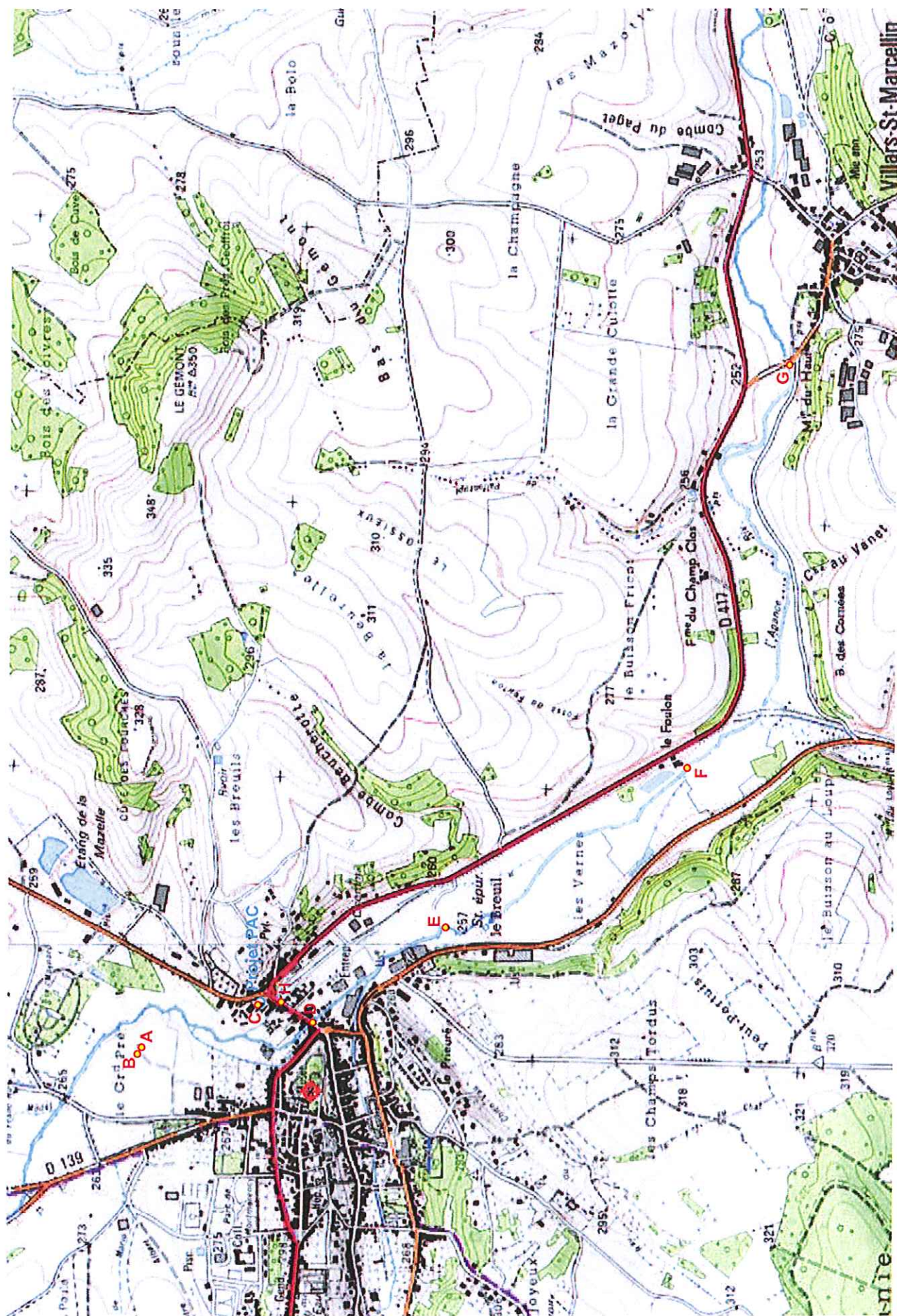
Une injection a été réalisée le 12 juillet 2010 par temps ensoleillé.

L'injection de 300 g de fluorescéine diluée a été réalisée à 13h35 dans le nouveau forage de rejet.



Pompage dans le puits existant – Test d'absorption

Figure 4 : Localisation des points de surveillance





Rejet dans le nouveau forage – Test d’absorption

4.3 Description des points de surveillance

Pour cette coloration, huit points ont fait l’objet d’une surveillance par fluocapteurs pendant trois semaines.

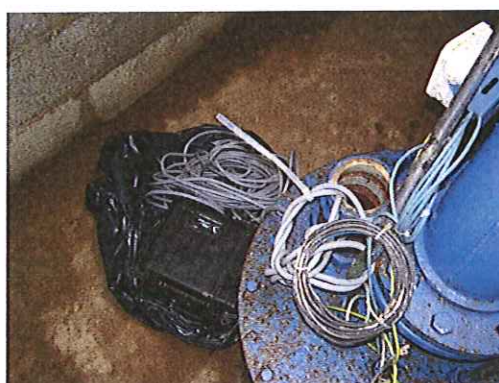
Figure 4 : Localisation des points de surveillance

Ils ont été relevés toutes les semaines :

- le 12 juillet 2011 (Récupération d’échantillons témoins)
- le 20 juillet 2011 (1^{ère} tournée)
- le 28 juillet 2011 (2^{ème} tournée)
- le 3 août 2011 (3^{ème} tournée)

La liste des points de surveillance, ainsi que leurs caractéristiques, figure dans le tableau 2.

Une surveillance par fluorimètre a également été réalisée au forage F3 du champ captant du Grand Pré.



Fluorimètre mise en place dans le forage F3

N°	Nom du point de surveillance	Commune
A	Forage F3 du Grand Pré	Bourbonne-les-Bains
B	Forage F2 du Grand Pré	Bourbonne-les-Bains
C	Puits existant de la salle des fêtes	Bourbonne-les-Bains
D	L’Apace à Bourbonne-les-Bains	Bourbonne-les-Bains
E	L’Apace – Sortie de Bourbonnes-les-Bains	Bourbonne-les-Bains
F	L’Apace – « Le Foulon » (Dancing)	Bourbonne-les-Bains
G	L’Apace à Villars-Saint-Marcellin	Villars-Saint-Marcellin
H	Petit canal de Bourbonne-les-Bains	Bourbonne-les-Bains

Tableau 2: Sites de surveillance

4.4 Résultats de la coloration

4.4.1 Principe

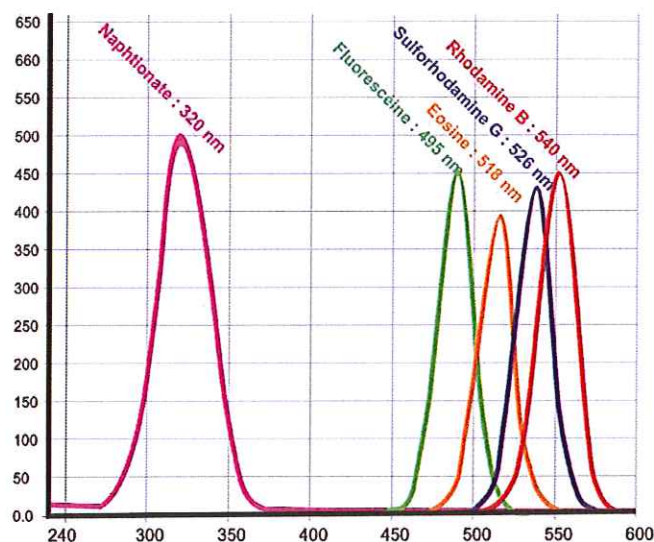
L’interprétation des résultats des colorations utilise le procédé de la spectrofluorimétrie.

Pour les fluocapteurs, la recherche de la présence de colorant s’effectue à partir d’un éluant spécifique mis en contact durant plusieurs heures sur le charbon actif préalablement étuvé pendant 12h à 105°C. Il a pour fonction d’extraire le colorant fixé sur les grains de charbon actif composant les fluocapteurs.

L’eau prélevée, ou la solution ainsi obtenue, sont soumises à un double scanning synchrone (balayage des longueurs d’ondes d’excitation et d’émission avec un intervalle de longueur d’onde constant).

Le spectre de la solution obtenue par le « double scanning synchrone » est caractérisé par des pics symétriques et étroits révélant la présence de colorants.

Chaque pic est concentré sur une longueur d’onde d’émission caractéristique du colorant contenu dans la solution (cf. graphique).



Spectres des principaux traceurs fluorescents utilisés en hydrogéologie

Le fluorimètre de terrain analyse directement l'eau à une longueur d'onde proche de celle du colorant, à un pas de temps de 15 minutes.

4.4.2 Restitution observée

La fluorescéine a été injectée le 12 juillet 2011 à 13h35. La surveillance a été réalisée par fluocapteurs sur 8 points, jusqu'au 3 août 2011 et par fluorimètre au forage F3 du champ captant du Grand Pré (fiche de coloration en annexe 1).

Sur les 8 points surveillés par fluocapteurs :

- de la fluorescéine a été retrouvée à chaque tournée :
 - C : au puits existant de la Salle des Fêtes (puits de pompage)
- Un site révèle la présence de fluorescéine le 20 juillet 2011 (1^{ère} tournée) :
 - H : Petit canal de Bourbonne-les-Bains
- Trois points de surveillance révèlent la présence de fluorescéine le 3 août 2011 (dernière tournée) :
 - E : L'Apance à la sortie de Bourbonne-les-Bains (vers la STEP)
 - F : L'Apance au lieu-dit « le Foulon » (Dancing)
 - G : L'Apance à Villars-Saint-Marcellin

Figure 5 : Carte de restitution

Les spectres des fluocapteurs sont présentés en annexe 2.

La présence de fluorescéine au puits de la Salle des Fêtes (point C) est confirmée visuellement lors des tournées.

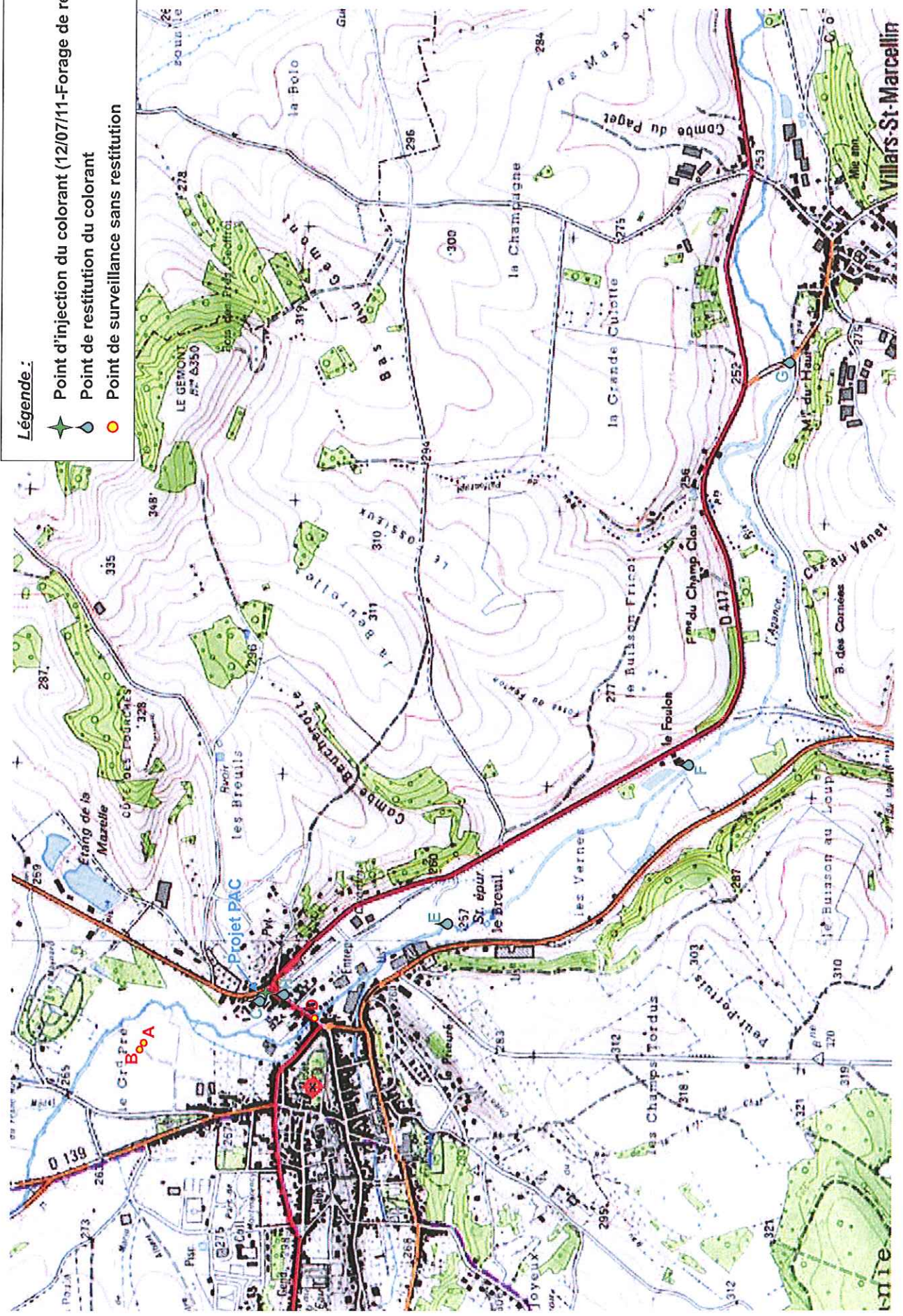
Figure 5 : Carte de restitution du colorant

Echelle : 1 / 20 000
 Réf dossier : 2010/015



Légende :

- Point d'injection du colorant (12/07/11-Forage de rejet)
- Point de restitution du colorant
- Point de surveillance sans restitution





Coloration visible du puits de la Salle des Fêtes

Aucune trace de colorant n'a été détectée dans les captages d'eau potable du champ captant du Grand Pré.

5 Conclusion

L'opération de traçage des eaux souterraines montre l'absence de relations entre les eaux s'infiltrant au droit des ateliers municipaux et la zone de captage du Grand Pré.

Cette constatation confirme l'hypothèse d'une aire d'alimentation des captages plus en amont de la vallée de l'Apance.

Le rôle supposé de drainage des écoulements souterrains contenus dans les calcaires du Muchelkalk par la rivière est d'ailleurs également confirmé par la restitution du colorant à l'aval de la zone d'étude.

Par contre, l'opération de coloration met en évidence la liaison (rapide) entre le forage de pompage et de rejet qui remet en cause le fonctionnement du doublet pour une utilisation en PAC sur nappe (recyclage thermique).

La rapidité de liaison s'explique par le mode fissurale de la circulation de l'eau dans le terrain qui au contraire de milieux poreux, peut nécessiter un allongement plus important de la distance entre les ouvrages du doublet.

Compte tenu de la coupe lithologique, il pourrait être envisagé (si les caractéristiques des calcaires rencontrés à partir de 15 m de profondeur le permettent), de créer un ouvrage plus profond, assurant le rejet dans ces formations.

En effet, il est probable que le niveau imperméable de marnes grises recoupée entre 10,5 et 15 m de profondeur, puisse limiter les échanges entre ces deux niveaux de calcaires du Muchelkalk.

Annexe 1 :

Fiche de coloration

Fiche de coloration

COMMUNE : BOURBONNE-LES-BAINS

INJECTION type de traceur	Quantité (kg)	Lieu	Date et heure
Fluorescéine	300 g	Forage de rejet	12/07/11 à 13h30

Déposé :
Relevé

Date :
Heure :

POINTS SURVEILLES (type de point d'eau : source, ruisseau ou autre - Nom)

N° du fluocapteur	A			B			C			D			E			F		
	Forage F3 Bourbonne-les-bains			Forage F2 Bourbonne-les-bains			Puits Salle des Fêtes Bourbonne-les-bains			Pont Bourbonne Bourbonne-les-bains			Sortie Bourbonne Bourbonne-les-bains			Dancing Bourbonne-les-bains		
0	07/07	12/07		07/07	12/07		07/07	12/07		07/07	12/07					07/07	12/07	
		12H10			12H15			13H20			11H13						11H35	
1	12/07	20/07		12/07	20/07		12/07	20/07		12/07	20/07		12/07	20/07		12/07	20/07	
	12H15	14H18		12H15	14H29		13H20	13H39		11H13	14H50		11H30	15H15		11H35	15H23	
2	20/07	28/07		20/07	28/07		20/07	28/07		20/07	28/07		20/07	28/07		20/07	28/07	
	14H18	11H30		14H29	11H20		13H39	11H05		14H50			15H15	11H50		15H23		PERDU
3	28/07	03/08		28/07	03/08		28/07	03/08		28/07	03/08		28/07	03/08		28/07	03/08	
	11H30	11H10		11H20	11H20		11H05	11H40					11H50	12H00			12H08	
4																		
5																		
6																		
7																		
8																		
9																		
10																		

Fiche de coloration

COMMUNE : BOURBONNE-LES-BAINS

INJECTION type de traceur	Quantité (kg)	Lieu	Date et heure
Fluorescéine	300 g	Forage de rejet	12/07/11 à 13h30

Déposé :

--	--

 Date :

--	--

 Heure :

--	--

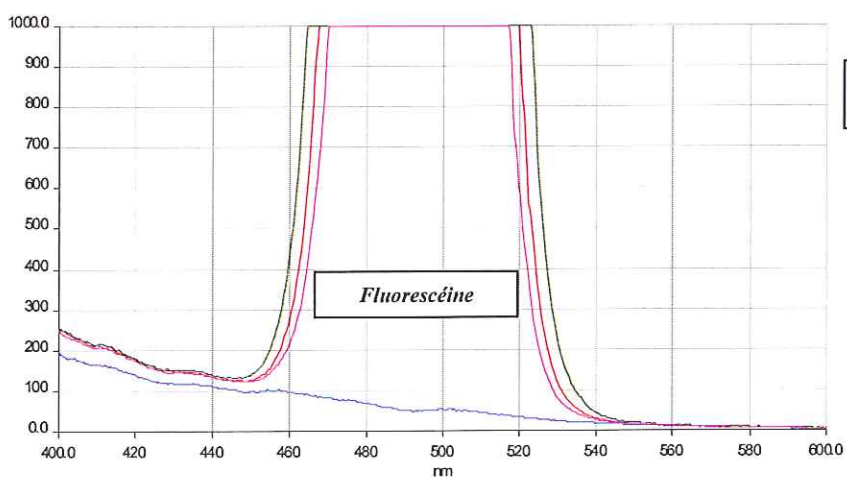
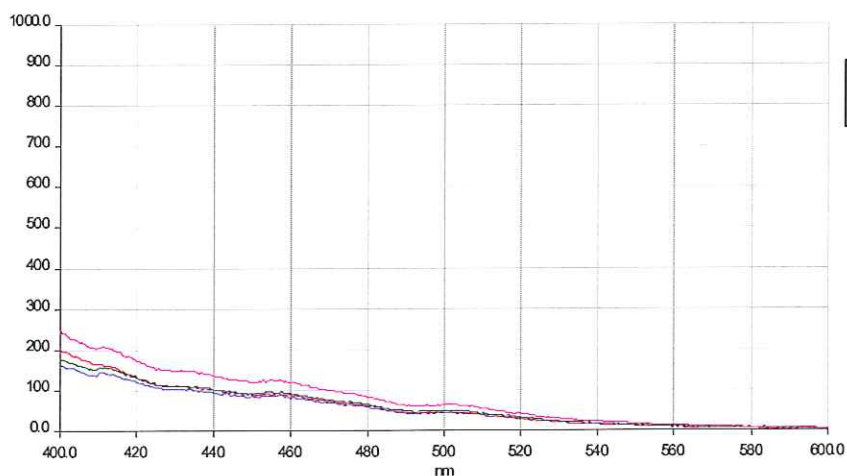
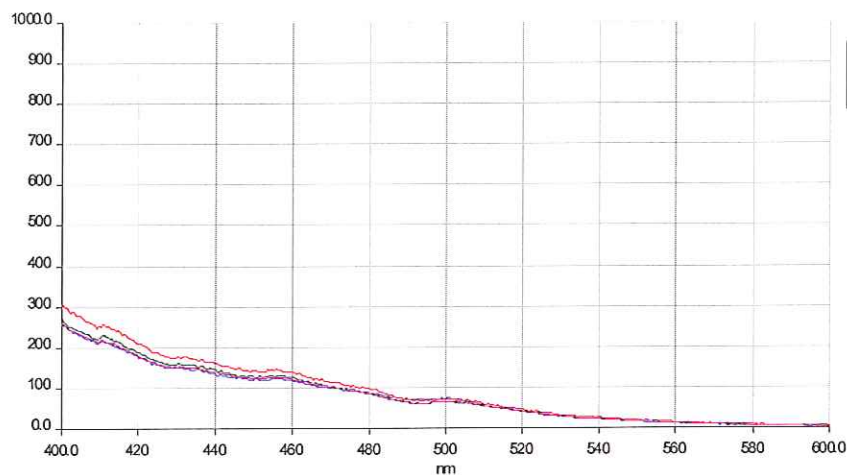
POINTS SURVEILLES (type de point d'eau : source, ruisseau ou autre - Nom)

N° du fluocapteur	G		H		I		J		K		L	
	Pont de Villars Villars-St-Marcellin		Canal de Bourbonne Bourbonne-les-bains									
0	07/07	12/07 11H45										
1	12/07 11H45	20/07 15H30	12/07 11H15	20/07 14H58	FLUO							
2	20/07 15H30	28/07 12H00	20/07 14H58	28/07 10H55								
3	28/07 12H00	03/08 12H15	28/07 10H55	03/08 11H55								
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

Annexe 2 :

Spectres des fluocapteurs

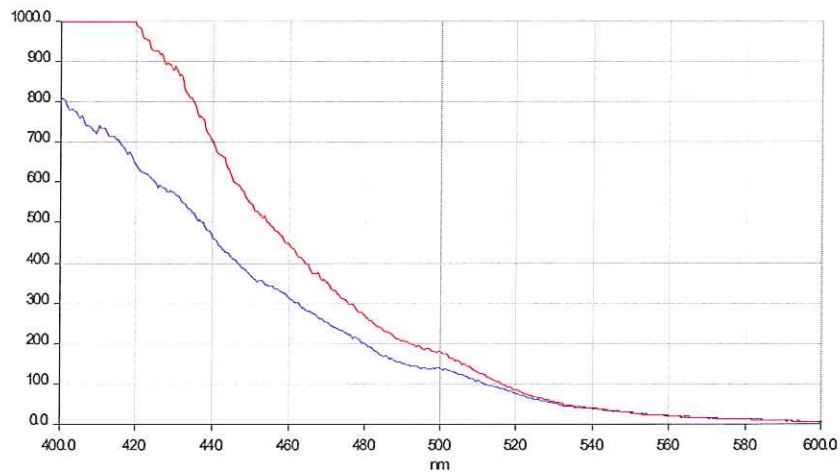
- ETUDE HYDROGEOLOGIQUE - - TRACAGE DES EAUX SOUTERRAINES -



Sciences Environnement
Eau
Environnement
Géologie
Déchets
Assainissement

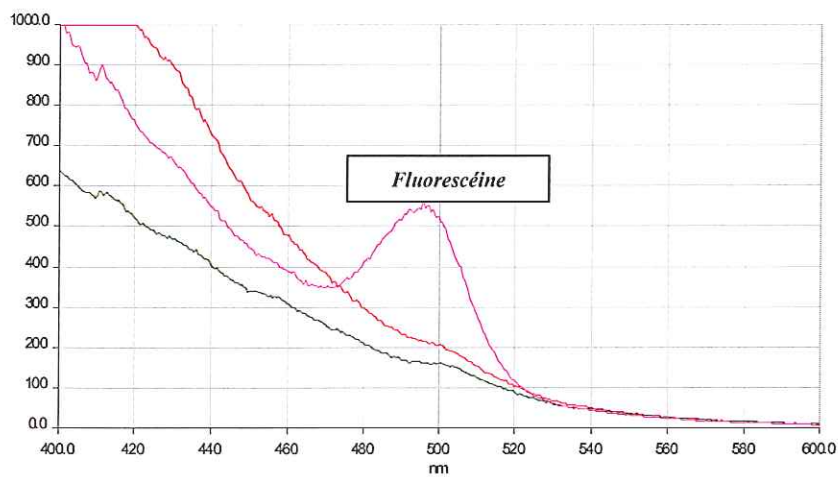
SCIENCES ENVIRONNEMENT
6, boulevard DIDEROT
25000 BESANCON
Tél. : 03.81.53.02.60 - Fax. : 03.81.80.01.08
E.Mail hydrogeologie@sciences-environnement.fr

- ETUDE HYDROGEOLOGIQUE - - TRACAGE DES EAUX SOUTERRAINES -



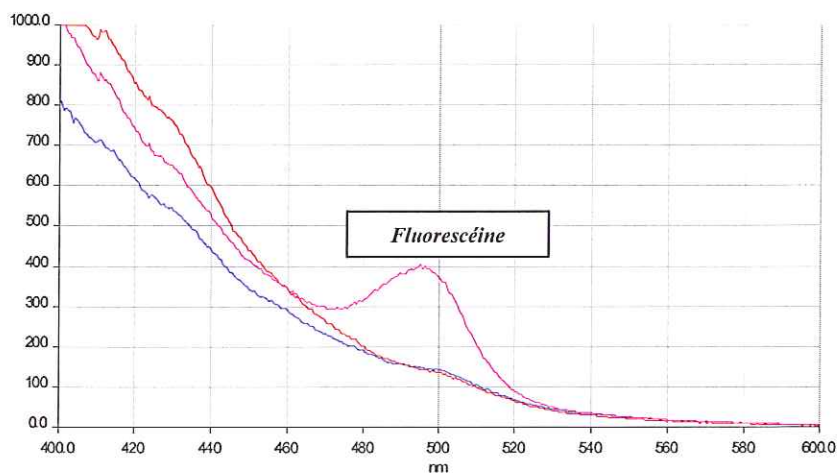
D Pont Bourbonne

— D0.SP
— D1.SP



E Sortie Bourbonne

— E1.SP
— E2.SP
— E3.SP



G Pont de Villars

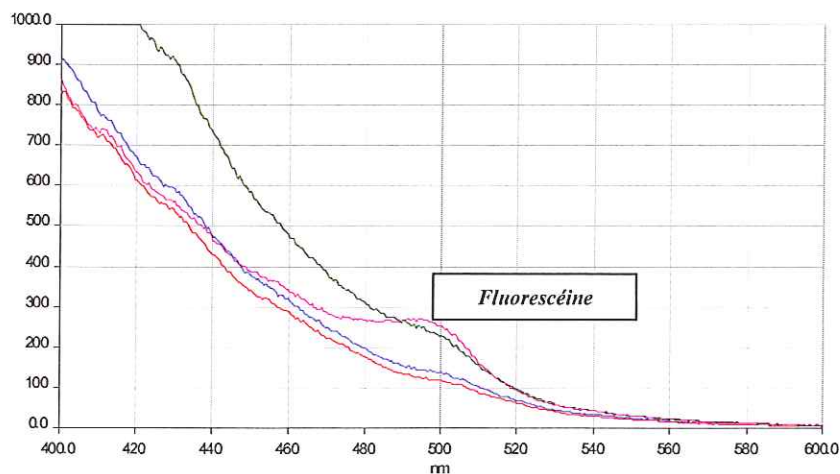
— F0.SP
— F1.SP
— F3.SP



Sciences Environnement
Eau
Environnement
Géologie
Déchets
Assainissement

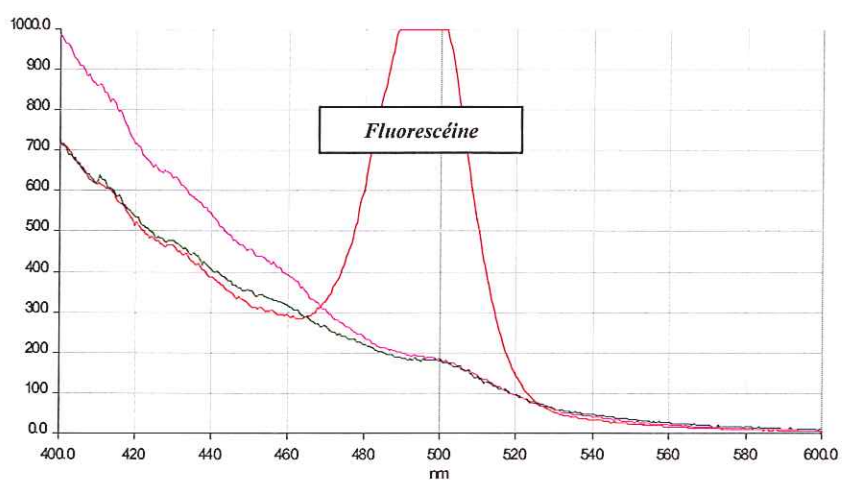
SCIENCES ENVIRONNEMENT
6, boulevard DIDEROT
25000 BESANCON
Tél. : 03.81.53.02.60 - Fax. : 03.81.80.01.08
E.Mail hydrogeologie@sciences-environnement.fr

**- ETUDE HYDROGEOLOGIQUE -
- TRACAGE DES EAUX SOUTERRAINES -**



F Dancing

G0.SP
G1.SP
G2.SP
G3.SP





H Canal de Bourbonne

H1.SP
H2.SP
H3.SP



Sciences Environnement
Eau
Environnement
Géologie
Déchets
Assainissement

SCIENCES ENVIRONNEMENT
6, boulevard DIDEROT
25000 BESANCON
Tél. : 03.81.53.02.60 - Fax. : 03.81.80.01.08
E.Mail hydrogeologie@sciences-environnement.fr

- 
-  Énergies renouvelables
 -  Aménagement et environnement
 -  Déchets, Diagnostics de pollution
 -  Carrières, Installations classées
 -  Milieu naturel
 -  Hydrogéologie
 -  Eaux superficielles
 -  Assainissement collectif et non collectif
 -  Maîtrise d'œuvre et réseaux d'eau potable



Sciences Environnement

Agence de Clermont-Ferrand
10B place Roger Cournil
63370 Lempdes
Tél. +33 (0)4 73 83 69 21
Fax +33 (0)4 73 61 67 78
lempdes@sciences-environnement.fr

Agence de Besançon et Siège social
6 boulevard Diderot
25000 Besançon
Tél. +33 (0)3 81 53 02 60
Fax +33 (0)3 81 80 01 08
besancon@sciences-environnement.fr

Agence d'Auxerre
12 route de Joigny
89113 FLEURY-la-Vallée
Tél. +33 (0)3 86 73 17 60
Fax +33 (0)3 86 73 16 37
auxerre@sciences-environnement.fr

www.sciences-environnement.fr