

8114

# ALYSE DU MOUVEMENT DES BOUES DANS LA RESURGENCE DU CREUX BLEU LORS DE FORTES PLUIES



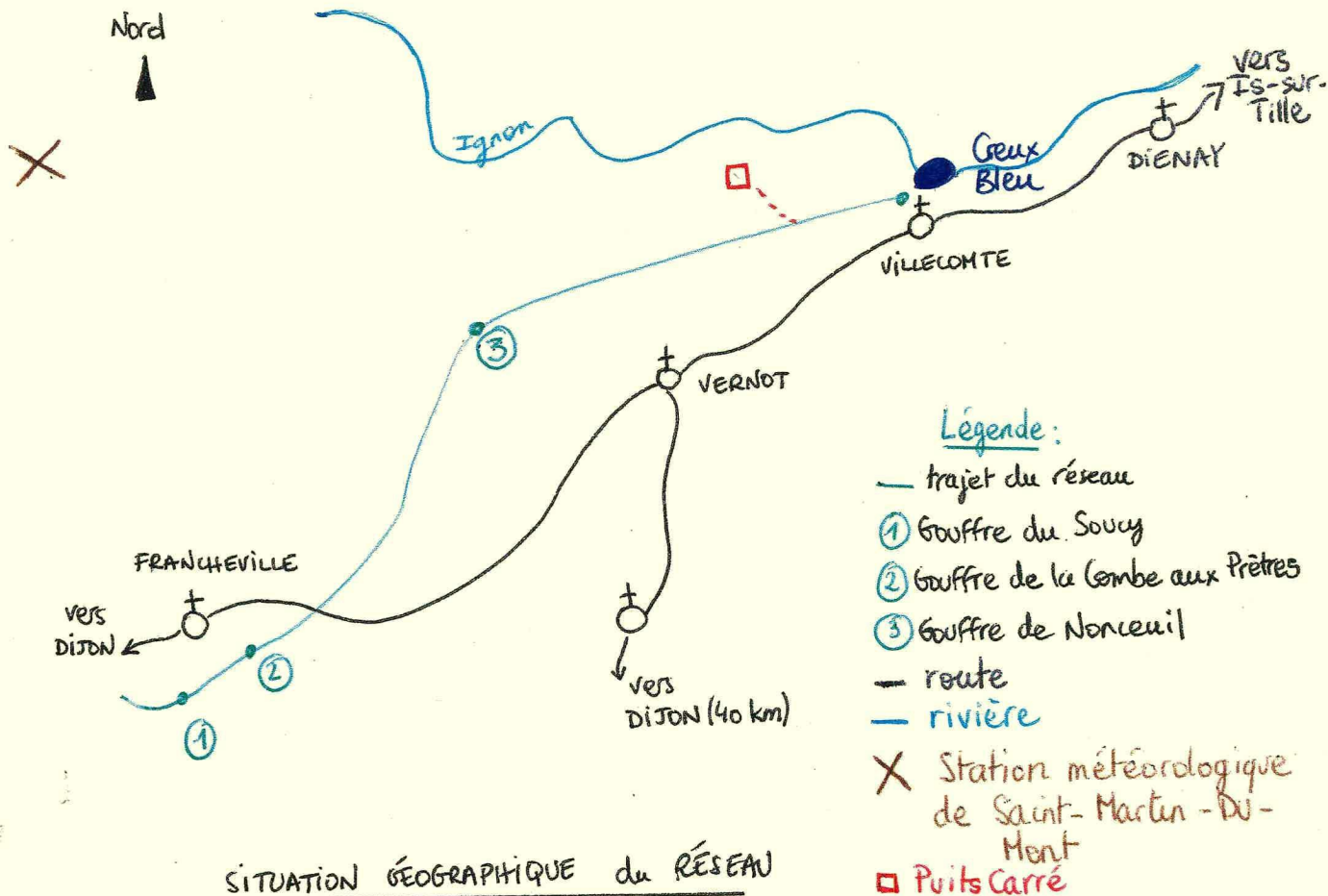
BOITIER Aurélie  
PORCHERAY Julie  
VAUCLIN Céline

SA03.99.005

## INTRODUCTION

Nous avons été intriguées par une source se trouvant au cœur de Villecomte, un village situé à environ 40 km au Nord de Dijon. En effet, elle porte le nom de Creux Bleu : la couleur de l'eau est étonnamment bleue et la source est alimentée par un réseau souterrain débouchant à cet endroit par un trou visible depuis la surface. En 1908, des chercheurs ont montré que le Creux Bleu était une résurgence d'un réseau karstique, au sud de Francheville avec lequel communique le gouffre du Soucy. En injectant du colorant la fluorescéine, au gouffre du Soucy, ils ont pu observer que celui-ci ressortait huit jours plus tard au Creux Bleu. D'autres gouffres ont ensuite été découverts en aval du Soucy : le gouffre de La Combe aux Prêtres et celui de Nonceuil.

Voici un schéma explicatif du réseau :



Lors de fortes pluies, il a été souvent observé l'arrivée massive de boues. Ces boues ont surgi tellement rapidement qu'il nous paraît improbable qu'elles aient pu être transportées depuis l'amont du réseau par la vague de crue ; c'est pourquoi nous pensons qu'elles proviennent de l'aval du réseau. Ces boues, accumulées dans les fissures, ont été probablement expulsées sous l'action de forces de pressions hydrostatiques. **Nous allons montrer que l'eau, moteur du mouvement, n'est pas directement l'eau de pluie, mais l'eau déjà présente dans le réseau.**

# I. ETUDE DU DECALAGE ENTRE L'EPISODE PLUVIEUX ET L'ARRIVEE DES BOUÉS

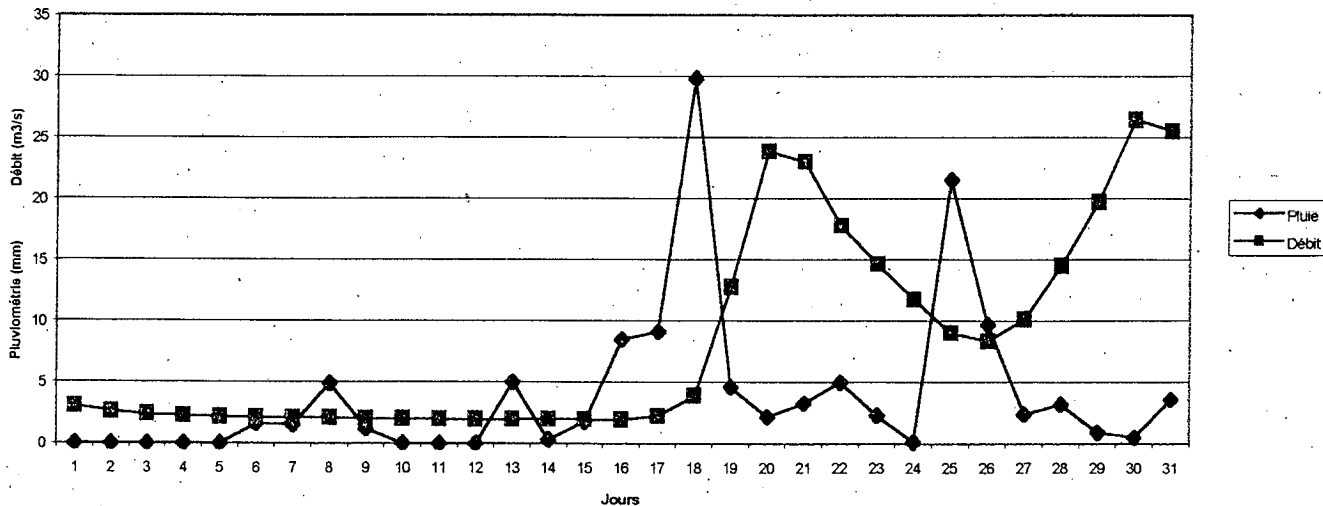
## 1- Données sur les paramètres de fortes précipitations : exemple de l'année 1986

Nous nous sommes plus particulièrement intéressées aux crues de 1986 car elles étaient bien marquées et donc faciles à exploiter. La DIREN (direction de l'environnement) nous a fourni les valeurs des débits et la pluviométrie de cette année-là.

- Les débits ont été enregistrés sur l'Ignon à Villecomte et sur l'Ignon à Diénay. Les débits du Creux Bleu, situé entre ces deux stations, ont été obtenus en effectuant la moyenne des deux débits.
- La pluviométrie a été enregistrée par Météo France à la station de Saint Martin Du Mont située en amont du réseau.
- L'augmentation du débit correspond à l'arrivée de masses d'eau et donc à celle des boues.

La représentation sur un même graphique des débits et de la pluviométrie nous permet d'évaluer le décalage entre l'épisode pluvieux et le moment où le débit augmente nettement : en effet, on peut considérer que l'augmentation du débit au Creux Bleu est une conséquence des précipitations. Les crues les plus importantes se sont produites aux mois de mars, septembre et décembre. Les données des mois de mars et de septembre se trouvent en Annexe 1. Elles ne s'interprètent pas de la même façon car il faut prendre en compte l'état du réseau avant l'épisode pluvieux. En septembre, les fissures sont vides et sèches alors qu'au mois de mars le réseau a déjà ses réserves remplies. Il faut donc moins d'eau dans le deuxième cas pour saturer le réseau en eau et pour provoquer une crue. Pour étudier le décalage entre les pluies et l'augmentation du débit, nous nous sommes plus particulièrement intéressées au mois de décembre 1986 : le réseau est partiellement rempli.

RELEVÉ DE DECEMBRE 1986 AU CREUX BLEU



Temps en jours	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Débit en m³/s	3,03	2,58	2,35	2,26	2,18	2,1	2,06	2,08	2,01	2	1,97	1,95	1,97	1,98	1,98	1,95	2,25	3,89	12,8
Pluviométrie (mm)	0	0	0	0	0	1,6	1,5	4,9	1,2	0	0	0	5	0,3	1,8	8,5*	9,1	29,8	4,6*
Temps en jours	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31							
Débit en m³/s	23,9	23	17,8	14,7	11,8	9,03	8,33	10,2	14,5	19,7	26,5	25,5							
Pluviométrie (mm)	2,2*	3,3*	5*	2,3*	0,1*	21,5*	9,7*	2,4	3,2	0,9	0,5	3,6							

\* neige

## 2- Analyse des mesures

Le 18 décembre, il est tombé 29,8 mm de pluie : le débit, entre le 18 et le 19 décembre passe de 11,89 à 12,8 m<sup>3</sup>/s. L'augmentation du débit est assez nette pour pouvoir considérer que la crue a commencé. Le décalage entre les fortes pluies et l'augmentation du débit est donc d'environ 24 heures.

Il faut prendre en compte deux phénomènes :

Le réseau parcourt la combe sèche de Francheville à Villecomte drainant les eaux superficielles qui pénètrent au travers d'un sol poreux et fissuré. L'infiltration ne se fait pas instantanément et peut être une cause du décalage.

La distance du réseau étant de 15 km, la vitesse de l'eau de pluie serait dans ce cas de 625 m/h. Cette valeur est énorme car la vitesse moyenne du courant de l'eau dans un réseau karstique est, en général, très lente : environ 90 m/h.

L'eau tombée en amont du réseau ne peut donc pas réapparaître 24 heures plus tard au Creux Bleu. Ceci renforce donc l'hypothèse que l'eau provoquant l'augmentation du débit dans la résurgence est celle du réseau ; celle-ci a probablement été chassée par les eaux de pluie.

## METHODE D'ETUDE DE LA PROPAGATION DE L'EAU DANS LE RESEAU.

Pour mettre en évidence le phénomène décrit ci-dessus, nous avons prévu de faire une expérience lors d'un épisode pluvieux : **en injectant au Soucy un colorant, la fluorescéine**, en même temps que les pluies, nous aurions pu comparer le temps mis par l'eau colorée pour parcourir le réseau avec le temps s'écoulant jusqu'à l'augmentation du débit et l'arrivée des boues. Pour réaliser cette expérience, nous avons besoin de l'aide de spéléologues pour déposer le colorant au fond du gouffre du Soucy et du matériel utilisé par la DIREN pour ce type d'expérience. Pour des raisons de disponibilité, il ne nous a pas été possible de réaliser cette expérience lors de fortes pluies.

Malheureusement, nous avons effectué **une expérience de marquage** par « temps sec » pour étudier l'allure et le comportement du réseau : de cette manière, il nous a été possible de déterminer les conditions qui ont provoqué l'expulsion brutale de l'eau souterraine.

### 1- Protocole expérimental

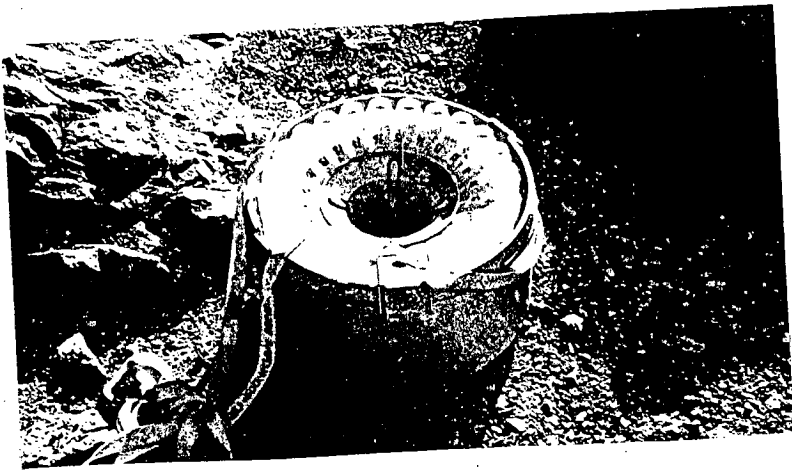
#### a) Matériel utilisé

**La méthode consiste à injecter du colorant en amont du réseau et à mesurer le temps de parcours du colorant en effectuant des prélèvements à des intervalles de temps réguliers.**

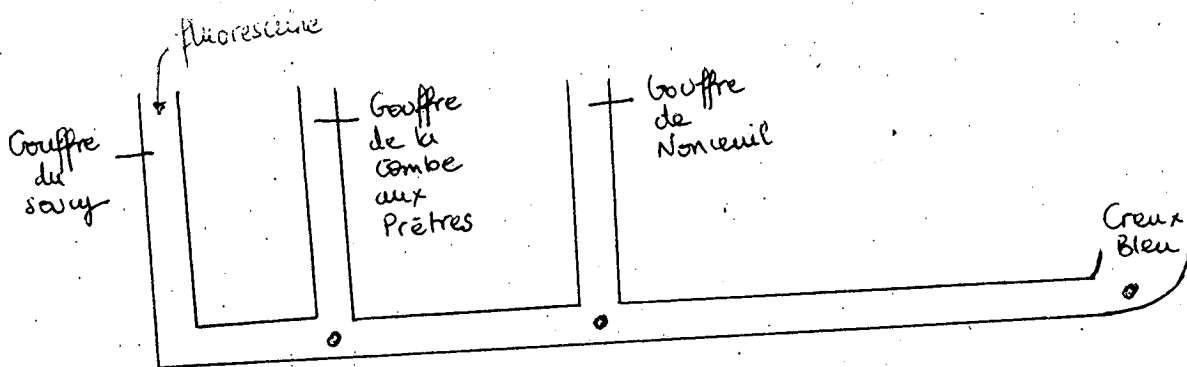
Le colorant utilisé est la fluorescéine : elle entraîne une coloration vert fluorescent très intense, ce qui permet de surveiller très facilement la diffusion du nuage vert. La fluorescéine se dégrade à la lumière au bout d'un certain temps, mais cette réaction est négligeable dans le réseau. La fluorescéine n'est pas un composé toxique : elle est donc inoffensive pour la faune et la flore environnantes.

Une fois l'injection faite, l'étude de la vitesse de propagation de la coloration est assurée par des prélèvements réguliers en plusieurs points du réseau grâce à des préleveurs automatiques. Dans chaque préleveur se trouvent vingt échantillons. Un système permet de régler une pompe qui prélève de l'eau toutes les trois heures et remplit à chaque fois un échantillon. Chaque échantillon est stocké à l'abri de la lumière avant d'être analysé pour détecter la présence ou non de fluorescéine.

Photo d'un préleveur



b) Mise en place de l'expérience



• préleveur automatique

Disposition des préleveurs le long du réseau et site d'injection de la fluorescéine

Par ailleurs, il nous a semblé intéressant de suivre l'évolution de la concentration en ions au Creux Bleu car ce paramètre est susceptible de fluctuer avec les pluies. Un conductimètre a donc été placé au Creux Bleu pour enregistrer les mesures de conductivité de l'eau toutes les 15 minutes.

Le jeudi 1<sup>er</sup> avril 1999 à midi, 4,5 kg de fluorescéine ont été injectés sous forme de poudre au fond du gouffre du Soucy.

**2- Résultats :**

- La fluorescéine est apparue massivement au Creux Bleu le mardi 6 avril à 7h00. Le temps de parcours du colorant est donc de 115 heures, soit environ 5 jours.
- L'analyse des échantillons au spectrophotomètre a permis de déterminer l'heure de passage du colorant aux différents points de prélèvement : sur un spectre effectué à partir d'un échantillon prélevé à un temps  $t$ , l'apparition d'un pic au niveau de la longueur d'onde 480 nm correspond à l'arrivée de la fluorescéine à ce temps  $t$  au lieu du prélèvement. Les deux spectres placés en Annexe 2 permettent de visualiser l'apparition du pic.

Par ailleurs, les ingénieurs de la DIREN ont profité de cette expérience pour mettre en évidence l'existence d'un affluent rejoignant le réseau entre Nonceuil et le Creux Bleu. En injectant un colorant, la rhodamine, dans le puits Carré situé au Nord du gouffre de Nonceuil, ils ont en effet constaté que le colorant réapparaissait au Creux Bleu. Ceci explique le fait que l'on observe également un pic de rhodamine sur les spectres.

### III-INTERPRETATION DES RESULTATS : LE TRANSFERT DE PRESSION, MOTEUR DU MOUVEMENT DES BOUES

#### 1- Exploitation des mesures

Grâce aux temps de passage du colorant, nous avons pu calculer les vitesses dans les différentes parties du réseau :

	Distance (m)	Temps (h)	Vitesse (m/h)
Soucy ↔ Creux Bleu	14075	111	127
Soucy ↔ Combe aux Prêtres	875	3	292
Combe aux Prêtres Nonceuil	4500	29	155
Soucy ↔ Nonceuil	5375	32	168
Nonceuil ↔ Creux Bleu	8700	80	109

Tableau des résultats

#### Explications des résultats :

La vitesse moyenne du courant Soucy-Nonceuil est supérieure à la vitesse moyenne du courant Nonceuil -Creux Bleu : nous pouvons penser que cette différence reflète une différence de comportement. Sachant que la deuxième partie du réseau est noyée (à partir du Gouffre de Nonceuil) alors que la première ne l'est pas, nous avons pensé que, outre le ralentissement provoqué par la partie noyée, le **profil du réseau** jouait un rôle dans ces différences de vitesses. Nous avons donc été amenés à examiner ce profil.

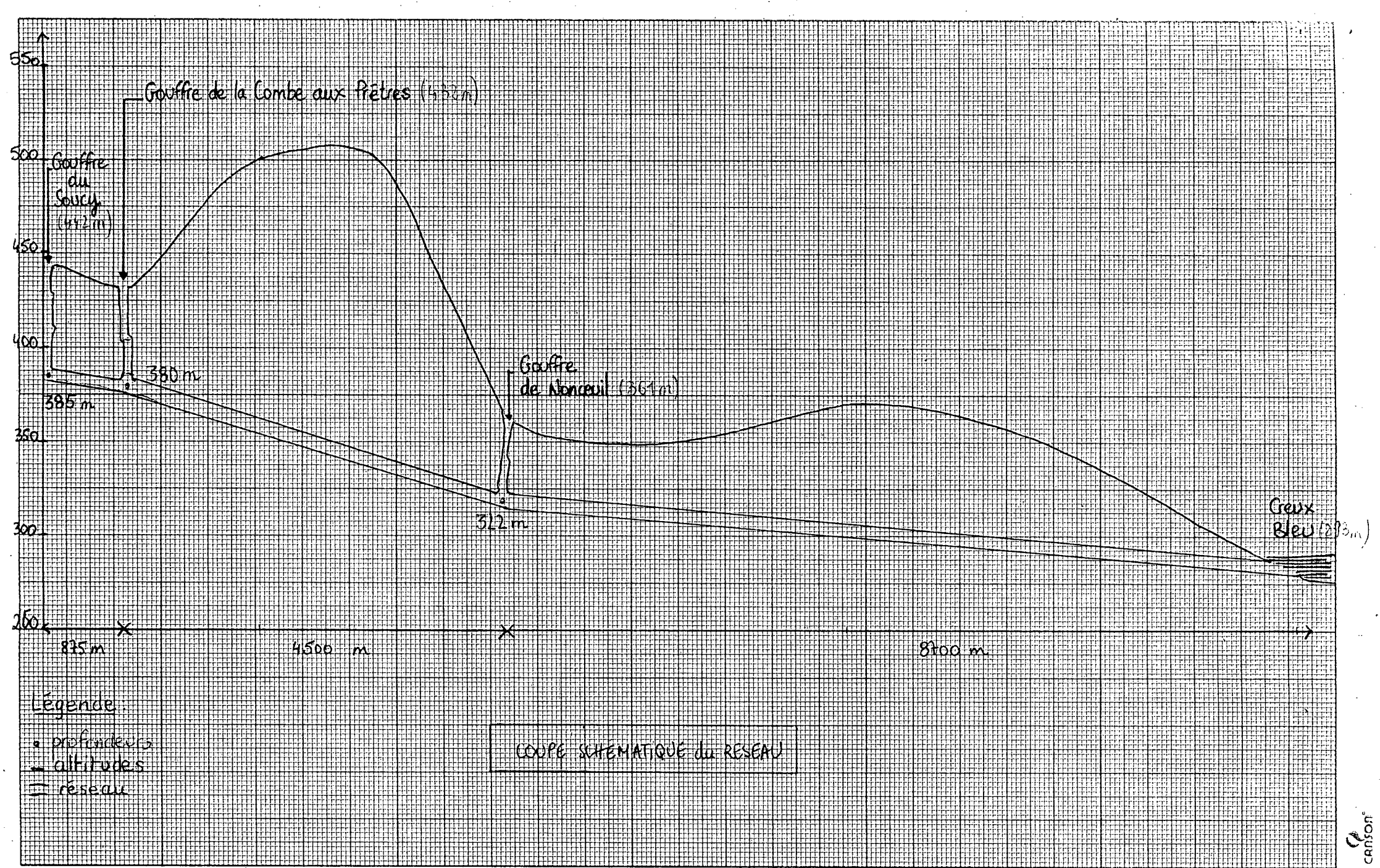
Nous avons donc réalisé un profil topographique de la région à partir d'une carte IGN au 1/25000. Les profondeurs et les altitudes des gouffres nous ont été fournies par les spéléologues.

#### Critiques du schéma :

- Nous disposions d'une coupe du réseau de Soucy à Nonceuil que nous avons schématisé sans tenir compte des irrégularités ponctuelles comme la présence de siphons car nous n'avons pas précisément leur localisation ni leur nombre. Nous avons donc considéré le diamètre constant tout le long du réseau. Cette simplification peut avoir des conséquences sur l'interprétation de nos résultats : en faisant cette approximation, nous n'avons pas tenu compte des éventuelles accélérations de vitesse dues à d'éventuels étranglements.

- La seconde partie du réseau (de Nonceuil au Creux Bleu) n'ayant pas encore été explorée par les spéléologues, nous avons tracé l'allure qui nous semblait la plus simple et la plus probable, étant donné la faible dénivellation.

- Pour des raisons d'échelle, le relief se trouve accentué par rapport à la réalité. Voir coupe schématique du réseau page 6.



La coupe effectuée permet cependant de subdiviser le réseau en deux parties correspondant à des dénivellations différentes indiquées dans le tableau ci-après.

	Partie 1		Partie 2	
	Soucy	Nonceuil	Nonceuil	Creux Bleu
Altitudes ( m )	385	322	322	293
Dénivellations ( m )		63		29
Vitesses ( m/h)		168		109

### Subdivision du réseau en deux parties suivant la dénivellation

Par ailleurs, nous savons que la partie 1, connue par les spéléologues, n'est pas noyée alors que la partie 2, non explorée, est noyée.

Le mode de propagation de l'eau va donc dépendre :

- de la quantité d'eau présente dans le conduit
- de la dénivellation

Un état dénoyé favorise un régime d'écoulement turbulent et rapide. Ce phénomène est accentué lors de fortes pluies mais aussi par une forte pente : ceci confirme que la vitesse calculée sera relativement élevée.

Dans une zone noyée, les filets d'eau restent parallèles, l'écoulement est tranquille et peu perturbé : il est laminaire. La vitesse du courant dans la partie 2 est donc plus faible ; cette partie est noyée et a une faible dénivellation.

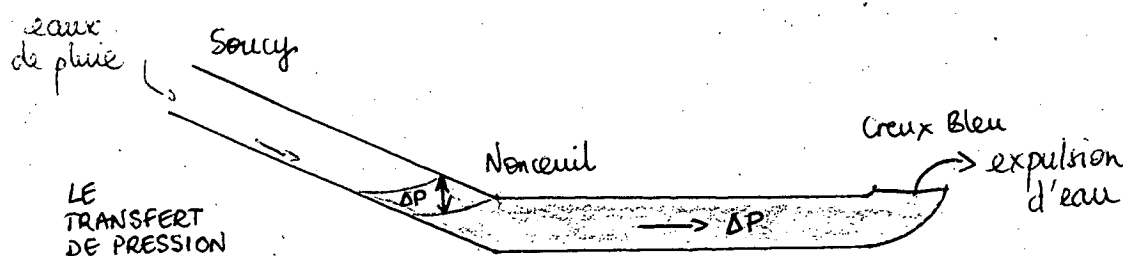
### *2- Interprétation du faible décalage lors de fortes pluies entre les précipitations et l'augmentation du débit*

On a constaté précédemment un faible décalage entre les précipitations et l'augmentation du débit lors des crues de 1986. On peut expliquer l'arrivée brutale de l'onde de crue du 19 décembre par un phénomène de transfert de pression au niveau de la partie 2 du réseau.

Au Creux Bleu, il existe en permanence une arrivée d'eau provenant de la résurgence karstique. La pression hydrostatique au niveau de Nonceuil est donc plus élevée qu'au niveau du Creux Bleu, d'où l'écoulement.

En période de fortes pluies, cet écart de pression est renforcé : la différence de pression ( $\Delta P$ ) créée au niveau de Nonceuil par l'arrivée de pluies se transmet intégralement vers le Creux Bleu car la partie 2 est noyée et l'eau est un fluide incompressible.

On peut schématiser ce phénomène de la façon suivante :



Ce phénomène est plus rapide que la propagation directe des eaux de pluies.



Le 30 décembre 1986, le débit atteint une valeur importante : 26,5 m<sup>3</sup>/s. Or, nous pouvons remarquer que les jours auparavant, les précipitations étaient comparativement plus faibles que celles précédant l'augmentation de débit du 19 décembre. Si l'on considère que les mêmes phénomènes de transfert de pression interviennent, cela paraît surprenant. Il faut, en réalité, prendre en compte deux aspects pour expliquer cette constatation :

- le réseau, avant le 30 décembre, était bien rempli par les précipitations de mi-décembre. Il faut donc peu d'eau pour provoquer une augmentation de débit.

- Le 25 décembre 1986, il a neigé. Il faut prendre en compte le temps de la fonte totale de la neige. Ceci représente un volume d'eau équivalent à 21,5 mm de pluie qu'il faudra ajouter aux précipitations du 27 ou du 28 décembre.

### 3- Conclusion : origine du déplacement des boues

#### a) Formation des boues dans le réseau :

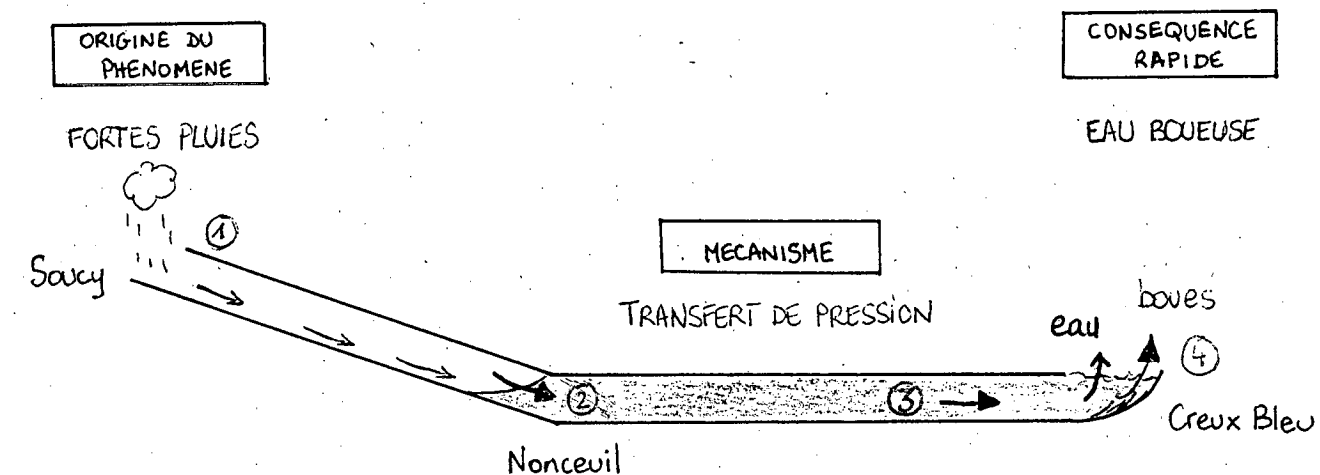
Ces dépôts, situés en aval du réseau, sont des boues constituées d'argile de décalcification. Elles se sont formées longtemps auparavant en amont du réseau, suite à la dissolution du calcaire sous l'action des eaux de pluie. Compte tenu de leur finesse, elles se déposent : l'eau du réseau est par conséquent claire.

#### b) Déplacement des boues dans le réseau

En agitant leurs palmes, les plongeurs peuvent troubler l'eau : il suffit donc d'une accélération locale de la vitesse pour provoquer le déplacement des boues. De fortes pluies provoquant une augmentation de la vitesse du courant sont capables de déplacer les boues sur une faible distance. En effet, une fois l'épisode pluvieux terminé, les boues se redéposent immédiatement : elles n'avancent donc que d'environ 50 cm. Le transfert de matière, ici les boues, dans un réseau karstique d'amont en aval est un phénomène très lent.

**Les boues, observées 24 heures après l'épisode pluvieux à la surface du Creux Bleu proviennent du transport des argiles de décalcification qui étaient situées à proximité immédiate de la résurgence.**

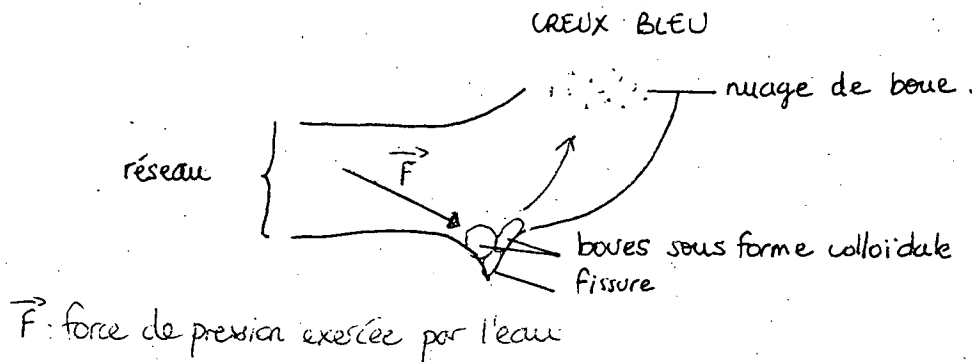
### SCHEMA RECAPITULATIF



- ① : arrivée massive d'eau
- ② : pression exercée par les masses d'eau
- ③ : transfert de pression
- ④ : expulsion d'eau soulevant les boues

Le transfert de pression étudié précédemment se traduit par une force exercée par le courant sur les dépôts sédimentaires : les colloïdes se dissocient et les particules, du fait de leur légèreté, passent en suspension.

#### Schéma du décollement des boues



#### **4- Autre conséquence du transfert de pression : augmentation de la conductivité**

Nous avons placé le conductimètre pour détecter d'éventuelles variations de la concentration en ions dans l'eau, mais en fait, la valeur de la conductivité du 1<sup>er</sup> au 7 avril est restée constante.

En période de fortes pluies, on aurait pu s'attendre à voir apparaître un pic de conductivité. En effet le transfert de pression provoque l'expulsion de l'eau se trouvant dans le réseau ; cette eau est plus minéralisée que l'eau des précipitations car elle s'est enrichie en minéraux pendant son séjour dans le réseau.

Lors d'un épisode pluvieux important, nous avons vu que cette eau est expulsée grâce au transfert de pression, ce qui expliquerait un éventuel pic de conductivité.

## CONCLUSION

Nous voyons donc que la présence ou non d'eau dans un réseau karstique comme celui étudié ainsi que son profil jouent un rôle important dans le mode de propagation de l'eau. Lors de fortes pluies, la partie noyée est le siège d'un transfert de pression qui permet rapidement la remontée à la surface de boues. Si cette partie n'était pas noyée, on ne pourrait pas observer ce phénomène et le mouvement des boues n'aurait pas lieu. L'injection de rhodamine a permis de mettre en évidence un affluent rejoignant le réseau entre le Gouffre de Nonceuil et le Creux Bleu. Cet affluent pourrait avoir deux influences :

- amplifier le transfert de pression lors de fortes pluies.
- être à l'origine d'un apport de boues supplémentaires.

## BIBLIOGRAPHIE - REMERCIEMENTS

- Principe et méthode de l'hydrogéologie (G.Castany)
- Eléments de Géologie (Pierre Bellair, Charles Pomerol)
- Recherche sur la Fosse Dionne à Tonnerre (DIREN)

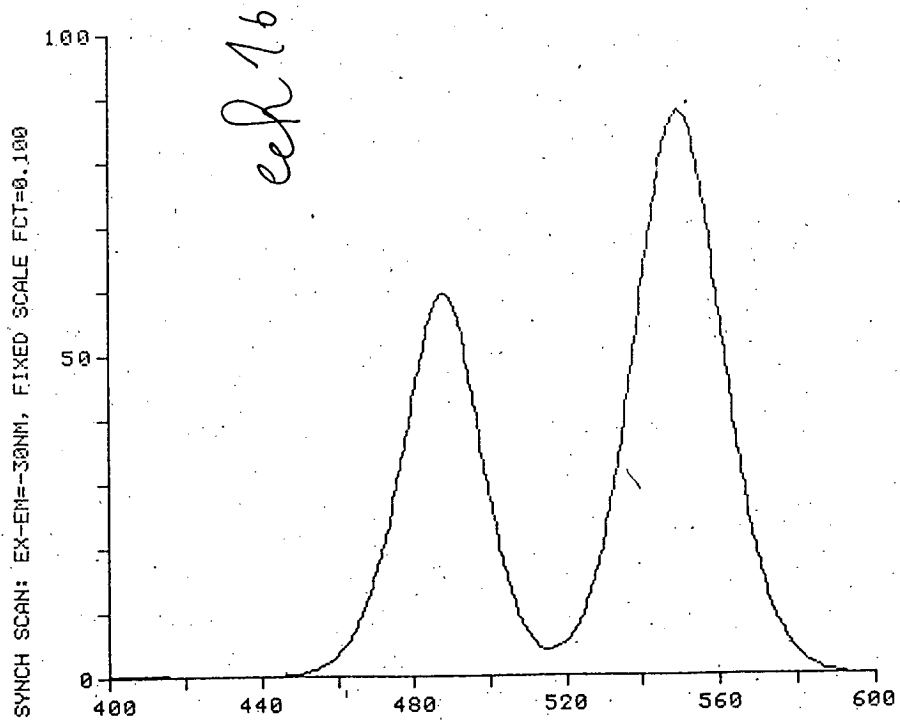
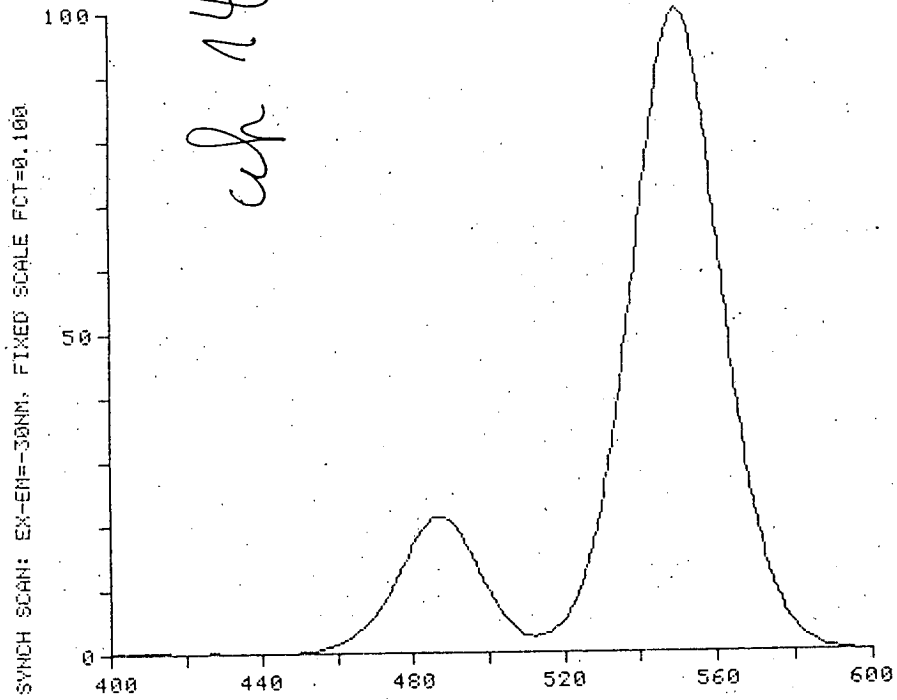
Nous remercions pour la mise en place de l'expérience:

- La DIREN (Mr Lévêque)
- Le Spéléoclub de Dijon (Pierre Laureau)
- La Cellule d'Application en Ecologie (Christian Chauvin)



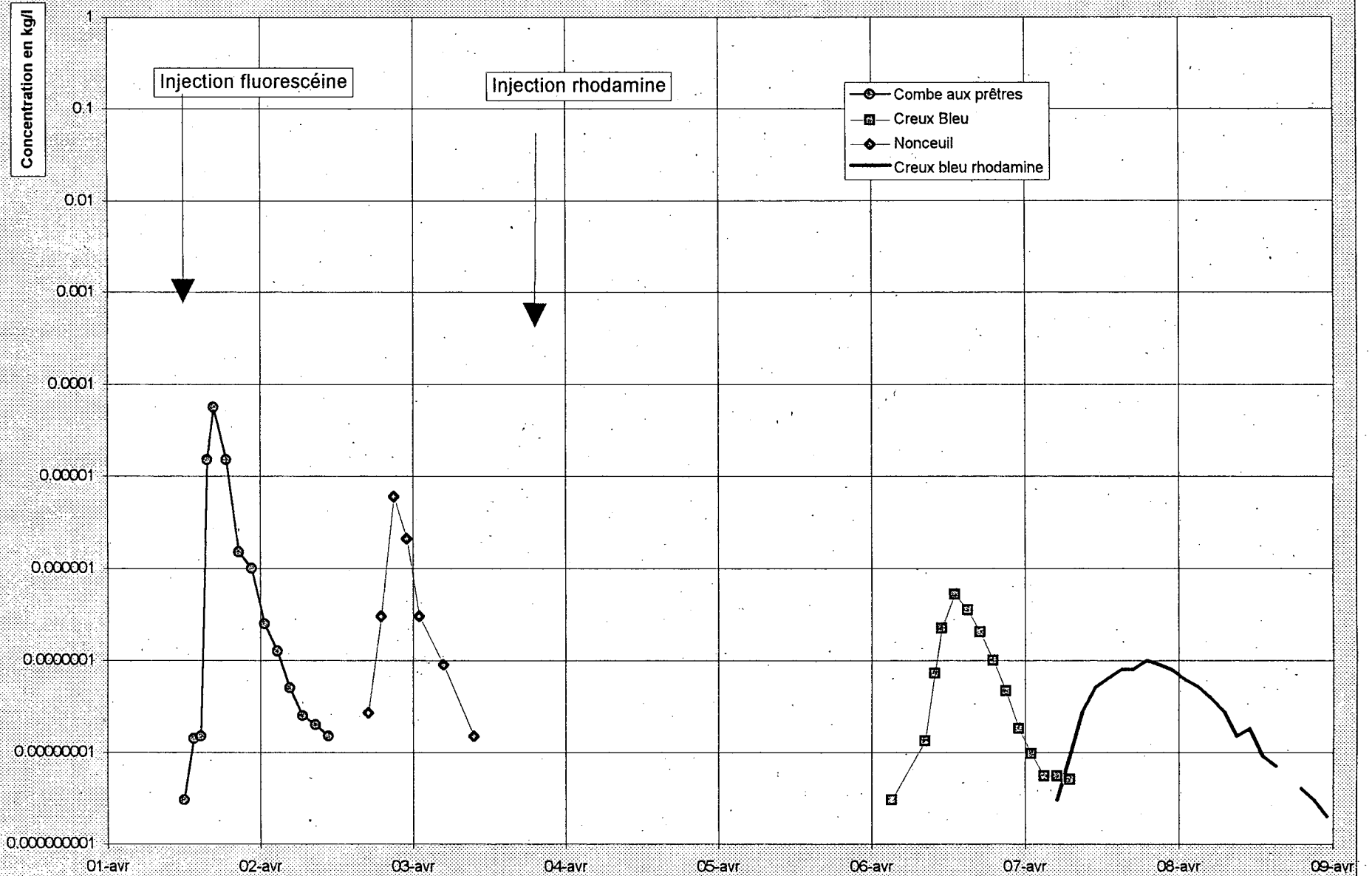
ANNEXE 2

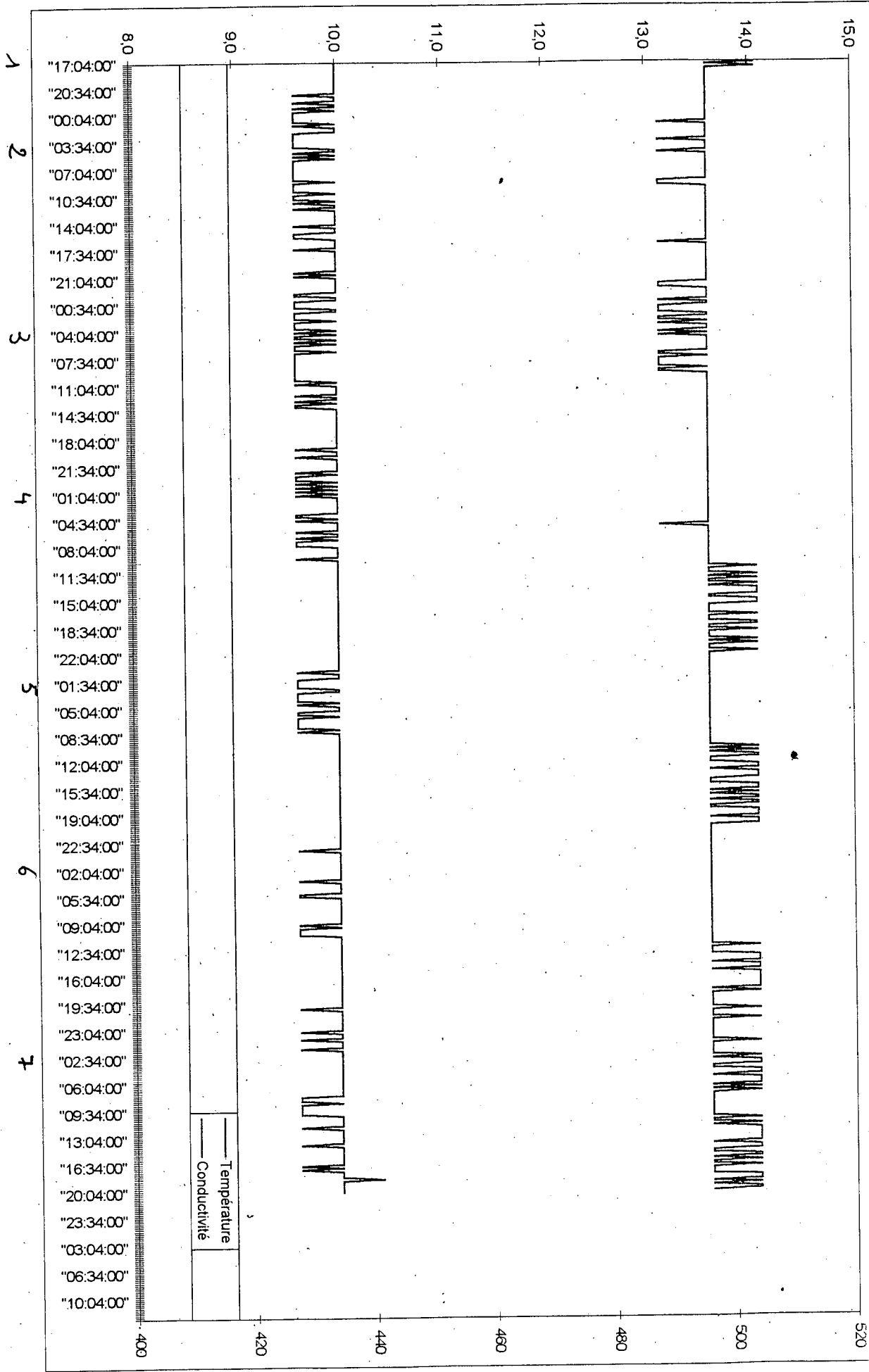
Résultats d'analyses au spectrophotomètre d'échantillons du préleveur posé au Creux Bleu.  
(mardi 6 avril 1999)



480 nm : Fluorescéine  
550 nm : Rhodamine

### Réseau Soucy-Combe aux prêtres Multitraçage





Résultat soucy99.26 du 02/06/99 à 09:05  
Précipitations quotidiennes

Pour le poste 21561001 SAINT-MARTIN-DU-MONT (LE PETIT ST MARTIN - )  
Producteur DIRECTION DE LA METEOROLOGIE NATIONALE (RESEAU CLIM D'ETAT)  
Période du 30/09/1998 au 30/04/1999

Qualité des données : Meilleure disponible

Mars	DECADE 1	DECADE 2	DECADE 3
1	0045 0 1	0000 0	0166 0 1
2	0015 0 1	0000 0	0037 0 2
3	0044 0 1	0000 0	0010 0 1
4	0062 0 2	0000 0	0000 0
5	0053 0 2	0000 0	0024 0 1
6	0032 0 2	0000 0	0035 0 1
7	0007 0 2	0000 0	0090 0 1
8	0163 0 2	0002 0 1	0014 0 1
9	0024 0 1	0000 0	0000 0
10	0016 0 1	0000 0	0000 0

Avril	DECADE 1	DECADE 2	DECADE 3
1	0000 0	0002 0 1	0020 0 1
2	0034 0 1	0232 0 1	0018 0 1
3	0041 0 1	0030 0 1	0025 0 1
4	0000 0	0046 0 1	0000 0
5	0000 0	0007 0 2	0000 0
6	0043 0 1	0001 0 2	0027 0 1
7	0013 0 1	0025 0 2	0003 0 1
8	0000 0	0024 0 1	0000 0
9	0000 0	0000 0	0091 0 1
10	0050 0 1	0035 0 1	0012 0 1

## Code Qualité

0 donnée validée  
1 donnée corrigée  
2 donnée estimée  
3 donnée douteuse  
4 donnée non validée

## Code Contexte

0 donnée synoptique fournie à J + 2  
1 pluie  
2 neige  
3 début cumul d'une donnée originale  
4 fin cumul d'une donnée originale  
8 début cumul donnée orig., neige ce jour  
9 fin cumul donnée orig., neige ce jour



