



Etude du lac du Bourg-d'Hem

2010



Etude du lac du Bourg-d'Hem
(Creuse, France) 2010
par Hervé Laboulle
(ingénieur conseil en Hydrobiologie)
pour la Mairie du Bourg-d'Hem

REMERCIEMENTS

Je remercie chaleureusement Monsieur Jean-Louis Bathier, Maire du Bourg-d'Hem, pour la confiance qu'il m'a accordée pour mener cette étude.

Je remercie l'Office International de l'Eau de La Souterraine, pour sa contribution métrologique et analytique, sans laquelle cette étude n'aurait jamais été envisagée. Je tiens à remercier plus particulièrement Anne Ranty et Fabien Sémavoine qui en plus du travail fourni, m'ont apporté des conseils précieux pour conduire cette étude.

Un grand merci à Hervé Epailard, qui a toujours répondu rapidement à mes demandes de données sur le bassin versant et le lac lui-même.

Mes remerciements s'adressent aussi à Nicolas Péricaud, collègue de SVT, pour son aide précieuse et déterminante en informatique.

PLAN DE L'ETUDE HYDROBIOLOGIQUE DU LAC DU BOURG-D'HEM

Introduction

I) Présentation de l'étude

- A) Situation géographique et caractéristiques du lac
- B) Protocole d'étude
- C) Signification des paramètres
- D) Principe de l'analyse des MES en laboratoire

II) Etat du lac du Bourg-d'Hem en hiver

- A) Analyse des mesures de paramètre
 - 1) Sur les cours d'eau
 - 2) Sur le lac
- B) Analyse des mesures de MES
 - 1) Sur les cours d'eau
 - 2) Sur le lac
- C) Résumé de la situation du lac du Bourg-d'Hem en hiver

III) Etat du lac du Bourg-d'Hem en été

- A) Analyse des mesures de paramètre
 - 1) Sur les cours d'eau
 - 2) Sur le lac
- B) Analyse des mesures de MES
 - 1) Sur les cours d'eau
 - 2) Sur le lac
- C) Résumé de la situation du lac du Bourg-d'Hem en été

IV) En attendant Godot

- A) Première nouvelle campagne de mesure en été
 - 1) Analyse des mesures de paramètre
 - a) Sur la Creuse
 - b) Sur le lac
 - 2) Résumé de la situation du lac à la mi-juillet
- B) Deuxième nouvelle campagne de mesure en été
 - 1) Analyse des mesures de paramètre
 - a) Sur la Creuse
 - b) Sur le lac
 - 2) Résumé de la situation du lac au 20 juillet
- C) Résultats des prélèvements de zooplancton

V) Structure et fonctionnement du lac du Bourg-d'Hem d'après l'étude 2010

- A) En hiver
- B) En été

VI) Suite de l'étude pour 2011

Conclusion

ETUDE HYDROBIOLOGIQUE DU LAC DU BOURG-D'HEM

Introduction

Cette étude a été décidée afin de déterminer les causes des développements importants de Cyanobactéries dont le lac du Bourg-d'Hem fait l'objet de manière sporadique durant l'été.

L'étude a été menée durant l'année 2010, pendant laquelle il n'y a pas eu de cyanobactéries en quantité importante. En conséquence, les résultats obtenus correspondent à la situation normale du lac en hiver et en été. Pour autant, ces résultats présentent un intérêt, même si le fonctionnement d'un lac est connu depuis longtemps. En effet, si la situation d'hiver correspond au schéma de fonctionnement d'un lac en hiver, il n'en est pas de même pour la situation d'été qui présente une originalité physico-chimique due à des spécificités du lac lui-même, mais aussi des apports de son bassin versant.

I) Présentation de l'étude

Dans cette première partie, sont présentés la situation géographique et les caractéristiques du lac du Bourg-d'Hem, le protocole de l'étude, la signification des paramètres et enfin le principe de l'analyse des MES en laboratoire.

A) Situation géographique et caractéristiques du lac

Le lac du Bourg-d'Hem fait partie d'un ensemble de trois lacs de barrages hydro-électriques situés sur le cours de la Creuse en aval de Glénic et en amont de la Celle Dunoise.

(Voir la localisation du lac du Bourg-d'Hem page suivante)

De l'amont à l'aval, il y a d'abord le lac de Champsanglard, puis le lac des Chézelles et enfin le lac du Bourg-d'Hem. Le lac de Champsanglard est aménagé pour la baignade au niveau de deux sites, Lavaud-Jouillat (en rive droite), Péchadoire-Anzême (en rive gauche). Le lac du Bourg-d'Hem possède aussi un site de baignade (en rive droite) au niveau du coude à angle droit caractéristique de ce lac. Les trois lacs sont l'objet aussi d'une activité nautique (canoë) et halieutique. Avec la portion de Creuse en aval du barrage du lac du Bourg-d'Hem, située au niveau de La Celle Dunoise (baignade, canoë et pêche), l'ensemble forme un site touristique : le site des trois lacs.

D'un point de vue géomorphologique, la Creuse est particulièrement encaissée dans cette région du site des trois lacs. Cela résulte d'un surcreusement relativement récent puisque daté de l'ère quaternaire (- 2 millions d'années) sans que l'on puisse pour autant dire s'il résulte exclusivement d'une conséquence des glaciations (baisse du niveau de base des mers) ou s'il il y aurait en plus un réajustement isostatique qui ferait remonter certaines portions de l'écorce terrestre localement découpées par des failles. Plus simplement, la géographie actuelle correspond à un plateau entaillé profondément par le lit de la Creuse.

Au niveau des caractéristiques, le lac du Bourg-d'Hem a une surface de 38 ha. Il est alimenté par la Creuse à hauteur d'environ 95%. Le reste correspond à une dizaine de petits cours d'eau. La plupart ont un lit situé uniquement dans la partie pente du bassin versant et ont pour caractéristiques communes d'avoir un débit moyen faible, mais en rapport étroit avec les précipitations hivernales, et de tarir au cours du printemps. Seuls deux ruisseaux ont un lit de plusieurs kilomètres sur la partie plateau du bassin versant. Leur débit est plus important et

plus régulier, même si l'un des deux tarit au cours de l'été (ruisseau du Pont de Châtre, appelé localement ruisseau de Combrant). L'autre ne tarit jamais, il s'agit du ruisseau de Besse, qui a un tracé beaucoup plus long puisqu'il prend sa source à Bussière Dunoise.

Localisation du lac du Bourg-d'Hem



B) Protocole d'étude

Ce protocole a été élaboré en concertation avec l'Office International de l'Eau (Anne Ranty et Fabien Sémaoine).

Il s'agit d'abord d'effectuer l'étude classique d'un lac et ensuite de prévoir une étude lors d'un bloom de cyanobactéries.

L'étude classique consiste à mener une campagne de mesures et prélèvements d'eau en hiver puis une autre campagne en été. Ceci afin de vérifier que le lac du Bourg-d'Hem fonctionne au cours de l'année comme n'importe quel lac, cela étant connu par la bibliographie (Duvigneaud, 1980).

Quatre stations de prélèvements et mesures ont été définies sur le lac de l'amont vers l'aval (numérotées dans cet ordre). Pour situer plus précisément ces stations du lac, on a ajouté au numéro, une lettre correspondant au village le plus proche, cela donne ainsi : 1S (Beausoleil), 2B (Bourg-d'Hem), 3G (Guémontet) et 4A (l'Age).



Station 1S rive droite



Station 1S rive gauche



Station 2B rive droite



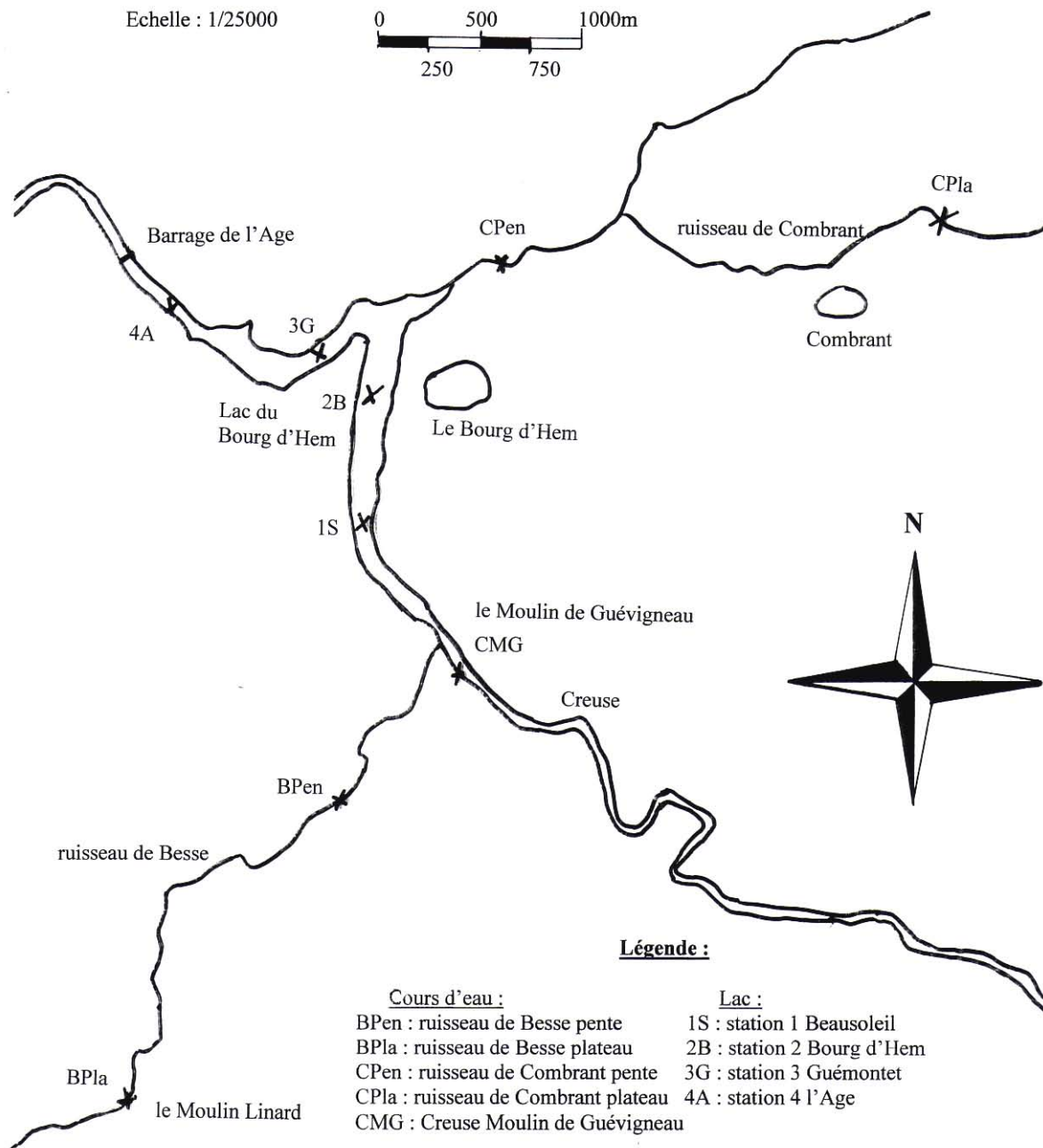
Station 3G rive droite



Station 4A rive droite

Ensuite, cinq stations ont été définies sur les cours d'eau : une sur la Creuse et deux pour chacun des deux principaux ruisseaux (Besse et Combrant). Les ruisseaux ont des portions différentes, car une partie (amont) se trouve sur le plateau et l'autre (aval) se trouve dans la pente qui correspond à la vallée de la Creuse. Pour chacun des deux ruisseaux, une station est sur le plateau et l'autre sur la pente. Le codage des stations donne CMG pour la station sur la Creuse près du Moulin de Guévigneau, Bpla (ruisseau de Besse, plateau), Bpen (Ruisseau de Besse, pente), Cpla (ruisseau de Combrant, plateau) et Cpen (ruisseau de Combrant, pente).

**Carte simplifiée des stations de prélèvements
et mesures sur les cours d'eau et le lac du Bourg d'Hem.**
(d'après la carte IGN 2228 Ouest au 1/25000)





CMG : Creuse Moulin de Guévigneau rive gauche



BPla Ruisseau de Besse plateau



BPen Ruisseau de Besse pente



CPla Ruisseau de Combrand plateau



CPen Ruisseau de Combrand pente

Sur le lac, sur les quatre stations, on procède aux mêmes mesures et prélèvements. De la surface au fond, on prélève un échantillon d'eau tous les mètres, avec une bouteille de prélèvements à fermeture commandée depuis la surface par l'envoi d'un messenger (masse de plomb qui coulisse sur la ficelle et provoque la fermeture de la bouteille par percussion).



Bouteille de prélèvement en position ouverte



Lancer du messenger



Bouteille de prélèvement en position fermée

L'eau de la bouteille est ensuite versée dans un récipient par l'intermédiaire d'un robinet.



L'eau de la bouteille est transvasée dans un récipient

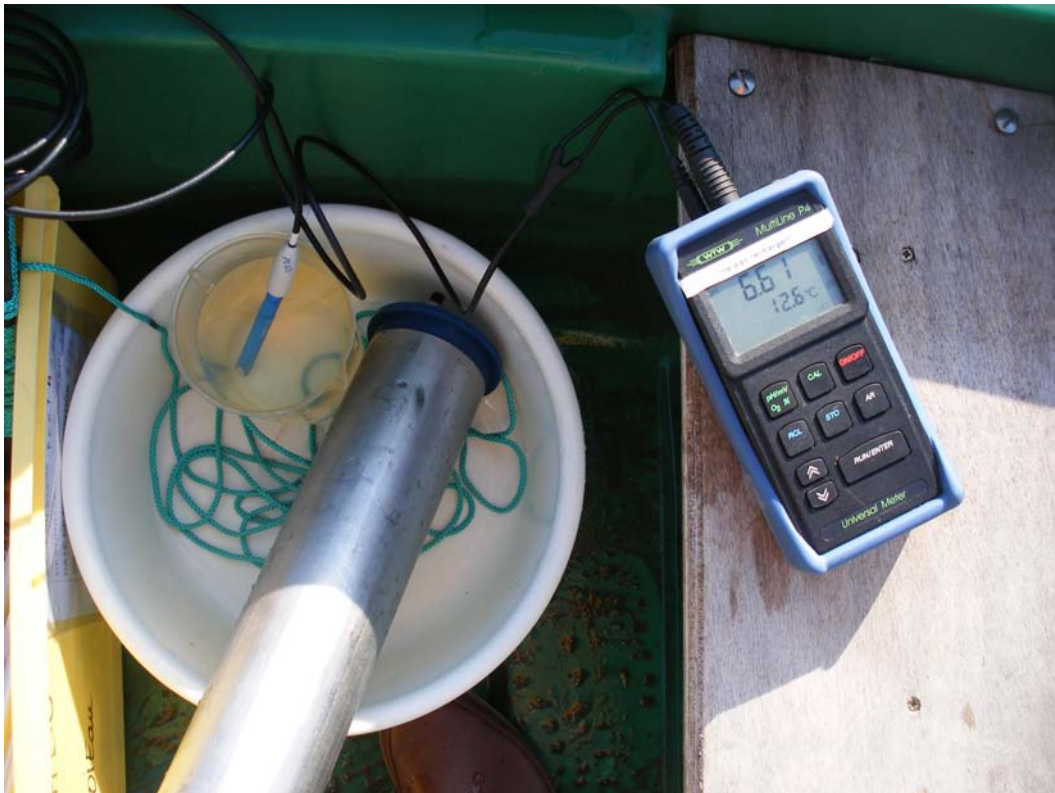
C'est dans cette eau que l'on va mesurer quatre paramètres différents. La mesure se fait par des sondes reliées à un boîtier qui affiche les valeurs mesurées par la sonde. Les quatre paramètres sont l'oxygène, le pH, la conductivité et la température. Plus précisément, il y a trois sondes différentes, une pour chacun des trois premiers paramètres. Chaque sonde mesure, en plus de son paramètre, la température. C'est pour cette raison que dans les tableaux de résultats, la température est donnée pour les trois autres paramètres. Enfin pour être complet, précisons que l'oxygène est mesuré de deux manières, la concentration en mg/L et le pourcentage.



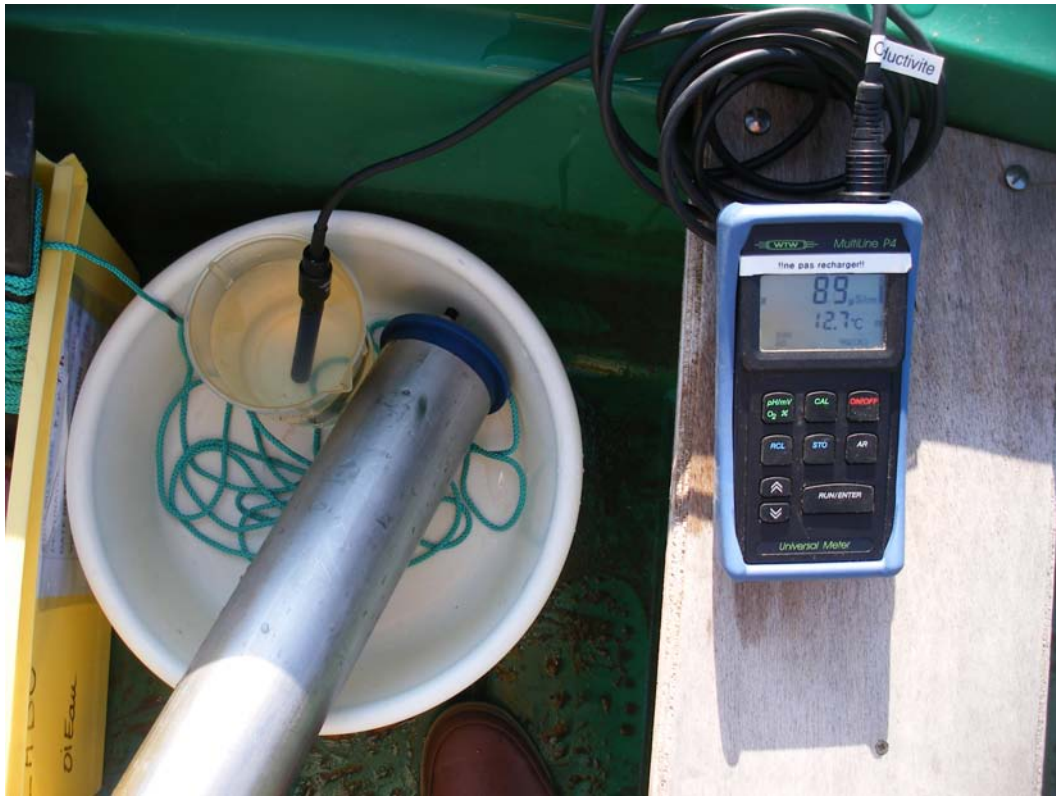
Mesure de la quantité d'oxygène en pourcentage



Mesure de la quantité d'oxygène en mg/L

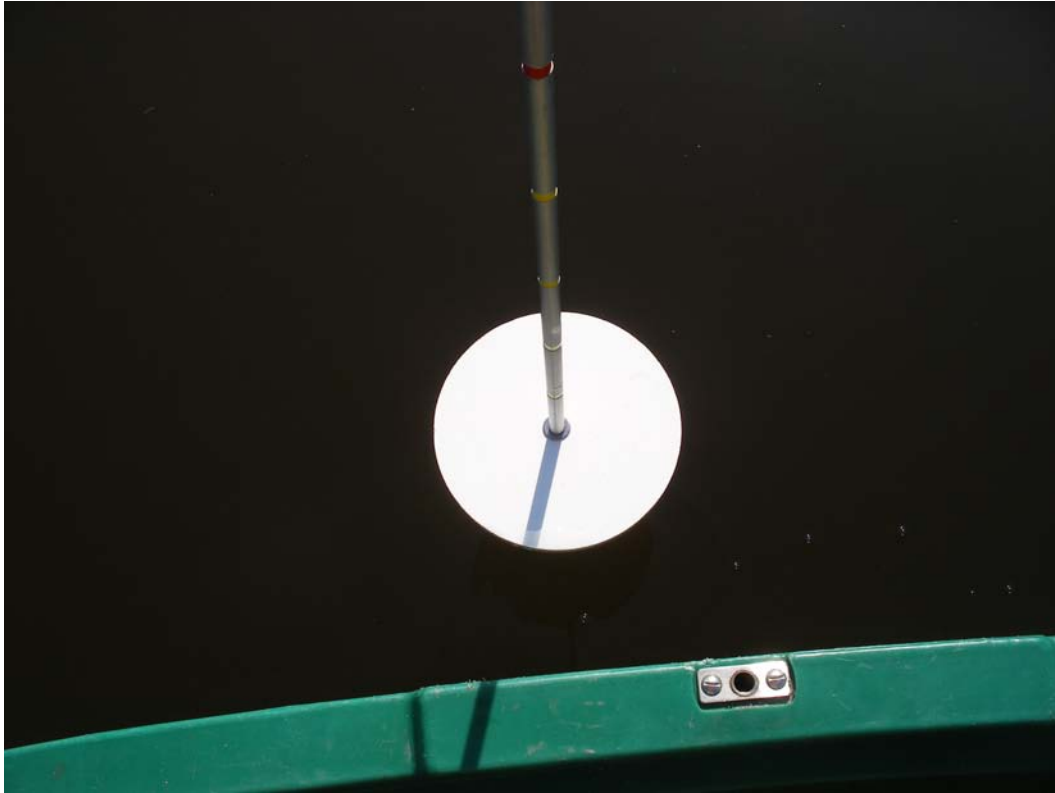


Mesure du pH



Mesure de la conductivité

La dernière mesure faite est celle de la transparence à l'aide d'un disque de Secchi. Le disque est descendu lentement et l'on note la profondeur à laquelle il disparaît. Ensuite on le remonte toujours lentement et l'on note la profondeur à laquelle il réapparaît. La moyenne des deux valeurs donne la profondeur de transparence de la station.



Disque de Secchi prêt à être immergé



Disque de Secchi immergé

Une fois les mesures prises, on procède à deux prélèvements d'eau d'un volume de deux litres. Le premier est réalisé en surface (code S) et l'autre en profondeur (code P), à 40% de la profondeur totale sous la surface. Le prélèvement en profondeur est réalisé grâce à la bouteille de prélèvement.



Prélèvement d'eau en surface



Prélèvement d'eau en profondeur



Deux prélèvements d'eau d'une même station

Les prélèvements sont aussitôt placés dans une glacière avec pains de place afin d'être conservés à une température de 4 à 5°C, de façon à ce qu'il n'y ait pas d'évolution, notamment des matières organiques.



Stockage des flacons de prélèvements d'eau dans une glacière



Fermeture de la glacière : les prélèvements sont au frais

Les prélèvements d'eau sont analysés dans le laboratoire de l'Office International de l'Eau de La Souterraine dès le lendemain matin, soit moins de 24 heures après leur mise en flacon.

Sur les cinq stations des cours d'eau, on applique le même protocole de prélèvements et de mesures, à ceci près qu'il n'y a pas de mesure de transparence et qu'il n'y a qu'un prélèvement d'eau en surface.



Mesure de la quantité d'oxygène sur un cours d'eau



Mesure du pH sur un cours d'eau



Mesure de la conductivité sur un cours d'eau



Prélèvement d'eau sur un cours d'eau

Les mesures et résultats des prélèvements d'eau de chaque campagne sont présentés dans des tableaux pour analyse et interprétation.

C) Signification des paramètres

1) La température

C'est le paramètre le plus connu car le plus couramment employé. Rappelons que la température est une mesure de l'état de chaleur d'un système, l'unité est le degré Celsius (°C).

2) L'oxygène

L'oxygène est un paramètre important dans le milieu aquatique, car d'abord il constitue un facteur plus ou moins limitant pour chacune des espèces vivant dans ce milieu. Ensuite, il donne une idée du fonctionnement du milieu aquatique, comme par exemple le brassage physique de l'eau, la photosynthèse plus ou moins active, la respiration des organismes hétérotrophes, notamment celle des bactéries dégradant des matières organiques en décomposition. La concentration d'oxygène en mg/L correspond à l'expression de n'importe quel autre soluté de l'eau comme les sels minéraux. C'est une valeur indicative, mais brute. La valeur d'oxygène donnée en pourcentage est plus parlante, car elle est le rapport entre la concentration réellement présente et la concentration maximale d'oxygène possible à la température de la mesure, le tout étant mis en pourcentage. Ainsi une valeur d'oxygène de 100% indique que le milieu est oxygéné au maximum. Toutefois, il faut avoir à l'esprit que la valeur maximale est mesurée en laboratoire dans des conditions de saturation, alors que dans le milieu naturel des valeurs de sursaturation en oxygène de 120% et plus ne constituent pas pour autant des valeurs anormales voire aberrantes.

3) Le pH

Le pH correspond littéralement au « potentiel d'hydrogène ». Plus simplement, c'est une mesure de l'état d'acidité d'un liquide. Le pH s'exprime sur une échelle de 0 à 14. A la moitié, c'est-à-dire à 7, le liquide est dit neutre. En dessous de 7, le liquide est acide, au dessus de 7, il est basique. Le vinaigre est un exemple d'acide, la potasse (dans la cendre de bois) est un exemple de base. Dans le milieu naturel, une acidité prononcée (inférieure à 6) peut correspondre à un déficit d'oxygénation qui conduit à une fermentation productrice d'acides organiques. Par contre, une basicité affirmée (supérieure à 8) peut correspondre à une photosynthèse importante.

4) La conductivité

La conductivité est la mesure de la facilité ou de la difficulté pour une solution de conduire le courant électrique. L'eau étant électriquement neutre, elle conduit mal l'électricité. Par contre, quand l'eau contient des sels minéraux, elle conduit mieux le courant électrique. Cela s'explique par le fait que les sels minéraux sont en fait des atomes chargés positivement ou négativement (dans les deux cas, on les appelle ions, plutôt qu'atomes). Ces ions étant chargés électriquement vont conduire plus facilement le courant électrique. Donc, plus une eau est chargée en sels minéraux et plus sa conductivité sera importante, sans pour autant donner des indications quant à la nature des sels minéraux présents. La conductivité est mesurée en $\mu\text{S/cm}$ (micro Siemens par centimètre, 1 micro Siemens est égal à 1 millionième de Siemens).

5) La transparence de l'eau

Elle dépend des éléments en suspension qu'elle peut contenir. Les éléments en suspension diffusent la lumière du soleil qui pénètre dans l'eau et par conséquent, plus il y en a et moins

la lumière pénètre en profondeur dans l'eau. La transparence donne donc une idée de la concentration en éléments en suspension.

Ces éléments en suspension peuvent être de plusieurs natures. Ils peuvent être des sédiments (organiques ou minéraux), ce sont des particules très fines, mais suffisamment grosses pour pouvoir couler (sédimenter) en eau calme. La sédimentation de ces particules n'est cependant pas instantanée, elle peut mettre plusieurs heures voire des jours. Dans l'échelle de granulométrie, les sédiments correspondent aux limons. Les éléments en suspension peuvent être aussi des colloïdes. D'une taille plus petite que les sédiments et étant souvent chargés électriquement, les colloïdes peuvent rester en suspension dans l'eau. En effet, les répulsions électriques sont suffisamment fortes pour vaincre la force de gravité. Cet état de suspension ne doit pas être confondu avec celui d'un élément en solution. Ces colloïdes sont de deux natures possibles. Soit il s'agit de molécules organiques issues de la décomposition de matières organiques, auquel cas ce sont des acides humiques, soit il s'agit de particules argileuses qui proviennent de l'érosion des sols.

Les argiles se forment par altération de certains minéraux des roches magmatiques (granite, gabbro) ou métamorphiques (gneiss ou micaschistes). Les minéraux en question sont essentiellement de deux grandes familles de silicates : les micas et les feldspaths. Le Limousin étant constitué de ces deux types de roches (magmatique et métamorphique), les sols sont argileux, de plus comme il y a encore beaucoup de forêts, de bois et de prairies, la matière organique en décomposition des sols est aussi importante. Ce qui fait que globalement nos eaux naturelles sont chargées en colloïdes et dans ces conditions, il est difficile d'avoir une transparence supérieure à 1 mètre.

D) Principe de l'analyse des MES en laboratoire

Les échantillons d'eau sont prélevés sur les cours d'eau et sur le lac, conservés immédiatement dans une glacière avec pains de glace, sont acheminés dès le lendemain matin pour analyse dans le laboratoire de l'Office International de l'Eau de La Souterraine.



Laboratoire de l'Office International de l'Eau de La Souterraine (Anne Ranty, à droite et Fabien Sémavoine à gauche)

L'analyse des échantillons d'eau consiste à établir la masse de matière en suspension (MES), puis à en distinguer la part de masse de matière minérale (MM) et la part de masse de matière organique (MO).

On commence par peser le filtre avant de réaliser la filtration.



Matériel nécessaire pour la pesée des filtres



Pesée du filtre



Notation des résultats de pesée

Cette masse est notée M_f . Ensuite le filtre est placé dans le dispositif de filtration sous vide.



Echantillons d'eau à filtrer



Préparation de la filtration

On mesure précisément avec une éprouvette graduée le volume d'eau que l'on va filtrer et que l'on note V_f .



Mesure d'un volume d'eau à filtrer



Filtration prête

Ce volume est progressivement versé dans la partie supérieure du dispositif.



Début de la filtration



Filtration en cours



Filtration de plus près



Fin de la filtration

L'eau va passer au travers du filtre, les MES vont se déposer sur le filtre. Après filtration, le filtre est placé dans une étuve à 105°C pendant 1 heure, cette étape va permettre de faire évaporer l'eau du filtre, mais sans altérer les MES.



Filtres placés dans l'étuve



Filtres desséchés



Sortie des filtres de l'étuve

Au bout d'une heure, le filtre contenant les MES est à nouveau pesé, cette masse est notée M_{fMES} . Ensuite le filtre est placé dans un four à 550°C pendant 2 heures. A cette température, la fraction organique des MES brûle et est évacuée sous forme de dioxyde de carbone et de vapeur d'eau. De cette manière, il ne restera sur le filtre que les matières minérales. Au bout des deux heures, le filtre est sorti du four pour une dernière pesée. Cette masse est notée M_{fMM} . A partir de ces trois pesées, on va faire les calculs de MES, MO et MM. Ces calculs ne sont pas compliqués sur le principe, mais le fait d'avoir des valeurs en gramme avec quatre chiffres après la virgule alourdit considérablement la compréhension des différentes étapes. Nous allons donc présenter ces calculs avec des valeurs numériques simples de façon à faire comprendre les calculs. Le lecteur pourra ensuite s'exercer, s'il le veut, avec les vraies valeurs données dans les tableaux afin de retrouver les valeurs issues de calculs.

Exemple simple : $V_f = 500\text{mL}$ $M_f = 1\text{g}$ $M_{fMES} = 5\text{g}$ $M_{fMM} = 2\text{g}$

Masse de MES :

$$M_{MES} = M_{fMES} - M_f$$

$$M_{MES} = 5\text{g} - 1\text{g}$$

$$M_{MES} = 4\text{g}$$

La masse de MES est de 4g.

Masse de MM :

$$M_{MM} = M_{fMM} - M_f$$

$$M_{MM} = 2\text{g} - 1\text{g}$$

$$M_{MM} = 1\text{g}$$

La masse de MM est de 1g.

Masse de MO :

$$M_{MO} = M_{MES} - M_{MM}$$

$$M_{MO} = 4g - 1g$$

$$M_{MO} = 3g$$

La masse de MO est de 3g.

Concentration en MES :

$$C_{MES} = M_{MES} : V_f \quad V_f = 500mL = 0,5L$$

$$C_{MES} = 4g : 0,5L$$

$$C_{MES} = 8g/L$$

La concentration en MES est de 8g/L.

Concentration en MO :

$$C_{MO} = M_{MO} : V_f$$

$$C_{MO} = 3g : 0,5L$$

$$C_{MO} = 6g/L$$

La concentration en MO est de 6g/L.

Concentration en MM :

$$C_{MM} = M_{MM} : V_f$$

$$C_{MM} = 1g : 0,5L$$

$$C_{MM} = 2g/L$$

La concentration en MM est de 2g/L.

Il est aussi intéressant de présenter les résultats de MO et MM en pourcentages.

Pourcentage de MO :

$$P_{MO} = (M_{MO} : M_{MES}) \times 100$$

$$P_{MO} = (3g : 4g) \times 100$$

$$P_{MO} = 75$$

Le pourcentage de MO est de 75%.

Pourcentage de MM :

$$P_{MM} = (M_{MM} : M_{MES}) \times 100$$

$$P_{MM} = (1g : 4g) \times 100$$

$$P_{MM} = 25$$

Le pourcentage de MM est de 25%.

II) Etat du lac du Bourg-d'Hem en hiver

Dans un premier temps, nous allons analyser les mesures de paramètres, puis dans un deuxième temps les résultats des prélèvements d'eau. Dans les deux cas, nous commencerons par les cours d'eau pour ensuite voir le lac.

A) Analyse des mesures de paramètre

1) Sur les cours d'eau

Les mesures ont été effectuées le mercredi 24 février 2010, les résultats sont consignés dans le tableau de la page suivante.

TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES
DES COURS D'EAU DU LAC DU BOURG-D'HEM

24 FEVRIER 2010

STATION	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	unité	Temp°C	µS/cm	Temp°C
CMG	14.03	115.8	5.5	6.27	5.6	105	5.7
BPla	15.89	141.0	6.4	6.43	6.5	90	6.6
BPen	16.09	148.3	6.6	6.54	6.7	89	6.8
CPla	11.74	105.6	8.1	6.73	7.9	114	8.2
CPen	12.98	112.4	7.3	7.14	7.3	114	7.4

Regardons d'abord la température qui d'une part présente très peu de variations d'une sonde à l'autre (0,3°C au maximum). Pour un même cours d'eau entre le plateau et la pente, la variation de température est très faible (0,2°C pour le ruisseau de Besse) ou faible (0,8°C pour le ruisseau de Combrant). Par contre, la différence de température d'un cours d'eau à l'autre peut être plus importante (2,5°C en moyenne entre la Creuse et le ruisseau de Combrant dans la partie plateau). Il n'en demeure pas moins que l'ensemble des températures est compris dans un intervalle restreint (5,5 à 8,2°C), ce qui correspond à des températures normales pour des cours d'eau de notre région en hiver.

L'oxygène est en concentration importante puisque les cinq mesures dépassent 100%. Sur les ruisseaux, remarquons que les pourcentages d'oxygène sont plus importants dans la pente que sur le plateau. Cela s'explique par le fait que le brassage de l'eau et de l'air est plus important dans les pentes, car la vitesse de l'eau augmente. La rugosité du lit du ruisseau associée à la vitesse de l'eau fait que le courant est plus chahuté que sur le plateau, ce qui entraîne un plus grand brassage de l'eau et de l'air. C'est donc un phénomène physique qui est à l'origine de cette concentration élevée en oxygène.

Pour ce qui est du pH, sur les cinq mesures, quatre présentent un pH légèrement acide, ce qui est courant pour notre région. En effet, les granites, les gneiss et les micaschistes confèrent une légère acidité aux sols et aux eaux. L'acidité plus prononcée sur la Creuse peut s'expliquer par les eaux du fond du lac des Chezelles (qui ne se trouve qu'à 500m en amont du point de prélèvement) qui ont davantage de temps pour se charger en acidité du fait de la stagnation des eaux. Par contre, la valeur de pH légèrement basique du ruisseau de Combrant dans la pente est inhabituelle pour notre région en raison de sa géologie générale. Une explication en sera donnée un peu plus loin.

La conductivité présente des valeurs assez variables (de 89 à 114 µS/cm). Mais cette variabilité n'est valable que d'un cours d'eau à un autre. En effet, les deux valeurs du ruisseau de Combrant sont identiques (114 µS/cm) et les deux valeurs du ruisseau de Besse le sont presque autant (89 et 90 µS/cm). On peut déjà supposer que la conductivité est un paramètre robuste et qui constitue une signature d'un certain cours d'eau.

2) Sur le lac

Les mesures ont été effectuées le mercredi 3 mars 2010, les résultats sont consignés dans un tableau par station.



Départ pour une journée de mesures et prélèvements

Station 1S

TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES DU LAC DU BOURG-D'HEM STATION 1S

3 MARS 2010, 9H20

Profondeur maximum : 2.20m

PROFONDEUR (mètre)	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	unité	Temp°C	μS/cm	Temp°C
0	12,13	101,7	6,0	6,18	5,8	101	6,1
1	10,68	98,1	6,2	6,57	6,2	101	6,3
2	10,36	87,8	6,1	6,86	6,1	101	6,2

Remarquons tout de suite l'homogénéité de la température sur toute la hauteur d'eau (5,8 à 6,3°C) pour une valeur moyenne de 6,1°C. Ce qui représente une température normale pour l'hiver.

L'oxygène est à son maximum en surface et à 1 m de profondeur. Même si l'on observe une baisse de l'oxygène près du fond, nous sommes encore sur une valeur élevée (près de 90%), donc d'une manière générale, il y a une bonne oxygénation de l'eau de la surface jusqu'au fond.

Le pH est légèrement acide sur toute la hauteur d'eau, avec une acidité plus prononcée en surface qu'au fond. Cette acidité est normale par rapport au contexte géologique de notre région, déjà évoqué au sujet des cours d'eau.

La conductivité, quant à elle, est strictement la même sur toute la colonne d'eau : 101 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En résumé, les faibles écarts observés au niveau des quatre paramètres montrent une homogénéité de l'eau du lac sur toute la hauteur, de la surface au fond.

Station 2B

TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES **DU LAC DU BOURG-D'HEM** **STATION 2B**

3 MARS 2010, 10H30

Profondeur maximum : 7m

PROFONDEUR (mètre)	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	unité	Temp°C	$\mu\text{S}/\text{cm}$	Temp°C
0	27,83	232,2	6,2	6,65	6,1	100	6,3
1	17,84	166,1	6,4	6,93	6,4	102	6,5
2	16,09	135,0	6,4	7,24	6,2	101	6,4
3	13,98	118,4	6,4	7,10	6,4	100	6,5
4	12,19	102,0	6,4	7,34	6,2	101	6,5
5	11,90	103,5	6,4	7,25	6,5	101	6,5
6	12,33	96,7	6,4	7,11	6,2	101	6,4

Là aussi, la température peut être considérée comme étant la même sur toute la colonne d'eau (6,1 à 6,5°C).

Il en est de même pour la conductivité (100 à 102 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Par contre, les deux autres paramètres présentent des singularités. Le pH est légèrement acide en surface et sous 1 m d'eau, comme on peut s'y attendre maintenant connaissant la géologie de la région. En revanche, de 2 m de profondeur jusqu'au fond, le pH devient légèrement basique, cela peut sembler étonnant au regard du contexte géologique, mais en même temps cela rappelle une mesure de pH basique sur un cours d'eau (Combrant, pente).

L'oxygène est en très forte concentration en surface et sous 1 m d'eau au point de pouvoir parler de sursaturation. Par contre, dès 2 m de profondeur et ce jusqu'au fond, on retrouve des valeurs de saturation observées sur la première station. Cette sursaturation de surface peut correspondre à un turbinage des eaux au niveau du barrage des Chézelles dans le quart d'heure ou la demi-heure qui a précédé la mesure. En effet, le turbinage provoque un fort

brassage de l'eau et de l'air au pied du barrage, qui peut ainsi être à l'origine de ces fortes concentrations d'oxygène observées.

Station 3G

TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES
DU LAC DU BOURG-D'HEM
STATION 3G

3 MARS 2010, 12H30

Profondeur maximum : 9,50m

PROFONDEUR (mètre)	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	unité	Temp°C	µS/cm	Temp°C
0	12,55	105,6	6,5	6,33	6,6	101	6,6
1	10,15	93,0	7,0	6,84	6,7	101	7,0
2	11,40	90,7	6,7	6,90	7,2	100	7,0
3	10,02	87,2	6,8	7,49	6,5	100	6,9
4	11,16	86,6	6,4	7,23	6,5	100	6,6
5	10,15	87,1	6,5	7,48	6,6	101	6,6
6	10,77	88,3	6,6	7,39	6,4	100	6,6
7	10,57	96,6	6,4	7,32	6,5	100	6,7
8	11,06	89,3	6,5	7,36	6,5	100	6,8
9	10,67	94,2	6,4	7,07	6,5	100	6,6

Là encore, on retrouve une homogénéité de la température sur toute la colonne d'eau (6,4 à 7,2°C), en ajoutant toutefois que la température a légèrement augmenté par rapport à celles des stations 1 et 2.

Remarquons aussi l'homogénéité de la conductivité : 100 à 101 µS/cm de la surface au fond.

L'oxygène est en sursaturation en surface. Sur le restant de la colonne, sans être à saturation, l'oxygène est en grande concentration (moyenne de 90% environ). Donc là encore une certaine homogénéité pour l'oxygène.

Pour ce qui est du pH, il est acide sur les deux premiers mètres (avec une croissance régulière de la surface jusqu'à 2 m de profondeur). Ensuite, dès 3 m et jusqu'au fond, le pH est légèrement basique (la valeur du fond étant presque à la neutralité). On retrouve là, la même répartition du pH que celle de la station 2.

Station 4A**TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES
DU LAC DU BOURG-D'HEM
STATION 4A****3 MARS 2010,14H40**

Profondeur maximum : 15m

PROFONDEUR (mètre)	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	unité	Temp°C	µS/cm	Temp°C
0	12,41	106,2	6,7	7,17	6,8	100	6,8
1	10,41	93,1	7,1	7,19	6,8	101	7,1
2	10,54	86,5	6,6	7,15	6,7	100	6,8
3	10,59	93,7	6,6	7,27	6,4	100	6,7
4	10,63	83,9	6,6	7,28	6,8	100	7,0
5	10,40	88,1	6,9	7,33	6,4	100	6,9
6	10,46	89,2	6,7	7,23	6,5	100	6,7
7	10,51	96,2	6,4	7,20	6,5	100	6,6
8	10,93	88,6	6,6	7,18	6,5	100	6,7
9	11,89	101,3	6,4	6,99	6,7	100	6,8
10	10,77	87,5	6,4	7,06	6,6	100	6,7
11	10,49	92,9	6,6	7,08	6,3	100	6,6
12	10,54	85,8	6,5	7,08	6,5	100	6,6
13	10,58	88,2	6,5	7,11	6,4	100	6,6
14	10,40	88,8	6,4	7,04	6,4	100	6,7

La température est de nouveau homogène sur toute la hauteur d'eau (6,3 à 7,1°C). On a donc la même situation en température que celle de la station 3.

Une conductivité aussi très homogène (toutes les valeurs à 100 µS/cm sauf une à 101).

L'oxygène en légère sursaturation en surface, et en concentration importante sur le restant de la colonne d'eau (environ 95% en moyenne). Une fois de plus l'homogénéité est de mise.

Le pH est légèrement basique dès la surface et ce jusqu'au fond, mais l'on remarque qu'à partir de 9 m de profondeur, le pH est très proche de la neutralité.

Mesure de transparence.

Les mesures de transparence des quatre stations sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU DE MESURE DE TRANSPARENCE (en cm)
DISQUE DE SECCHI
LAC DU BOURG-D'HEM

3 MARS 2010

OBSERVATIONS STATIONS	CIEL	PROFONDEUR A LA DESCENTE	PROFONDEUR A LA MONTEE	PROFONDEUR DE TRANSPARENCE
1S	CLAIR, SOLEIL	0.85m	0.75m	0.80m
2B	CLAIR, SOLEIL	0.85m	0.80m	0.83m
3G	CLAIR, NUAGEUX	0.80m	0.70m	0.75m
4A	NUAGEUX PLUIE FINE	0.85m	0.75m	0.80m

Les quatre valeurs sont très proches, on peut donc dire que la transparence est homogène avec une moyenne de 80 cm. Cette valeur correspond à une transparence correcte pour des eaux de notre région.

Résumé de la situation du lac

Considérons la répartition des paramètres sur les quatre stations.

La température est très homogène sur tout le lac : de 6 à 7°C, avec une légère augmentation de l'amont à l'aval qui peut avoir un rapport avec l'augmentation de la température au cours de la journée.

Constat identique pour l'oxygène (hormis la grande sursaturation de surface de la station 2, pouvant être due à un turbinage des eaux du lac des Chézelles) : concentration élevée sur tout le lac.

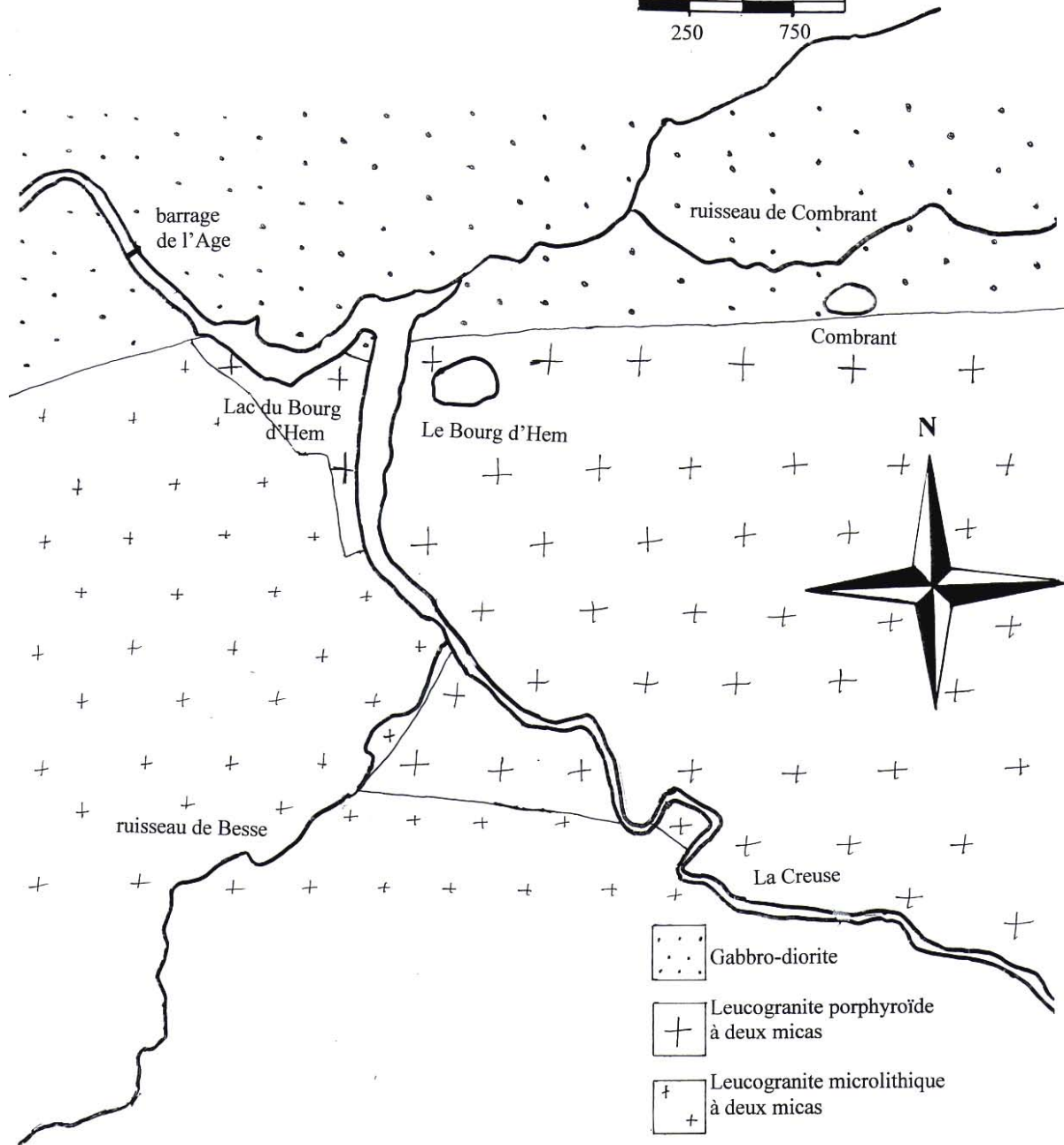
La conductivité présente elle aussi une homogénéité presque parfaite : 100 à 102 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur l'ensemble du lac !

Enfin, pour ce qui est du pH, de l'amont à l'aval, de légèrement acide on passe à légèrement basique. L'acidité est tout à fait normale pour notre région globalement granitique. Il reste à expliquer le pH basique d'autant plus qu'il s'agit d'un phénomène bien affirmé et non pas anecdotique. Pour en trouver la raison, l'idée a été de regarder plus précisément le contexte géologique des alentours du lac du Bourg-d'Hem. Pour cela, la carte géologique du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) a été consultée, il s'agit de la carte d'Aigurande, n°617. La portion de carte correspondant au lac du Bourg-d'Hem a été reproduite avec simplification (voir carte page suivante).

**Carte géologique simplifiée de la région
du lac du Bourg d'Hem**
(d'après la carte au 1/50000 n°617 Aigurande du BRGM)

Echelle : 1/25000

Echelle graphique : 0 500 1000m



On voit ainsi très nettement que le lac du Bourg-d'Hem est à cheval sur deux massifs de roches différentes. Au sud, deux leucogranites qui ne diffèrent que par la taille des cristaux (porphyroïde : gros cristaux, microlithique : petits cristaux). Le préfixe leuco indique qu'il s'agit de granite clair (leuco : blanc). Au nord, la roche est un gabbro-diorite. Les deux roches vont conférer aux sols et aux eaux des pH différents.

Les deux leucogranites à deux micas sont avant tout des granites dont l'altération confère aux eaux et aux sols un caractère légèrement acide (pH<7) et faiblement tamponné.

Le gabbro-diorite contient de la calcite qui est un produit de déstabilisation de l'amphibole et du feldspath plagioclase. La calcite se présente en petits grains inclus dans les amphiboles, c'est une calcite pure (d'après le livret de la carte géologique n°617 Aigurande, BRGM, page 44). La dégradation de la calcite dans un sol ou dans l'eau libère du carbonate de calcium (CaCO_3) qui confère un pH légèrement basique ($\text{pH}>7$). D'ailleurs sur la rive gauche du barrage de l'Age, il a été observé de beaux sujets de buis, alors que le buis pousse habituellement en pays calcaire. C'est donc la présence de cette roche qui explique le basculement des eaux acides ($\text{pH}<7$) provenant des leucogranites en des eaux basiques ($\text{pH}>7$), lorsque les eaux arrivent en terrain gabbro-dioritique. Et cela d'autant plus facilement que les eaux acides sont faiblement tamponnées.

Quant à la transparence de l'eau, elle est homogène sur l'ensemble du lac : 80 cm.

Si on synthétise le tout, on peut dire que le lac possède une eau homogène de l'amont à l'aval et sur toute sa hauteur d'eau : température : $6,5^\circ\text{C}$, oxygène à saturation (95%), conductivité à $100 \mu\text{S}/\text{cm}$, un pH soit légèrement acide soit légèrement basique et une transparence correcte pour la région. Toutes les valeurs de ces paramètres permettent un développement normal de tous les niveaux trophiques de la chaîne alimentaire d'un lac, tel qu'il peut fonctionner en hiver.

Maintenant si on regarde ce qui est connu du fonctionnement des lacs en général (Duvigneaud, 1980), on s'aperçoit que la situation du lac du Bourg-d'Hem en hiver correspond exactement au fonctionnement normal d'un lac à cette saison. En effet, du fait du faible réchauffement des eaux de surface par une lumière à faible incidence, il n'y a pas de grande différence de température entre la surface et le fond. Les eaux ont donc une densité égale sur toute la hauteur d'eau. De plus, lorsqu'il y a du vent, l'eau de surface qui est ainsi mise en mouvement va pouvoir s'enfoncer et provoquer ainsi une remontée des eaux de fond. Cela conduit à un brassage de toute l'eau du lac et assure ainsi une pleine homogénéisation de l'ensemble des paramètres (voir schéma page suivante).

B) Analyse des mesures de MES

1) Sur les cours d'eau

Les prélèvements ont été effectués le mercredi 24 février 2010, les résultats sont regroupés dans les tableaux ci-dessous.

MATIERE EN SUSPENSION **COURS D'EAU DU LAC DU BOURG-D'HEM**

24 FEVRIER 2010

Tableau de filtration sous vide

Station	Volume filtré (mL)
CMG	500
BPla	500
BPen	500
CPla	500
CPen	500

Tableau de détermination des MES

Station	Masse filtre + coupelle avant filtration (g)	Masse filtre + coupelle après dessiccation (g)	Masse de matière en suspension (mg)
CMG	2,4048	2,4075	2,7
BPla	2,3863	2,3942	7,9
BPen	2,4160	2,4254	9,4
CPla	2,4023	2,4091	6,8
CPen	2,3779	2,3865	8,6

Détermination de la perte au feu : 0mg

Tableau de détermination de la matière organique

Station	Masse filtre + coupelle après dessiccation (g)	Masse filtre + coupelle après calcination (g)	Masse filtre + coupelle après calcination + perte au feu (g)	Masse de matière organique (mg)
CMG	2,4075	2,4066	2,4066	0,9
BPla	2,3942	2,3920	2,3920	2,2
BPen	2,4254	2,4235	2,4235	1,9
CPla	2,4091	2,4072	2,4072	1,9
CPen	2,3865	2,3846	2,3846	1,9

Tableau de détermination de la matière minérale

Station	Masse filtre + coupelle avant filtration (g)	Masse filtre + coupelle après calcination + perte au feu (g)	Masse de matière minérale (mg)
CMG	2,4048	2,4066	1,8
BPla	2,3863	2,3920	5,7
BPen	2,4160	2,4235	7,5
CPla	2,4023	2,4072	4,9
CPen	2,3779	2,3846	6,7

Tableau des concentrations des MES, matières organique et minérale (mg/L)

Station	Matière en suspension	Matière organique	Matière minérale
CMG	5,4	1,8	3,6
BPla	15,8	4,4	11,4
BPen	18,8	3,8	15,0
CPla	13,6	3,8	9,8
CPen	17,2	3,8	13,4

Tableau de pourcentages en matières organique et minérale dans les MES

Station	Pourcentage de matière organique	Pourcentage de matière minérale
CMG	33,3	66,7
BPla	27,8	72,2
BPen	20,2	79,8
CPla	27,9	72,1
CPen	22,1	77,9

Les quatre premiers tableaux sont des tableaux de mesures et de calculs bruts. Par contre, les deux derniers tableaux présentent les résultats traités et exploitables.

Considérons d'abord le tableau des concentrations. La colonne MES montre une première grande différence : les quatre valeurs des ruisseaux sont en moyenne trois fois plus importantes que celle de la Creuse. Cela peut s'expliquer par la présence du barrage des Chézelles, 500m plus en amont : en effet, le ralentissement des eaux de la Creuse dans le lac des Chézelles provoque le dépôt d'une partie des matières en suspension. Il est certainement possible qu'une première phase de dépôt se fasse dans le lac de Champsanglard. Ce dépôt n'est pas négligeable, car si à la sortie de Guéret, la Creuse a la même charge que les deux ruisseaux, cela voudrait dire que les deux tiers des matières en suspension se sont déposées dans les deux lacs en amont du Moulin de Guévigneau.

La deuxième différence que l'on observe, se situe sur les deux ruisseaux : la quantité de MES est toujours plus importante (de 20 et 26%) dans la pente que sur le plateau. Cela s'explique par le fait que le courant étant moins fort sur le plateau que sur les pentes, une partie des MES charriées sur la partie plateau a tendance à se déposer, mais le courant n'étant pas pour autant négligeable, ces MES roulent sur le fond. De ce fait, cette fraction échappe au prélèvement puisque celui-ci se fait dans l'eau vive (eau de surface). Par contre, dans la pente, le courant devient plus fort et surtout turbulent, si bien que cette matière roulante est remise en suspension et prise en compte lors du prélèvement d'eau de surface. Cette nuance de MES roulante est importante, car lorsque le courant va diminuer au printemps et en été, cela pourra aller jusqu'au dépôt de ces MES, ce que l'on constate d'ailleurs sur le fond des ruisseaux en été.

Le détail des MES est aussi très riche en enseignements. Pour cela, il faut analyser le tableau des pourcentages. Là encore, les résultats de la Creuse se singularisent de ceux des deux ruisseaux. En effet sur la Creuse, on a un rapport de 1/3 (matière organique) et de 2/3 (matière minérale), tandis que sur les deux ruisseaux, on a plutôt en moyenne et respectivement 1/4 et 3/4.

Sur les deux ruisseaux, la différence se fait encore suivant la pente et le plateau. En arrondissant, sur le plateau on a 30% de MO et 70% de MM, alors que sur la pente, on passe à 20% de MO et 80% de MM. Si on relie cette observation aux quantités de MES charriées, on peut en déduire que la fraction de MES roulante est plus riche en MM que la fraction « flottante ». Ce qui peut se comprendre en sachant que la densité des MM est plus importante que celle des MO.

Si maintenant, fort de cela, on revient aux pourcentages de la Creuse, la relative forte teneur en MO (33%), peut s'expliquer par une sédimentation des MES dans le lac des Chézelles qui, rappelons-le, ne se trouve qu'à 500m en amont. Cette fraction sédimentée étant plus concentrée en MM (densité plus importante), la partie restante semble s'enrichir en MO.

Si on résume les deux tableaux, on a tant sur les ruisseaux que sur le lac des Chézelles (au travers des résultats de la Creuse) une tendance à la sédimentation des MES, tant d'un point de vue quantitatif que d'un point de vue qualitatif.

2) Sur le lac

Les prélèvements d'eau sur le lac ont été effectués le mercredi 3 mars 2010.

MATIERE EN SUSPENSION DU LAC DU BOURG-D'HEM

3 MARS 2010

Surf : Surface

Prof : Profondeur

Tableau de filtration sous vide

Station	Volume filtré (mL)
1S Surf	500
1S Prof	500
2B Surf	500
2B Prof	500
3G Surf	500
3G Prof	500
4A Surf	500
4A Prof	500

Tableau de détermination des MES

Station	Masse filtre + coupelle avant filtration (g)	Masse filtre + coupelle après dessiccation (g)	Masse de matière en suspension (mg)
1S Surf	2,3852	2,3901	4,9
1S Prof	2,4012	2,4056	4,4
2B Surf	2,3661	2,3706	4,5
2B Prof	2,4204	2,4256	5,2
3G Surf	2,4145	2,4189	4,4
3G Prof	2,4103	2,4150	4,7
4A Surf	2,3750	2,3800	5,0
4A Prof	2,4311	2,4363	5,2

Détermination de la perte au feu : 0mg

Tableau de détermination de la matière organique

Station	Masse filtre + coupelle après dessiccation (g)	Masse filtre + coupelle après calcination (g)	Masse filtre + coupelle après calcination + perte au feu (g)	Masse de matière organique (mg)
1S Surf	2,3901	2,3888	2,3888	1,3
1S Prof	2,4056	2,4041	2,4041	1,5
2B Surf	2,3706	2,3691	2,3691	1,5
2B Prof	2,4256	2,4244	2,4244	1,2
3G Surf	2,4189	2,4178	2,4178	1,1
3G Prof	2,4150	2,4141	2,4141	0,9
4A Surf	2,3800	2,3779	2,3779	2,1
4A Prof	2,4363	2,4357	2,4357	0,6

Tableau de détermination de la matière minérale

Station	Masse filtre + coupelle avant filtration (g)	Masse filtre + coupelle après calcination + perte au feu (g)	Masse de matière minérale (mg)
1S Surf	2,3852	2,3888	3,6
1S Prof	2,4012	2,4041	2,9
2B Surf	2,3661	2,3691	3,0
2B Prof	2,4204	2,4244	4,0
3G Surf	2,4145	2,4178	3,3
3G Prof	2,4103	2,4141	3,8
4A Surf	2,3750	2,3779	2,9
4A Prof	2,4311	2,4357	4,6

Tableau des concentrations des MES, matières organique et minérale (mg/L)

Station	Matière en suspension	Matière organique	Matière minérale
1S Surf	9,8	2,6	7,2
1S Prof	8,8	3,0	5,8
2B Surf	9,0	3,0	6,0
2B Prof	10,4	2,4	8,0
3G Surf	8,8	2,2	6,6
3G Prof	9,4	1,8	7,6
4A Surf	10,0	4,2	5,8
4A Prof	10,4	1,2	9,2

Tableau de pourcentages en matières organique et minérale dans les MES

Station	Pourcentage de matière organique	Pourcentage de matière minérale
1S Surf	26,5	73,5
1S Prof	34,1	65,9
2B Surf	33,3	66,7
2B Prof	23,1	76,9
3G Surf	25,0	75,0
3G Prof	19,1	80,9
4A Surf	42,0	58,0
4A Prof	11,5	88,5

Il est difficile de comparer les résultats du lac avec ceux des cours d'eau, car il y a une semaine entre les deux séries de prélèvements et mesures (24 février sur les cours d'eau et 3 mars sur le lac). Et cela d'autant plus qu'entre les deux, il y a un cumul de précipitations de 37 mm, avec cependant les dernières 48h sans pluies, avant le travail sur le lac.

Le tableau des concentrations montre que les valeurs sont toutes très proches de 10 mg/L, c'est-à-dire des valeurs intermédiaires entre celles de la Creuse (5 mg/L) et celles des ruisseaux (15 à 18 mg/L).

Pour les stations 2, 3, et 4, les valeurs de MES de profondeur sont légèrement plus importantes que celles de surface. L'inversion des valeurs pour la station 1 peut correspondre à un turbinage qui a permis de remettre en suspension des MES déposés. Ce turbinage peut correspondre à celui évoqué à la station 2 pour la sursaturation en oxygène (supérieure à 200%). Les valeurs plus fortes en profondeur qu'en surface indiquent une sédimentation. Vis-à-vis de la situation météorologique des jours précédents, on peut penser que jusqu'à 48h avant les eaux étaient chargées en sédiments puis avec la sédimentation, les eaux de l'amont étaient de moins en moins chargées en sédiments. Le phénomène gagna les eaux de l'aval ensuite. La valeur de surface relativement élevée à la station 1 étant artificiellement due à un turbinage. On retrouve donc cette idée de sédimentation au fur et à mesure de l'avancement de la masse d'eau, sédimentation confirmée par les plus fortes valeurs de profondeur des stations 2, 3 et 4.

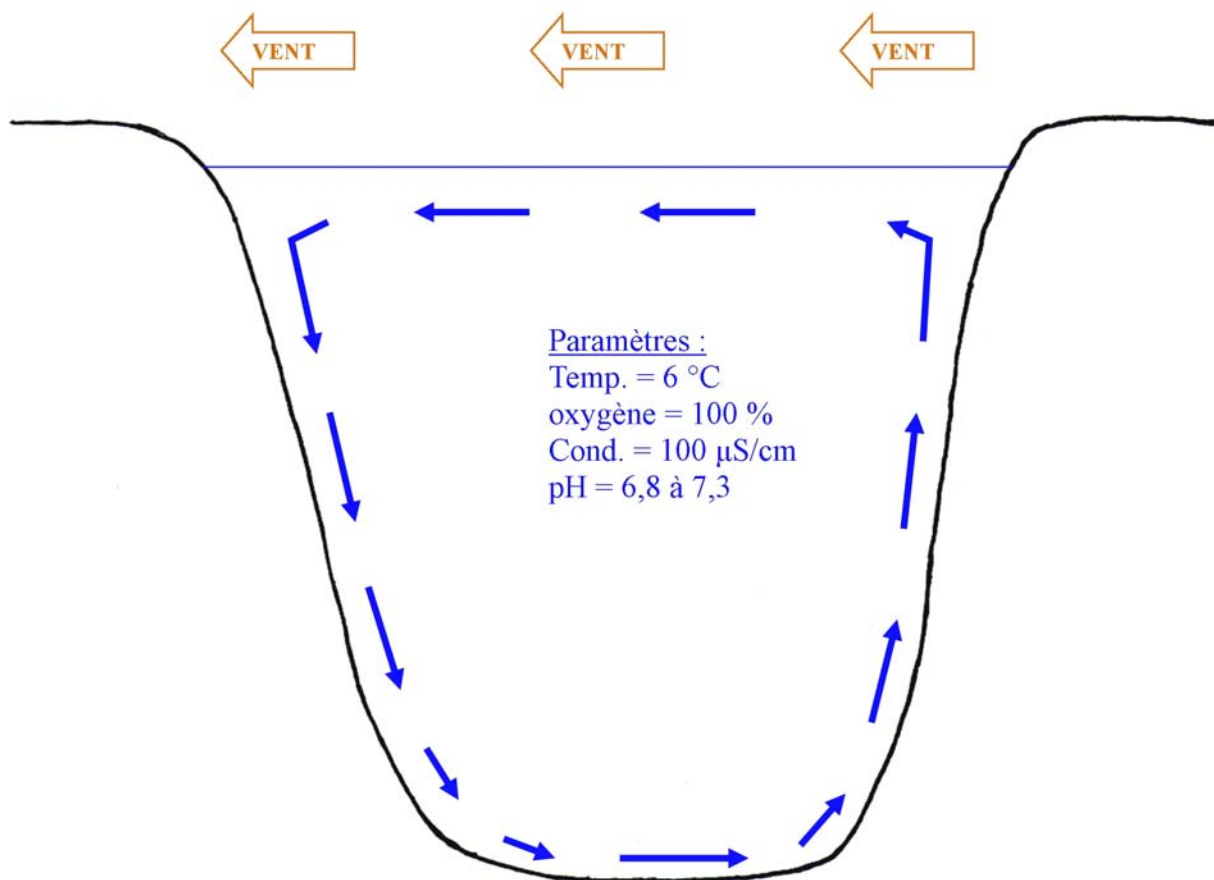
Si l'on considère le détail de ces MES, on constate une situation homogène pour les stations 2, 3 et 4 : les prélèvements de surface sont plus riches en matière organique que les prélèvements de profondeur qui eux à l'inverse sont plus riches en matière minérale. Cela s'explique par la densité plus importante des matières minérales qui les fait précipiter plus rapidement que les matières organiques. C'est un phénomène que l'on a déjà constaté sur les ruisseaux au niveau des matières roulantes. Il faut remarquer que la situation est inverse pour la première station : matières minérales plus importante en surface qu'en profondeur. Au niveau des MES, la station 1 présentait déjà une particularité par rapport aux trois autres. L'explication qui en a été donnée, c'est-à-dire un turbinage récent, permet aussi de comprendre ces proportions particulières de matières organiques et minérales. En effet, les particules remises en suspension par le turbinage sont par définition des particules qui avaient sédimenté. Et si elles ont sédimenté, c'est qu'elles sont plus riches en matière minérale plus dense que la matière organique. Donc, après un turbinage, les matières en suspension sont plus importantes et plus riches en matières minérales.

Ce qu'il faut retenir en résumé, c'est qu'il y a au niveau du lac, un phénomène de dépôt des matières en suspension. Phénomène que l'on a déjà suspecté au travers des valeurs de MES de la Creuse à la sortie du lac des Chézelles.

C) Résumé de la situation du lac du Bourg-d'Hem en hiver

En résumé de la campagne d'hiver, on peut dire que l'on a une situation normale et classique, c'est-à-dire une homogénéité des paramètres de l'amont à l'aval et de la surface au fond. L'eau étant brassée à la fois par l'arrivée de la Creuse dans le lac (amont-aval) et par le vent (surface-fond).

Etat du lac de Bourg-d'Hem en hiver (coupe verticale)



De plus, les sédiments charriés par les cours d'eau, en quantité normale pour notre région, se déposent pour partie au cours du séjour de l'eau dans le lac. La partie qui se dépose étant enrichie en matière minérale (densité plus importante), il en découle que la partie toujours en suspension à la sortie du barrage se trouve enrichie en matière organique.

III) Etat du lac du Bourg-d'Hem en été

A) Analyse des mesures de paramètre

1) Sur les cours d'eau

Les mesures ont été réalisées le dimanche 20 juin 2010.



CMG La Creuse au moulin de Guévigneau



BPla Le ruisseau de Besse plateau



BPe Le ruisseau de Besse pente



CPla Ruisseau de Combrand plateau



CPen Le ruisseau de Combrand pente

**TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES
DES COURS D'EAU DU LAC DU BOURG-D'HEM**

20 JUIN 2010

STATION	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	unité	Temp°C	µS/cm	Temp°C
CMG	9,40	94,7	14,1	7,11	14,0	87	14,0
BPla	8,45	85,8	14,2	6,79	14,2	102	14,3
BPen	10,23	102,7	14,1	7,35	13,9	90	14,0
CPla	9,92	98,8	13,5	7,10	13,3	112	13,5
CPen	10,74	102,6	12,0	7,40	11,9	118	12,0

La température est homogène sur la Creuse et le ruisseau de Besse (13,9 à 14,3°C). Elle est légèrement plus basse sur le ruisseau de Combrant (11,9 à 13,5°C). Cette légère différence pouvant s'expliquer par un parcours plus ombragé sur le ruisseau de Combrant que sur les autres. Il est à noter que sur le ruisseau de Besse, la partie plateau est plus éclairée que la

partie pente et l'on constate une baisse de 0,3°C entre le plateau et la pente. Ce qui tendrait à corroborer les plus faibles températures sur Combrant.

L'oxygénation des cours d'eau est bonne (86 à 103%), avec une augmentation de la quantité d'oxygène dans la pente par rapport au plateau sur les deux ruisseaux.

Le pH est légèrement basique partout sauf sur le ruisseau de Besse en plateau. L'explication pourra être celle donnée pour le lac.

Quant à la conductivité, elle est très variable (87 à 118 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Sur le ruisseau de Besse, la valeur de plateau est plus importante que celle de la pente, tandis que sur le ruisseau de Combrant, c'est le contraire. L'évolution sur le ruisseau de Besse peut s'expliquer par une dilution par des eaux venant d'un autre ruisseau. Celle de Combrant pouvant s'expliquer par un enrichissement de la minéralisation par dégradation de la calcite.

En résumé, on a une situation normale et bonne sur les cours d'eau, bonne oxygénation, température assez homogène et correspondant à celles de la saison, un pH autour de la neutralité (soit légèrement acide, soit légèrement basique) et une conductivité normale. Le tout étant propice à la vie aquatique.

2) Sur le lac

Les mesures ont été effectuées le mercredi 23 juin 2010.

En hiver, les stations ont été établies avec des points de repère sur les rives, ce qui a permis de se replacer pratiquement aux mêmes endroits en été. Cependant, on note des profondeurs différentes et de manière significative. Ceci s'explique par un niveau des eaux particulièrement bas en hiver (1m en dessous de la cote normale) et par un niveau des eaux plus élevé en été (presque 1m au dessus de la cote normale).



Départ pour une journée de mesures et prélèvements

Station 1S



Station 1S rive gauche

**TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES
DU LAC DU BOURG-D'HEM
STATION 1S**

Profondeur maximum : 4,50m

23 JUIN 2010, 8H15

PROFONDEUR (mètre)	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	Unité	Temp°C	µS/cm	Temp°C
0	10,02	97,6	12,6	7,19	12,5	88	12,6
1	7,43	73,0	12,8	6,61	12,6	87	12,6
2	7,48	72,3	12,9	6,50	12,6	88	12,7
3	7,76	77,9	12,9	6,41	12,6	88	12,7
4	7,67	74,8	13,0	6,40	12,7	88	12,8

La température est homogène sur toute la hauteur d'eau (0,4°C de différence au maximum suivant la sonde) avec toutefois une légère tendance à l'augmentation de la surface vers le fond.

L'oxygène est près de 100% en surface, mais descend au dessous de 80% dès 1m de profondeur et ce jusqu'au fond.

Le pH est légèrement basique en surface et légèrement acide sous 1m de profondeur et jusqu'au fond.

La conductivité est identique sur toute la hauteur d'eau : 88 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Station 2B



Station 2B rive gauche

TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES
DU LAC DU BOURG-D'HEM
STATION 2B

Profondeur maximum : 7,50m

23 JUIN 2010, 10H00

PROFONDEUR (mètre)	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	Unité	Temp°C	µS/cm	Temp°C
0	9,40	97,3	14,5	7,25	14,5	86	14,7
1	8,50	77,2	14,5	7,07	14,1	89	14,2
2	8,02	75,5	14,0	6,83	13,5	88	13,5
3	8,05	79,2	13,7	6,72	13,3	88	13,2
4	8,07	77,9	13,5	6,65	13,2	88	13,2
5	8,43	81,9	13,9	6,59	13,4	88	13,3
6	8,08	77,2	13,8	6,44	13,5	88	13,3
7	8,29	80,5	13,8	6,46	13,3	88	13,6

La température est plus élevée en surface, elle diminue jusqu'au fond avec un écart moyen de 1°C.

L'oxygène est près de 100% en surface et descend à 80% à partir d'1m et ce jusqu'au fond.

Le pH est légèrement basique en surface, il diminue progressivement pour passer à un pH légèrement acide dès 2m de profondeur.

La conductivité est très légèrement plus faible en surface que sur le restant de la colonne d'eau qui est homogène (88 µS/cm).

Station 3G



Station 3G rive droite

TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES
DU LAC DU BOURG-D'HEM
STATION 3G

Profondeur maximum : 9m

23 JUIN 2010, 12H15

PROFONDEUR (mètre)	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	Unité	Temp°C	µS/cm	Temp°C
0	10,20	102,3	15,4	7,19	15,2	88	15,2
1	8,05	85,2	15,9	6,90	15,6	89	15,4
2	8,39	81,1	14,7	6,80	14,4	88	14,2
3	7,82	80,1	14,6	6,64	14,4	88	14,2
4	7,89	81,4	14,9	6,56	14,5	88	14,1
5	8,11	83,0	14,5	6,45	14,3	88	13,9
6	8,34	83,2	14,5	6,32	14,1	88	13,9
7	8,29	82,3	14,4	6,41	14,0	88	13,8
8	8,32	77,5	14,1	6,39	13,7	88	13,7

La température est plus élevée en surface, elle diminue jusqu'au fond avec un écart moyen de 1,5°C.

L'oxygène est à 100% en surface et descend près de 80% sous 1m d'eau et jusqu'au fond.

Le pH est légèrement basique en surface et devient légèrement acide avec la profondeur (dès 1m).

La conductivité est la même de la surface au fond : 88 µS/cm.

Station 4A



Station 4A rive droite

TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES
DU LAC DU BOURG-D'HEM
STATION 4A

Profondeur maximum : 17m

23 JUIN 2010, 14H30

PROFONDEUR (mètre)	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	Unité	Temp°C	µS/cm	Temp°C
0	10,52	115,3	18,4	7,19	18,2	88	18,2
1	8,19	86,0	17,8	6,89	17,4	89	17,2
2	8,21	85,7	16,8	6,74	16,4	89	16,2
3	8,08	83,3	16,3	6,64	16,0	88	15,7
4	8,11	83,7	15,6	6,54	15,1	88	14,9
5	8,03	80,7	15,4	6,46	15,3	88	14,8
6	7,94	82,0	15,1	6,45	15,0	88	14,5
7	7,87	78,6	15,0	6,40	15,2	88	14,7
8	8,08	78,6	14,9	6,38	14,7	88	14,2
9	7,97	79,4	14,9	6,47	14,3	88	13,9
10	7,75	75,0	14,9	6,49	14,4	88	14,1
11	7,78	78,2	14,1	6,50	14,5	88	13,7
12	7,41	73,0	14,1	6,52	14,3	88	13,9
13	7,79	79,0	14,2	6,56	14,1	88	13,8
14	7,73	76,2	14,3	6,60	13,8	88	13,7
15	7,88	77,7	14,0	6,57	13,9	88	13,7
16	7,75	79,2	14,7	6,65	14,4	88	14,2

La température est plus élevée en surface, elle diminue jusqu'au fond avec un écart de près de 4°C.

L'oxygène est en sursaturation en surface (115%), et descend à 85% dès 1m et descend progressivement en profondeur jusqu'à moins de 80%.

Le pH est légèrement basique en surface et devient légèrement acide dès 1m et jusqu'au fond. La conductivité est la même de la surface au fond : 88 μ S/cm.

Mesure de la transparence.

Les mesures de transparence des quatre stations sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU DE MESURE DE TRANSPARENCE (en cm)
DISQUE DE SECCHI
LAC DU BOURG-D'HEM

23 JUIN 2010

OBSERVATIONS STATIONS	CIEL	PROFONDEUR A LA DESCENTE	PROFONDEUR A LA MONTEE	PROFONDEUR DE TRANSPARENCE
1S	BLEU	0,80m	0,70m	0,75m
2B	BLEU	0,85m	0,75m	0,80m
3G	BLEU	0,95m	0,85m	0,90m
4A	BLEU	0,90m	0,80m	0,85m

Le tableau de mesure de la transparence est intéressant dans la mesure où il indique la profondeur de pénétration de la lumière. La profondeur de transparence est partout inférieure à 1m, la moyenne des quatre stations est de 0,83m. Ce qui correspond à une zone de lumière efficace d'environ 1m.

Résumé de la situation du lac

Si on analyse la situation sur les quatre stations, on observe une situation pratiquement identique pour trois paramètres :

- l'oxygène est à 100% ou plus en surface et tombe ensuite à 80% de 1m de profondeur jusqu'au fond.
- le pH est légèrement basique en surface puis légèrement acide dès 1m de profondeur et jusqu'au fond.
- la conductivité est la même de la surface au fond : 88 μ S/cm.

La température est le seul paramètre qui se comporte différemment d'une station à l'autre. La température est la même sur toute la hauteur d'eau à la station 1S (12,8°C). Par contre, elle varie dans le même sens de la surface au fond sur les trois autres stations : température plus élevée en surface et elle diminue avec la profondeur. La différence de température augmente de la station 2B à la station 4A : 1°C à la station 2B ; 1,5°C à la station 3G et 3,5°C à la station 4A.

L'explication de ces deux constats réside, pour l'un dans la saison et pour l'autre, par rapport à l'heure de mesure du matin à l'après-midi.

Nous allons voir d'abord ce deuxième aspect, car le plus simple. Il faut d'abord remarquer que le fond présente une plus faible variation de température (1,5°C) de la station 1S à la station 4A. Tandis que la surface présente une variation plus forte (5,5°C) de la station 1S à la station 4A. Cela se comprend facilement si l'on considère les heures de mesures aux différentes stations : 8h15 à la station 1S, 10h00 à la station 2B, 12h15 à la station 3G et 14h30 à la station 4A. Nous sommes au mois de juin, à 8h00 le soleil émerge à peine au dessus de la colline du Bourg-d'Hem, la station 1S est encore à l'ombre, la température est homogène de la surface au fond correspondant à la température nocturne. A la station 2B, le soleil chauffe la surface depuis 1h30, à la station 3G depuis 4h00 et à la station 4A depuis 6h00. Le 23 juin, le soleil est à son solstice d'été, l'échauffement de la surface de l'eau est donc rapide.

Pour le premier constat (répartition identique des valeurs de paramètres aux quatre stations), l'explication réside donc dans la saison, à savoir fin du printemps début d'été. Il faut remarquer d'abord que les paramètres oxygène et pH ont la même répartition : de 0 à moins de 1m, l'oxygène est à saturation (100%) voire plus et le pH est légèrement basique, tandis que de 1m de profondeur et jusqu'au fond, l'oxygène est à 80% et le pH légèrement acide. Dès le printemps avec le réchauffement de l'eau en surface, des algues microscopiques se multiplient. Ces algues microscopiques forment ce que l'on appelle le phytoplancton (phyto : plante ; plancton : qui erre dans l'eau). Ces algues possèdent de la chlorophylle et donc elles réalisent la photosynthèse. La photosynthèse comme son nom l'indique est la capacité à fabriquer (synthèse) de la matière organique avec comme source d'énergie, la lumière (photo). La photosynthèse s'accompagne d'un dégagement d'oxygène. De plus, en milieu aquatique, la photosynthèse s'accompagne d'une augmentation de pH. La lumière étant absorbée à une certaine profondeur, la photosynthèse ne peut avoir lieu que dans cette couche de surface. Ce qui explique qu'en surface, le taux d'oxygène soit à saturation (100%) et que le pH soit légèrement basique. Par contre en profondeur (dès 1m), il n'y a pas de photosynthèse et c'est la respiration des êtres vivants qui s'impose (bactéries, plancton et poissons) ce qui se traduit par une baisse de la quantité d'oxygène. C'est la transparence de l'eau qui fait l'épaisseur de la zone de surface sursaturée en oxygène et à pH basique. En effet la photosynthèse dépend de la lumière, et c'est la transparence de l'eau qui fait la pénétration de la lumière en profondeur. On a vu que la transparence moyenne est de 0,83m, ce qui fait une pénétration de la lumière efficace pour la photosynthèse sur 1m environ. Cette épaisseur d'1m correspond à la zone saturée en oxygène et à pH basique. Il y a là une belle concordance des paramètres.

Ce qui semble énigmatique pour l'instant, est le pH légèrement acide dès 1m de profondeur. En effet, il ne peut pas s'expliquer par une fermentation bactérienne car le taux d'oxygène est encore assez élevé (80%) et de plus, il devrait être légèrement basique au moins aux stations 3G et 4A, à cause de la roche (gabbro-diorite).

La conductivité, quant à elle, ne semble pas affectée par la photosynthèse, puisque tout le lac de la station 1S à la station 4A et de la surface au fond présente une valeur de 88 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Il est à remarquer que trois jours plus tôt, la Creuse au Moulin de Guévigneau présentait une conductivité de 87 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Il semble donc que la Creuse a une influence chimique importante sur les eaux du lac

La stratification des eaux que nous avons constatée pour le lac du Bourg-d'Hem est connue depuis longtemps et décrite abondamment dans la littérature limnologique. Cependant par rapport à une situation classique, le lac du Bourg-d'Hem présente une particularité. En effet, normalement la zone de profondeur contient beaucoup moins d'oxygène (parfois jusqu'à 0% au fond) et présente une température bien plus basse que dans la zone de lumière. Ainsi, la stratification est beaucoup plus nette et il existe entre la couche de surface et la couche de

profondeur, une zone de transition rapide de la température et de l'oxygène, cette zone est appelée la thermocline ou mésolimnion. La zone supérieure est appelée l'épilimnion, la zone inférieure, l'hypolimnion. Cette stratification se maintient même s'il y a du vent, car les mouvements d'eau de l'épilimnion ne sont pas transmis à l'hypolimnion à cause de la différence de densité de l'eau, elle-même due à la différence de température. Dans le cas du lac du Bourg-d'Hem, la thermocline n'est pas bien marquée et l'hypolimnion n'est pas très contrasté avec l'épilimnion. Cela peut s'expliquer par le fait que le mois de juin a été très pluvieux donc peu lumineux, ce qui expliquerait la faible température de l'épilimnion le matin (12,5°C). On peut donc penser que la stratification ne s'est établie qu'en juillet avec le retour de conditions météorologiques estivales.

B) Analyse des mesures de MES

1) Sur les cours d'eau

Les prélèvements ont été effectués le dimanche 20 juin 2010, les résultats sont regroupés dans les tableaux ci-dessous.

MATIERE EN SUSPENSION **COURS D'EAU DU LAC DU BOURG-D'HEM**

20 JUIN 2010

Tableau de filtration sous vide

Station	Volume filtré (mL)
CMG	400
BPla	500
BPen	250
CPla	400
CPen	250

Tableau de détermination des MES

Station	Masse filtre + coupelle avant filtration (g)	Masse filtre + coupelle après dessiccation (g)	Masse de matière en suspension (mg)
CMG	2,3750	2,3799	4,9
BPla	2,3180	2,3265	8,5
BPen	2,3912	2,3972	6,0
CPla	2,4118	2,4194	7,6
CPen	2,3514	2,3598	8,4

Détermination de la perte au feu : 0mg

Tableau de détermination de la matière organique

Station	Masse filtre + coupelle après dessiccation (g)	Masse filtre + coupelle après calcination (g)	Masse filtre + coupelle après calcination + perte au feu (g)	Masse de matière organique (mg)
CMG	2,3799	2,3794	2,3794	0,5
BPla	2,3265	2,3231	2,3231	3,4
BPen	2,3972	2,3963	2,3963	0,9
CPla	2,4194	2,4161	2,4161	3,3
CPen	2,3598	2,3571	2,3571	2,7

Tableau de détermination de la matière minérale

Station	Masse filtre + coupelle avant filtration (g)	Masse filtre + coupelle après calcination + perte au feu (g)	Masse de matière minérale (mg)
CMG	2,3750	2,3794	4,4
BPla	2,3180	2,3231	5,1
BPen	2,3912	2,3963	5,1
CPla	2,4118	2,4161	4,3
CPen	2,3514	2,3571	5,7

Tableau des concentrations des MES, matières organique et minérale (mg/L)

Station	Matière en suspension	Matière organique	Matière minérale
CMG	12,25	1,25	11,00
BPla	17,0	6,8	10,2
BPen	24,0	3,6	20,4
CPla	19,0	8,25	10,75
CPen	33,6	10,8	22,8

Tableau de pourcentages en matières organique et minérale dans les MES

Station	Pourcentage de matière organique	Pourcentage de matière minérale
CMG	10,2	89,8
BPla	40,0	60,0
BPen	15,0	85,0
CPla	43,4	56,6
CPen	32,1	67,9

Les matières en suspension sont toutes plus importantes en été qu'en hiver (pratiquement le double sur le ruisseau de Combrant dans la pente et plus du double sur la Creuse).

Mis à part cela, les observations sont les mêmes qu'au printemps : moins de matières en suspension sur la Creuse que sur les ruisseaux (12,25mg/L sur la Creuse et 17,0mg/L, plus faible valeur obtenue sur les ruisseaux).

On remarque encore une hausse des valeurs de pente par rapport aux valeurs de plateau : 41% et 77% d'augmentation respectivement sur les ruisseaux de Besse et de Combrant. Ces valeurs indiquent une proportion importante de MES roulantes qui ne tarderont pas à se déposer dès que le débit faiblira.

A titre de comparaison, les valeurs de MES sur un autre ruisseau (ruisseau du Moulin Peyrot, commune de Lafat), sur quatre prélèvements réalisés le même jour, donnent des valeurs plus faibles (de 7,0 à 12,4mg/L). Même si ces valeurs sont élevées, elles correspondent à la réalité de nos cours d'eau actuels.

Si maintenant, on s'intéresse au détail des matières en suspension, en matière organique et matière minérale, on retrouve les caractéristiques dégagées sur les valeurs d'hiver, pour les ruisseaux. En effet, la proportion de matière minérale est plus importante sur les pentes que sur les plateaux. Par contre, sur la Creuse, la proportion de matière minérale est plus importante que sur les ruisseaux en atteignant 90%. Cette forte valeur peut s'expliquer par un turbinage des eaux du lac des Chézelles au moment du prélèvement. Ces eaux de soutirage étant des eaux de fond, sont enrichies en matières minérales par sédimentation différentielle. La remise en suspension de matière minérale sédimentée sur le tronçon de Creuse entre le barrage des Chézelles et le point de prélèvement, lors du turbinage, peut aussi être évoquée pour expliquer ce fort pourcentage.

2) Sur le lac

Les prélèvements ont été effectués le mercredi 23 juin 2010, les résultats sont regroupés dans les tableaux ci-dessous.

MATIERE EN SUSPENSION DU LAC DU BOURG-D'HEM

23 JUIN 2010

Surf : Surface

Prof : Profondeur

Tableau de filtration sous vide

Station	Volume filtré (mL)
1S Surf	500
1S Prof	500
2B Surf	500
2B Prof	500
3G Surf	500
3G Prof	400
4A Surf	500
4A Prof	400

Tableau de détermination des MES

Station	Masse filtre + coupelle avant filtration (g)	Masse filtre + coupelle après dessiccation (g)	Masse de matière en suspension (mg)
1S Surf	2,3920	2,3958	3,8
1S Prof	2,4042	2,4085	4,3
2B Surf	2,3873	2,3909	3,6
2B Prof	2,4067	2,4121	5,4
3G Surf	2,3260	2,3297	3,7
3G Prof	2,4166	2,4203	3,7
4A Surf	2,3727	2,3762	3,5
4A Prof	2,3770	2,3805	3,5

Détermination de la perte au feu : 0mg

Tableau de détermination de la matière organique

Station	Masse filtre + coupelle après dessiccation (g)	Masse filtre + coupelle après calcination (g)	Masse filtre + coupelle après calcination + perte au feu (g)	Masse de matière organique (mg)
1S Surf	2,3958	2,3936	2,3936	2,2
1S Prof	2,4085	2,4069	2,4069	1,6
2B Surf	2,3909	2,3881	2,3881	2,8
2B Prof	2,4121	2,4101	2,4101	2,0
3G Surf	2,3297	2,3279	2,3279	1,8
3G Prof	2,4203	2,4183	2,4183	2,0
4A Surf	2,3762	2,3737	2,3737	2,5
4A Prof	2,3805	2,3788	2,3788	1,7

Tableau de détermination de la matière minérale

Station	Masse filtre + coupelle avant filtration (g)	Masse filtre + coupelle après calcination + perte au feu (g)	Masse de matière minérale (mg)
1S Surf	2,3920	2,3936	1,6
1S Prof	2,4042	2,4069	2,7
2B Surf	2,3873	2,3881	0,8
2B Prof	2,4067	2,4101	3,4
3G Surf	2,3260	2,3279	1,9
3G Prof	2,4166	2,4183	1,7
4A Surf	2,3727	2,3737	1,0
4A Prof	2,3770	2,3788	1,8

Tableau des concentrations des MES, matières organique et minérale (mg/L)

Station	Matière en suspension	Matière organique	Matière minérale
1S Surf	7,6	4,4	3,2
1S Prof	8,6	3,2	5,4
2B Surf	7,2	5,6	1,6
2B Prof	10,8	4,0	6,8
3G Surf	7,4	3,6	3,8
3G Prof	9,25	5,0	4,25
4A Surf	7,0	5,0	2,0
4A Prof	8,75	4,25	4,5

Tableau de pourcentages en matières organique et minérale dans les MES

Station	Pourcentage de matière organique	Pourcentage de matière minérale
1S Surf	57,9	42,1
1S Prof	37,2	62,8
2B Surf	77,8	22,2
2B Prof	37,0	63,0
3G Surf	48,6	51,4
3G Prof	54,1	45,9
4A Surf	71,4	28,6
4A Prof	48,6	51,4

Toutes les valeurs de MES sont inférieures à celles obtenues sur les cours d'eau, on retrouve donc cette idée de sédimentation des eaux lorsqu'elles arrivent dans le lac. Cette idée se retrouve dans le fait que toutes les valeurs de profondeur sont plus importantes que celles de surface.

Le détail des matières organique et minérale montre des pourcentages de matière minérale plus importants en profondeur qu'en surface (sauf pour la station 3G), ce qui démontre là encore une sédimentation différentielle des MES au profit de la matière minérale en raison de sa plus forte densité.

Si l'on compare maintenant ces pourcentages d'été avec ceux de l'hiver, il apparaît globalement sur toutes les stations en surface et en profondeur une augmentation de la matière organique aux dépens de la matière minérale. Cela peut s'expliquer par les micro-organismes planctoniques présents pendant la période estivale (phytoplancton en surface et nanoplancton en profondeur). Ces êtres vivants contaminent les MES en provenance des cours d'eau. Il serait certainement intéressant de faire une étude plus précise visant à évaluer la part planctonique et différencier la part apport des cours d'eau au niveau des MES du lac.

C) Résumé de la situation du lac du Bourg-d'Hem en été

Le lac du Bourg-d'Hem suit le schéma classique d'un lac en été avec cependant une stratification à peine installée à cause d'une situation météorologique très pluvieuse, pour les quatre semaines qui ont précédé les mesures (130 mm de précipitations, 17 jours de pluie et 15,6°C de température moyenne).

Les matières en suspension sur les cours d'eau sont significativement plus importantes qu'en hiver, mais pour autant cela correspond à ce que l'on observe ailleurs et donc correspond à la situation actuelle de nos cours d'eau.

Au niveau du lac, on retrouve le même phénomène qu'en hiver, c'est-à-dire une sédimentation des matières en suspension, avec cependant un enrichissement en matière organique due au développement des micro-organismes dans l'eau avec l'augmentation de la température. Ces micro-organismes se répartissent essentiellement en phytoplancton photosynthétique en surface et bactéries en profondeur.

IV) En attendant Godot

Une fois établies les situations d'hiver et d'été, nous étions prêts à intervenir rapidement sur le terrain dès l'apparition d'un bloom de cyanobactéries afin d'essayer de comprendre les conditions d'un tel développement. Or, il n'y a eu aucun bloom sur la période de l'été. Cette situation d'attente crée une certaine fébrilité qui pousse à l'action, mais l'objet de cette action étant absent, nous sommes contraint à l'inaction avec un sentiment d'impuissance. D'autre part, certaines questions restent en suspens concernant la situation d'été, ce qui nous a conduit à décider une campagne supplémentaire de mesures plus ponctuelles pour y répondre. Les résultats de cette nouvelle campagne de mesures n'a répondu que partiellement et a surtout posé d'autres questions, ce qui a conduit à décider une autre campagne de mesures.

A) Première nouvelle campagne de mesure en été

L'idée était de vérifier l'établissement d'une stratification thermique après une période de temps estival. Les mesures ont été faites le mardi 13 juillet 2010. Entre le 23 juin, jour des prélèvements et mesures pour l'été, et le 12 juillet, il n'y a eu que 5 jours de pluie sur 19, 25 mm de précipitations et une température moyenne de 21,7°C. On peut donc penser que les conditions sont réunies pour que la stratification thermique s'établisse.

Pour ces mesures, il a été décidé de ne les faire que sur deux stations (la 2B et la 3G) et de faire des mesures sur la Creuse juste avant son entrée dans le lac, c'est-à-dire en aval du pont de Guévigneau.

1) Analyse des mesures de paramètre

a) Sur la Creuse



La Creuse en aval du Pont de Guévigneau

Les mesures sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES DES COURS D'EAU DU LAC DU BOURG-D'HEM

13 juillet 2010

STATION	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	unité	Temp°C	μS/cm	Temp°C
CMG	7,12	83,4	22,3	6,99	22,2	95	22,2

La température est de 22,2°C, la quantité d'oxygène est légèrement supérieure à 80%, le pH est à la neutralité et la conductivité est de 95 μS/cm.

Le pH et l'oxygène ont des valeurs correctes qui permettent le développement d'une vie aquatique normale. Seule la température relativement élevée peut être un facteur limitant pour certaines espèces.

b) Sur le lac

Les mesures sont regroupées dans deux tableaux.

TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES **DU LAC DU BOURG-D'HEM** **STATION 2B**

13 juillet 2010, 11H30

Profondeur maximum : 7,50m

PROFONDEUR (mètre)	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	unité	Temp°C	µS/cm	Temp°C
0	13,35	164,5	25,2	9,95	24,9	104	25,0
1	9,85	127,8	24,5	9,83	24,3	103	24,4
2	7,62	88,1	23,6	8,90	23,4	94	23,5
3	6,00	72,4	23,1	8,20	22,8	95	22,8
4	5,90	70,1	22,9	7,79	22,6	95	22,6
5	5,45	68,0	22,7	7,45	22,4	96	22,4
6	5,21	64,9	22,6	7,26	22,3	96	22,4
7	5,57	63,3	22,4	7,14	22,1	96	22,2

La température de surface est de 25°C, elle décroît avec la profondeur pour atteindre 22,2°C sur le fond.

L'oxygène est en sursaturation en surface et à 1m de profondeur, puis dès 2m, elle descend à 90% et ensuite continue de baisser avec la profondeur jusqu'à 63% sur le fond.

Le pH est élevé en surface et à 1m de profondeur : 9,90 en moyenne, il descend d'une unité à 2m (8,90), puis régulièrement jusqu'au fond pour atteindre la neutralité.

La conductivité présente, quant à elle, une répartition plus tranchée : la même valeur en surface et à 1m (104 µS/cm), puis de 2 m jusqu'au fond, quasiment la même valeur (95 µS/cm) en moyenne.

La stratification est ici plus nette qu'au mois de juin. La couche de surface est beaucoup plus sursaturée en oxygène, tandis que la couche de profondeur est plus sousaturée en oxygène. Il en est de même pour le pH.

La conductivité est quant à elle beaucoup plus marquée par la limite entre les deux strates.

Sur la base de ces trois paramètres, la couche de surface trouve sa limite entre 1 et 2 m, disons à 1,50 m. Par contre, la température ne trouve pas à ce niveau là une limite nette. La stratification s'établit donc d'après la composition chimique plutôt que par la température, dans ce cas, on parle de chimiocline (prononcer kimiocline) au lieu de thermocline.

Cette stratification s'explique par une plus grande intensité des phénomènes biologiques qu'au mois de juin : photosynthèse plus importante en surface (sursaturation en oxygène et

pH proche de 10) et respiration bactérienne plus intense en profondeur (60% d'oxygène au lieu de 80).

TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES
DU LAC DU BOURG-D'HEM
STATION 3G

13 juillet 2010, 14H00

Profondeur maximum : 10m

PROFONDEUR (mètre)	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	unité	Temp°C	µS/cm	Temp°C
0	14,85	186,4	25,6	10,12	25,4	107	25,5
1	11,49	136,2	25,1	9,96	24,9	105	25,0
2	6,29	74,9	23,7	8,52	23,6	92	23,7
3	5,74	63,6	23,2	7,92	22,9	94	23,0
4	5,33	69,7	23,1	7,66	22,9	95	22,8
5	5,25	69,9	22,9	7,47	22,7	95	22,7
6	5,84	64,4	22,7	7,32	22,4	95	22,6
7	5,40	72,6	23,1	7,14	22,8	96	22,6
8	5,55	67,5	22,8	7,03	22,7	96	22,4
9	5,20	65,1	22,3	6,97	22,1	97	22,3

La température est de 25,5°C en surface, puis descend régulièrement jusqu'à 22,2°C au fond. L'oxygène est en sursaturation (150% en moyenne) en surface et à 1m de profondeur, puis dès 2 m le pourcentage tombe à 75% et ensuite descend jusqu'à 65% au fond.

Le pH est à 10,0 en surface et à 1m de profondeur, à 2 m il a déjà perdu 1,5 unité puis décroît lentement avec la profondeur pour atteindre la neutralité au fond.

La conductivité est à 106 µS/cm en surface et sous 1m d'eau, puis la valeur chute à 92 à 2 m et augmente régulièrement pour atteindre 97 sur le fond.

On a donc la même stratification qu'à la station 2, une couche de surface sursaturée en oxygène et élevée en pH (valeurs caractéristiques d'une photosynthèse active), présentant aussi une température élevée (25,5°C) et une conductivité assez forte (106 µS/cm).

La couche inférieure, tout en étant bien oxygénée, n'est pas saturée (75 à 65%), le pH basique dans la partie supérieure, neutre au fond. Une température qui passe de 24°C (partie supérieure) à 22°C (fond). Une conductivité presque homogène de 92 à 97 µS/cm

Il est intéressant de noter que dans la couche supérieure, les valeurs d'oxygène et de pH sont plus importantes qu'à la station 2B, cela est à mettre en rapport avec l'intensité de la

photosynthèse au cours de la journée (station 2B : 11H30 ; station 3G : 14H00). De plus, la conductivité est aussi légèrement plus importante dans la station 3G (106 $\mu\text{S}/\text{cm}$) que dans la station 2B (104 $\mu\text{S}/\text{cm}$), est-ce assez significatif pour relier cette légère augmentation à l'intensité croissante de la photosynthèse ?

TABLEAU DE MESURE DE TRANSPARENCE (en cm)
DISQUE DE SECCHI
LAC DU BOURG-D'HEM

13 juillet 2010

OBSERVATIONS STATIONS	CIEL	PROFONDEUR A LA DESCENTE	PROFONDEUR A LA MONTEE	PROFONDEUR DE TRANSPARENCE
2B	Soleil et nuages	60	50	55
3G	Soleil et nuages	60	50	55

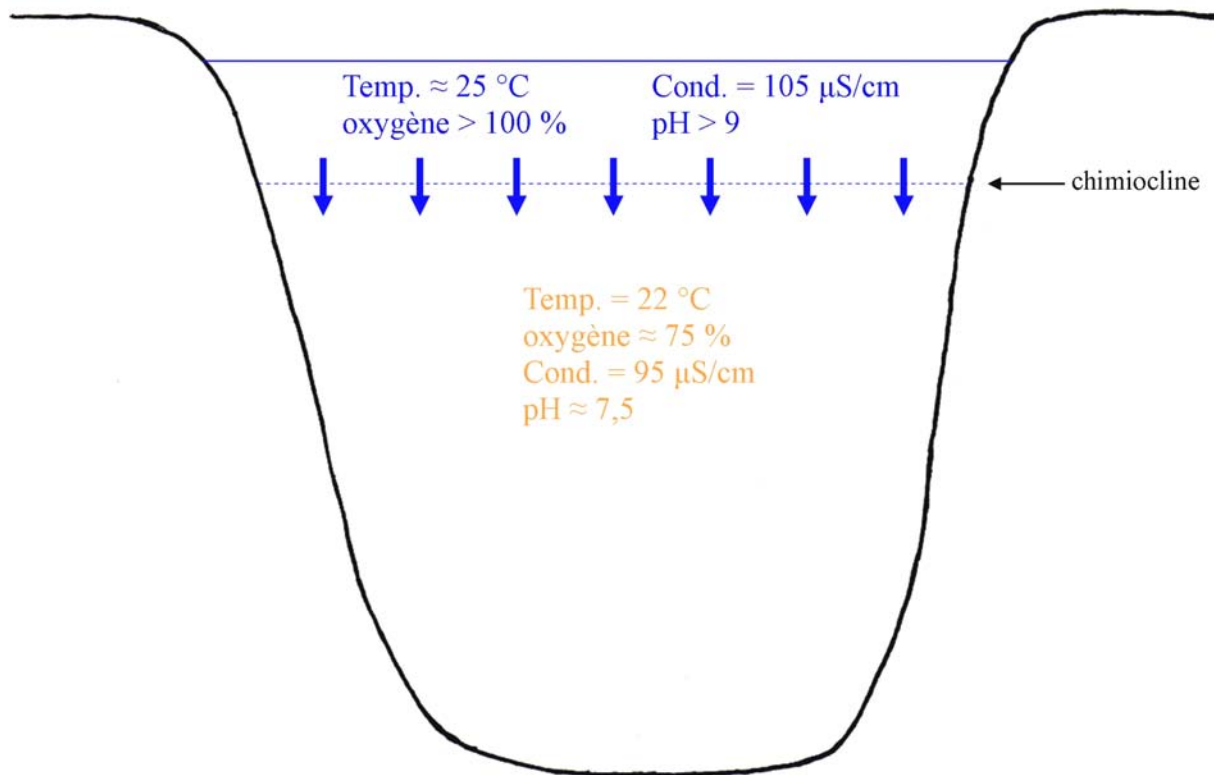
La transparence est homogène et faible : 55cm aux deux stations. Cette baisse de la transparence est difficile à interpréter, car il n'a pas été pratiqué de prélèvement d'eau afin de mesurer les MES. On peut cependant remarquer que dans les deux jours qui ont précédé, il y a eu un cumul de précipitations de 10 mm. Cela a-t-il été suffisant pour remobiliser des sédiments des cours d'eau, qui en arrivant dans le lac, ont opacifié son eau ? Toujours est-il qu'avec une telle transparence, la lumière ne peut aller au-delà d'1m de profondeur.

2) Résumé de la situation du lac à la mi-juillet

En constatant que les deux stations donnent la même situation et en simplifiant très légèrement les valeurs, on peut résumer la structure des eaux du lac comme suit :

- une couche de surface, correspondant à la zone de pénétration de la lumière (zone euphotique). Dans cette couche, le phytoplancton réalise la photosynthèse, ce qui explique la forte oxygénation (sursaturation) et le pH très basique. La conductivité est homogène et relativement importante. La température est elle aussi relativement élevée.
- une couche profonde plus importante en épaisseur qui n'est pas atteinte par la lumière (zone aphotique), se distingue par une quantité d'oxygène plus faible, mais encore importante, un pH légèrement basique à neutre, une conductivité homogène et plus faible qu'en surface ainsi qu'une température légèrement plus basse. C'est la respiration bactérienne et animale qui domine comme phénomène biologique dans cette couche.
- la limite entre les deux couches peut être située entre 1 et 2 m de profondeur, elle marque beaucoup plus une limite de différence chimique que de température, on parle donc d'une chimiocline au lieu d'une thermocline. (voir schéma page suivante)

Etat du lac de Bourg-d'Hem en été (coupe verticale)



Remarques complémentaires :

D'abord, cette campagne supplémentaire de mesures a bien répondu à la question qui se posait à l'issue de celle d'été (23 juin) : ce sont bien les mauvaises conditions météorologiques du mois de juin qui n'ont pas permis l'établissement d'une stratification. Le retour des conditions estivales normales à la fin juin et début juillet a permis d'établir cette stratification.

Concernant la zone aphotique, si l'on compare les valeurs des paramètres avec celles de la Creuse au pont de Guévigneau, il apparaît que :

- la température de fond des deux stations du lac ($22,2^{\circ}\text{C}$) correspond exactement à la température de la Creuse ($22,2^{\circ}\text{C}$).
- le pH du fond des deux stations (7,14 et 6,97) sont très proches de celui de la Creuse (6,99).
- la valeur moyenne de conductivité des deux stations ($95\text{ }\mu\text{S/cm}$), correspond exactement à la conductivité de la Creuse ($95\text{ }\mu\text{S/cm}$).

Il résulte de ces correspondances fortes que l'on peut penser que la Creuse passe en profondeur du lac, elle conserve sa conductivité, son pH neutre est influencé dans la partie supérieure par le pH basique dû à la photosynthèse. Il en est de même pour la température, la couche de surface réchauffant la partie supérieure de la couche profonde. On peut dire qu'il y a un gradient de pH et de température entre les valeurs de surface (conditionnées par la lumière et la photosynthèse) et les valeurs de fond caractéristiques de la Creuse.

Il reste un paramètre qui présente une différence entre la Creuse et le fond du lac, c'est l'oxygène (20% d'écart). Cela peut s'expliquer au niveau de la Creuse par une oxygénation par brassage physique de l'eau. Lorsqu'elle s'enfonce dans le lac, d'une part elle perd ce brassage (perte du contact avec l'atmosphère) et de plus, les phénomènes de respiration consomment de l'oxygène. La question qui se pose est : pourquoi y aurait-il une séparation aussi nette des eaux alors que l'on pourrait penser à un mélange des eaux de la Creuse dans l'eau du lac comme cela a lieu en hiver. La réponse se trouve dans la différence de température des eaux de surface (25°C) et la température de la Creuse (22°C). La température modifie la densité de l'eau, à 22°C l'eau est plus dense qu'à 25°C. Donc lorsque les eaux de la Creuse arrivent dans le lac, elles butent sur la couche de surface chaude et légère et donc s'enfoncent sous cette couche sans pouvoir s'y mélanger.

L'autre remarque concerne la vie aquatique : comme pour la Creuse les principaux paramètres ont des valeurs tout à fait compatibles avec une vie aquatique normale. Le seul paramètre qui peut jouer le rôle de facteur limitant est celui de la température. En effet, les valeurs sont de 22°C dans la Creuse et de 22 à 25°C dans le lac. A ces valeurs, ce paramètre peut être limitant pour certains poissons et même létal pour d'autres. Par exemple aucun salmonidé ne peut survivre entre le barrage des Chézelles (Creuse) et le lac du Bourg-d'Hem. Des alevinages ou des lâchers de truites juvéniles ou adultes au printemps n'ont aucun avenir dans cet environnement, à cause de la température trop élevée en été.

B) Deuxième nouvelle campagne de mesure en été

Le samedi qui a suivi cette première nouvelle campagne de mesures, je suis allé me baigner au lac du Bourg-d'Hem. L'eau y était suffisamment chaude pour pouvoir y entrer très facilement. Après quelques mouvements de brasse, je reprends pied et là je ressens du froid au niveau de mes jambes et de mes pieds. La différence de température semblait si importante que j'en déduisis qu'une thermocline était installée à cet endroit. Ayant bien en tête les résultats et conclusions de la dernière campagne de mesures, j'ai eu l'idée que si la Creuse passait au fond et en quelque sorte empêchait l'établissement d'une thermocline, cela n'était peut être pas le cas sur les côtés qui loin de l'influence de la Creuse pouvaient se comporter comme les eaux d'un lac classique. Cette interrogation motiva une nouvelle campagne de mesure qui fut décidée pour le mardi suivant (20 juillet).

Le protocole consistait à reprendre des mesures sur la Creuse au pont de Guévigneau, puis ensuite d'aller sur le lac et de faire des mesures sur une seule station, la plus proche de la zone de baignade, c'est-à-dire la station 2B. Les mesures seraient prises comme d'habitude donc à mi distance entre les deux rives, mais en plus une série de mesures serait faite sur chaque rive à une distance telle que l'on ait 4 m de profondeur.

1) Analyse des mesures de paramètre

a) Sur la Creuse

Les mesures sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

**TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES
DES COURS D'EAU DU LAC DU BOURG-D'HEM**

20 juillet 2010, 9H30

STATION	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	Unité	Temp°C	µS/cm	Temp°C
CMG	7,43	85,6	21,1	7,05	20,9	98	21,0

La température est de 21,0°C, donc encore relativement élevée.

L'oxygène est à 86%, donc l'eau est bien oxygénée. Le pH est à la neutralité. La conductivité est à 98 µS/cm.

On remarque très peu de différence par rapport aux mesures faites une semaine plus tôt au même endroit. Le seul paramètre qui semble avoir changé de manière significative en fonction de sa robustesse est la conductivité. Nous suivrons particulièrement ce paramètre dans le lac.

b) Sur le lac

Les mesures sont regroupées dans trois tableaux.

Station 2B au milieu

**TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES
DU LAC DU BOURG-D'HEM
STATION 2B milieu**

20 juillet 2010, 10H30

Profondeur maximum : 7m

PROFONDEUR (mètre)	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	unité	Temp°C	µS/cm	Temp°C
0	7,95	102,0	23,6	8,04	23,4	94	23,2
1	6,52	79,8	23,1	7,69	22,9	98	22,7
2	6,21	73,1	22,8	7,85	22,7	95	22,5
3	6,03	69,4	22,7	7,56	22,4	95	22,4
4	5,36	65,4	22,5	7,38	22,2	96	22,2
5	5,49	67,3	22,3	7,29	22,2	96	22,1
6	6,01	68,5	21,8	7,16	21,7	97	21,5

La température est de 23,5°C, en surface puis descend progressivement jusqu'à 21,7°C sur le fond.

L'oxygène est juste à saturation en surface (102%) et descend dès 1m à 80% pour décroître régulièrement jusqu'à 68%.

Le pH basique en surface décroît régulièrement pour arriver à la neutralité au fond.

La conductivité est de 94µS/cm en surface, puis passe à 98µS/cm à 1m, descend à 95 µS/cm à 2 m pour remonter progressivement jusqu'à 97 au fond.

Dans l'ensemble les paramètres ont des valeurs convenables pour une vie aquatique normale, mise à part la température qui représente encore un facteur limitant.

Station 2B, rive gauche

TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES
DU LAC DU BOURG-D'HEM
STATION 2B gauche

20 juillet 2010, 11H30

Profondeur maximum : 4m

PROFONDEUR (mètre)	Oxygène			pH		Conductivité	
	Mg/L	%	Temp°C	unité	Temp°C	µS/cm	Temp°C
0	8,37	103,0	25,7	8,49	25,4	94	25,1
1	6,96	83,0	24,3	8,26	24,0	95	23,8
2	6,45	78,0	23,7	8,15	23,2	95	23,0
3	6,36	75,4	23,4	7,76	23,0	95	22,7

La température est de 25,4°C en moyenne en surface, puis elle diminue régulièrement jusqu'à atteindre 23,0°C à 3 m de profondeur.

L'oxygène est à 103% en surface, puis descend à 83% dès 1m de profondeur et baisse ensuite régulièrement jusqu'à 75% à 3 m.

Le pH de surface est à 8,49 puis descend régulièrement jusqu'à 7,76.

La conductivité est pratiquement la même sur toute la hauteur d'eau : 94 µS/cm en surface, puis 95 µS/cm jusqu'au fond.

Station 2B, rive droite

TABLEAU DES MESURES PHYSICO-CHIMIQUES
DU LAC DU BOURG-D'HEM
STATION 2B droite

20 juillet 2010, 12H30

Profondeur maximum : 4m

PROFONDEUR (mètre)	Oxygène			pH		Conductivité	
	mg/L	%	Temp°C	unité	Temp°C	µS/cm	Temp°C
0	9,69	122,4	25,5	9,03	25,4	95	25,2
1	7,15	89,2	24,6	8,78	24,2	95	24,1
2	6,73	80,6	23,8	8,38	23,5	97	23,1
3	6,47	73,9	23,4	7,95	23,4	95	22,8

La température est de 25,4°C en moyenne en surface, puis descend jusqu'à 23,0°C à 3 m.
L'oxygène est en sursaturation à 122%, sa valeur tombe à 89% à 1m, puis elle descend progressivement jusqu'à 74% à 3 m.

Le pH est basique en surface à 9,00 sa valeur descend avec la profondeur pour atteindre presque 8, à 3 m.

La conductivité est homogène de la surface au fond : 95 µS/cm (sauf 97 µS/cm à 2 m).

TABLEAU DE MESURE DE TRANSPARENCE (en cm)
DISQUE DE SECCHI
LAC DU BOURG-D'HEM

20 juillet 2010, 10H30 à 13H00

OBSERVATIONS STATIONS	CIEL	PROFONDEUR A LA DESCENTE	PROFONDEUR A LA MONTEE	PROFONDEUR DE TRANSPARENCE
2B Gauche	Soleil	90	80	85
2B	Soleil	85	75	80
2B Droite	Soleil	85	75	80

La transparence est homogène sur les trois points de la station 2B : 0,80 m.

2) Résumé de la situation du lac au 20 juillet

Les conditions physico-chimiques de la Creuse ne sont pas significativement différentes de celles du 13 juillet.

Par contre, sur le lac, la situation est légèrement différente. Seule la surface est à 100% d'oxygène au plus, alors que le 13 juillet, on avait encore ces valeurs là, à 1m. Même chose pour le pH et la conductivité qui avaient des valeurs plus fortes en surface et à 1m que sur le restant de la colonne d'eau. Cela doit pouvoir s'expliquer avec la transparence : 0,55m, le 13 juillet et 0,80 une semaine plus tard. Il devait y avoir davantage de phytoplancton le 13 juillet, ce qui entraîne une baisse de la transparence, un dégagement plus important d'oxygène grâce à une photosynthèse plus intense, ce qui explique aussi le pH plus important et homogène sur la surface et à 1m. Cela avait aussi une incidence sur la conductivité en l'augmentant.

Lorsque l'on regarde plus en détail, les résultats des deux rives du lac et qu'on les compare avec ceux du milieu, on remarque que la conductivité est à 95 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sur les deux rives à 3m de profondeur (à 1m du fond), tandis qu'au milieu à 1m du fond, la conductivité est de 97 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Si l'on compare avec la conductivité de la Creuse pour cette même journée (98 $\mu\text{S}/\text{cm}$), il semble que l'on puisse émettre comme hypothèse que si la Creuse passe en profondeur, elle ne le fait que dans la partie médiane (l'équivalent de son ancien lit) et sur une épaisseur de 1 à 2 m à partir du fond.

Si tel est le cas, on peut en déduire deux choses :

- d'une part, verticalement, à mi-distance des rives, il existe trois zones distinctes :
 - une de surface (zone euphotique) essentiellement dominée par la photosynthèse du phytoplancton.
 - une intermédiaire (zone aphotique) essentiellement dominée par la respiration des êtres vivants.
 - une de fond, qui tout en conservant des caractéristiques physico-chimiques de la Creuse (température et conductivité) est quand même affectée par les caractéristiques de la couche supérieure (pH et oxygène).
- d'autre part, du fait que la Creuse conserve un espace limité au sein du lac, cette couche de fond doit être affectée d'un mouvement amont-aval encore relativement important (peut-être plusieurs centimètres par seconde).

L'élément important est que la thermocline suspectée n'est pas mise en évidence. En fait, la sensation de froid ressentie au niveau des jambes correspond à une particularité du corps humain vis-à-vis de la température qui fait qu'il apprécie beaucoup plus les variations que la température elle-même.

C) Résultats des prélèvements de zooplancton

Comme pour l'instant, toute l'étude reposait sur des mesures physico-chimiques, il nous a semblé intéressant de voir ce qu'il en était du point de vue faune.

L'intérêt de la faune est qu'elle intègre les paramètres sur des durées de temps beaucoup plus longues que la mesure du paramètre qui peut être valable sur une échelle de temps bien plus courte. L'idée a donc été d'échantillonner le zooplancton. N'ayant pas à disposition un filet à plancton, un filet Surber a été adapté pour servir de filet à plancton. Il a été muni de deux ficelles graduées avec un dispositif qui permet de l'immerger à une profondeur précise au décimètre près.



Filet à plancton



Filet à plancton immergé

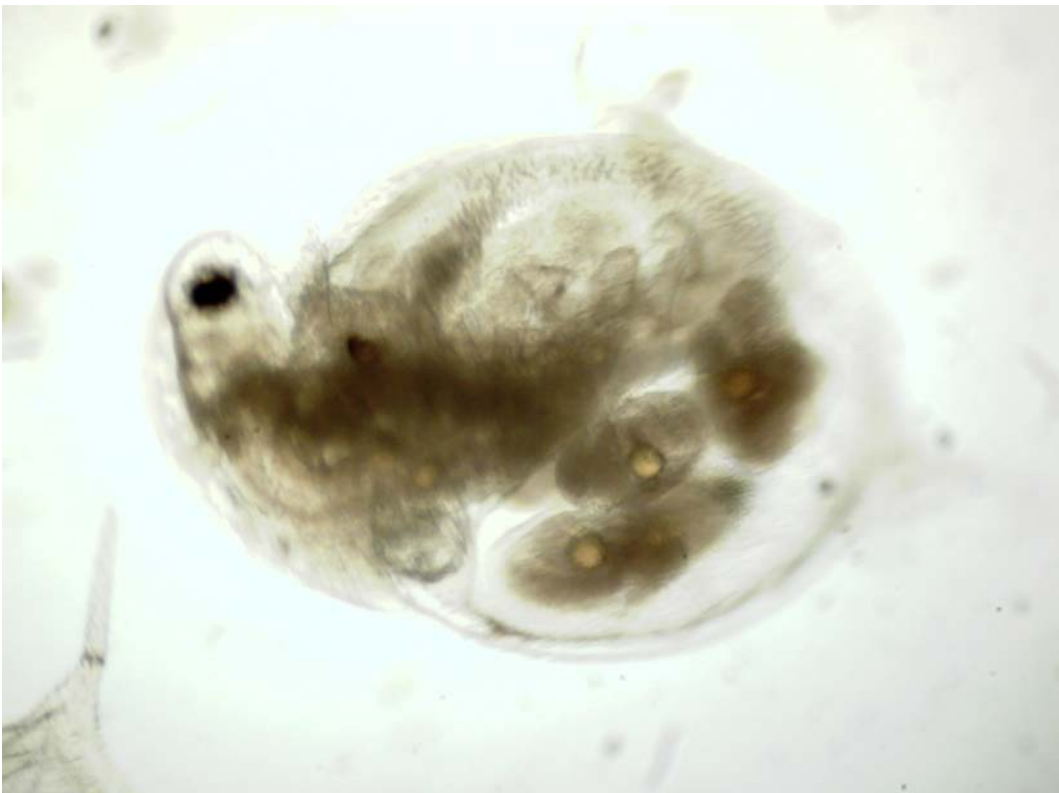


Filet à plancton en action de pêche

Le vide de maille étant de 0,5mm, seuls les êtres planctoniques ayant une taille supérieure à cette valeur seront échantillonnés. Le filet a été traîné à différentes profondeurs en face de la ligne d'eau de baignade, c'est-à-dire sur environ 100m. L'ouverture du filet étant de $0,05\text{m}^2$, le volume d'eau échantillonné à chaque profondeur est de : $0,05\text{m}^2 \times 100\text{m} = 5\text{m}^3$. Les résultats pourront donc être ramenés au nombre d'individus par litre. L'observation des échantillons à la loupe binoculaire révèle la présence de deux groupes de crustacés : les copépodes et les cladocères ou daphnies.



Copéode au microscope (X 40)



Cladocère au microscope (X 40)



Cladocère au microscope (X 40)

Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous.

**TABLEAU D’EVALUATION DU PLANCTON
DU LAC DU BOURG-D’HEM (20 JUILLET 2010)**

Plancton (nomb.) (%)	Copépodes	Cladocères	Total	Densité (ind./L)
Profondeur (m)				
0,10	86 94,5%	5 5,5%	91	0,018
0,50	123 61,5%	77 38,5%	200	0,040
1,00	211 19,5%	872 80,5%	1083	0,217
1,50	112 7,7%	1336 92,2%	1448	0,290
2,00	136 5,7%	2233 94,3%	2369	0,474
3,00	109 4,6%	2272 95,4%	2381	0,476
TOTAL DES INDIVIDUS	777 10,3%	6795 89,7%	7572	1132 ind./m ²

Si l'on regarde d'abord les pourcentages, on remarque que les copépodes sont largement majoritaires en surface (95%). Avec la profondeur, ce pourcentage diminue, si bien qu'à 3m, les pourcentages sont inversés, ce sont les cladocères qui sont majoritaires (95%).

Si l'on regarde les valeurs brutes, les copépodes ont des effectifs qui restent dans le même ordre de grandeur (86 à 211), tandis que les cladocères, augmentent régulièrement et de manière importante de la surface (5) jusqu'à 3 m (2381).

Il peut paraître étonnant que l'échantillonnage ait été fait sur les trois premiers mètres sous la surface, alors qu'à cet endroit (au niveau de la plage), la profondeur est de 9m. Ce protocole vient de la situation habituelle d'un lac, c'est-à-dire que sous la thermocline, la quantité d'oxygène étant rapidement assez faible, le zooplancton se trouve juste sous la thermocline

tout au moins pendant le jour. En effet, le zooplancton étant lucifuge, il se trouve sous la thermocline pendant la journée, mais il ne peut pas descendre trop bas dans la zone aphotique à cause du faible taux d'oxygène que l'on a très vite en descendant sous la thermocline. Bien que la situation du lac du Bourg-d'Hem soit différente, c'est cette répartition théorique et bibliographique qui s'est imposé et qui a guidé le protocole de prélèvement. Donc, normalement la densité la plus importante aurait due être à 1,50m ou 2m, pour être très basse à 3m de profondeur. Or, c'est justement à 3m que la densité est la plus importante. Cela se comprend dans la situation du lac du Bourg-d'Hem, car la quantité d'oxygène étant encore importante jusqu'au fond de la zone aphotique, le zooplancton descend jusqu'au fond de façon à réduire l'impact de la prédation. En effet, même avec la plus forte densité (0,476ind./L à 3m), l'acte de prédation n'est pas rentable, aussi bien pour un alevin que pour un poisson adulte filtreur de plancton.

Maintenant si on extrapole les densités obtenues sur les trois premiers mètres afin d'obtenir la densité par m² :

Densité sur la colonne d'eau (0 à 3,50m) sur 1 dm² de surface du lac :

0 à 20cm	densité 0,018ind./L	2 X 0,018 = 0,036
20 à 70cm	densité 0,040ind./L	5 X 0,010 = 0,200
70cm à 1,20m	densité 0,217ind./L	5 X 0,217 = 1,085
1,20m à 1,70m	densité 0,290ind./L	5 X 0,290 = 1,450
1,70m à 2,50m	densité 0,474ind./L	8 X 0,474 = 3,792
2,50m à 3,50m	densité 0,476ind./L	10 X 0,476 = 4,760

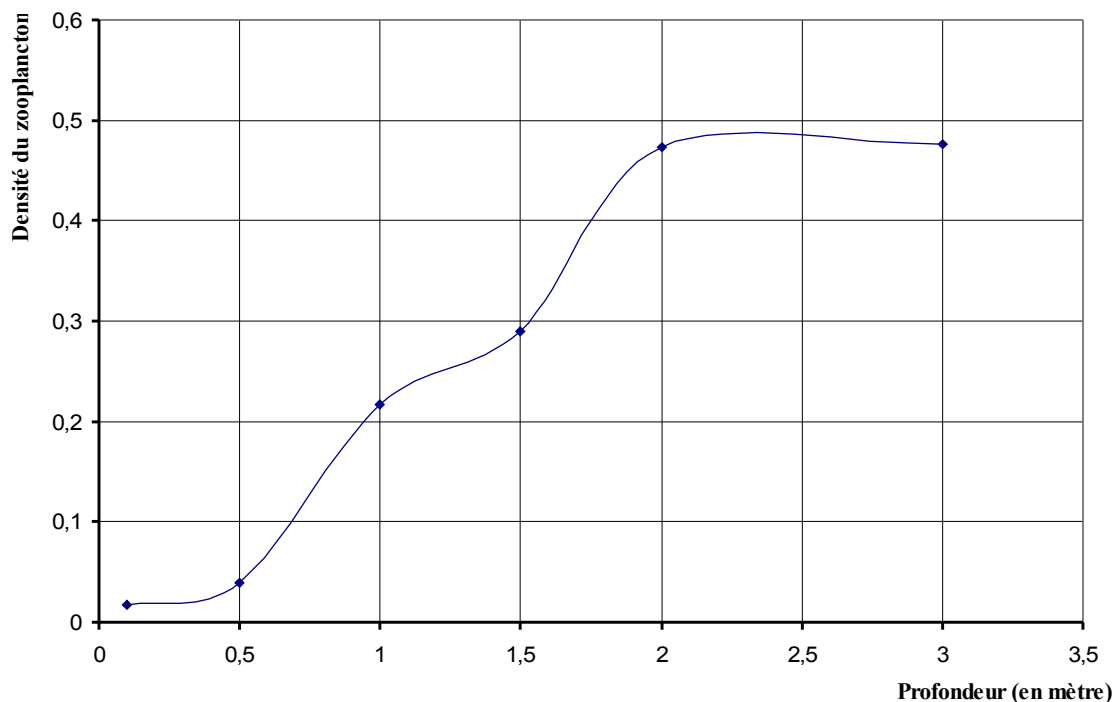
TOTAL : $\overline{11,323}$

Sur 1 m² :

11,323 X 100 = 1132ind./m².

Portés sur un graphique, les résultats tracent une courbe régulière qui s'infléchit et semble atteindre un maximum à la profondeur de 3m.

Graphique de densité du zooplancton en fonction de la profondeur



Pour la partie manquante (sous 3m de profondeur et jusqu'au fond), on peut envisager deux scénarios :

- la courbe redescend de manière symétrique
- la courbe a atteint un sommet à 3m qu'elle garde jusqu'au fond.

Dans le premier cas, on peut doubler la densité trouvée ci-dessus, ce qui donne :

$$1132 \times 2 = 2264 \text{ ind./m}^2.$$

On remarque aussi dans ce cas théorique que le zooplancton atteint une densité nulle à 7m de profondeur. Il resterait ainsi 2m d'eau sur le fond où il n'y aurait pas de zooplancton.

Dans le second cas :

$$3,50\text{m à }9,00\text{m} \quad \text{densité } 0,476 \text{ ind./L} \quad 55 \times 0,476 = 26,18$$

$$\text{soit } 26,18 \times 100 = 2618 \text{ ind./m}^2.$$

Donc au total sur toute la colonne d'eau :

$$1132 + 2618 = 3750 \text{ ind./m}^2.$$

Dans les deux cas, l'ordre de grandeur est de quelques milliers d'individus par m². La bibliographie donne des valeurs bien plus importantes : 1,5 millions ind./m² en juillet dans le lac Léman (Balvay, 1984) et 400 à 500000 ind./m² dans le lac du Bourget (Jacquet, 2010). Dans ces deux cas, l'ordre de grandeur est 100 à 1000 fois plus important que sur le lac du Bourg-d'Hem. Même si l'échantillonnage n'est pas le même (trait vertical du filet sur Léman et Bourget, trait horizontal sur Bourg-d'Hem), il n'en demeure pas moins que la densité du zooplancton est très faible sur notre lac.

V) Structure et fonctionnement du lac du Bourg-d'Hem d'après l'étude 2010

A) En hiver

La structure du lac du Bourg-d'Hem en hiver est assez simple puisque le lac présente une homogénéité presque totale de ses paramètres.

Cependant, la forte oxygénation de surface qui a été observée à la station 2B et qui a été interprétée comme étant due à un turbinage des eaux du lac des Chézelles, permet de penser que les eaux de la Creuse ne se mélangent pas directement et complètement avec celles du lac dès leurs arrivées. Ces eaux doivent continuer leur chemin en surface.

D'autre part, aux stations 3G et 4A, le pH basique de profondeur a été expliqué par la nature de la roche (gabbro-diorite) qui constitue la roche mère de cette portion de lac. Cependant, des eaux basiques de fond ont été aussi repérées à la station 2B, alors qu'à cet endroit la roche mère (granite) confère plutôt un pH acide aux eaux. Cette observation permet de penser que le courant de surface correspondant aux eaux de la Creuse est à l'origine d'un mouvement de compensation inverse et de fond des eaux du lac. Ces eaux de fond venant de la partie aval sont basiques à cause de la roche mère, elles remontent vers l'amont sur le fond du lac en conservant leur signature basique tout en circulant sur une roche « acide ».

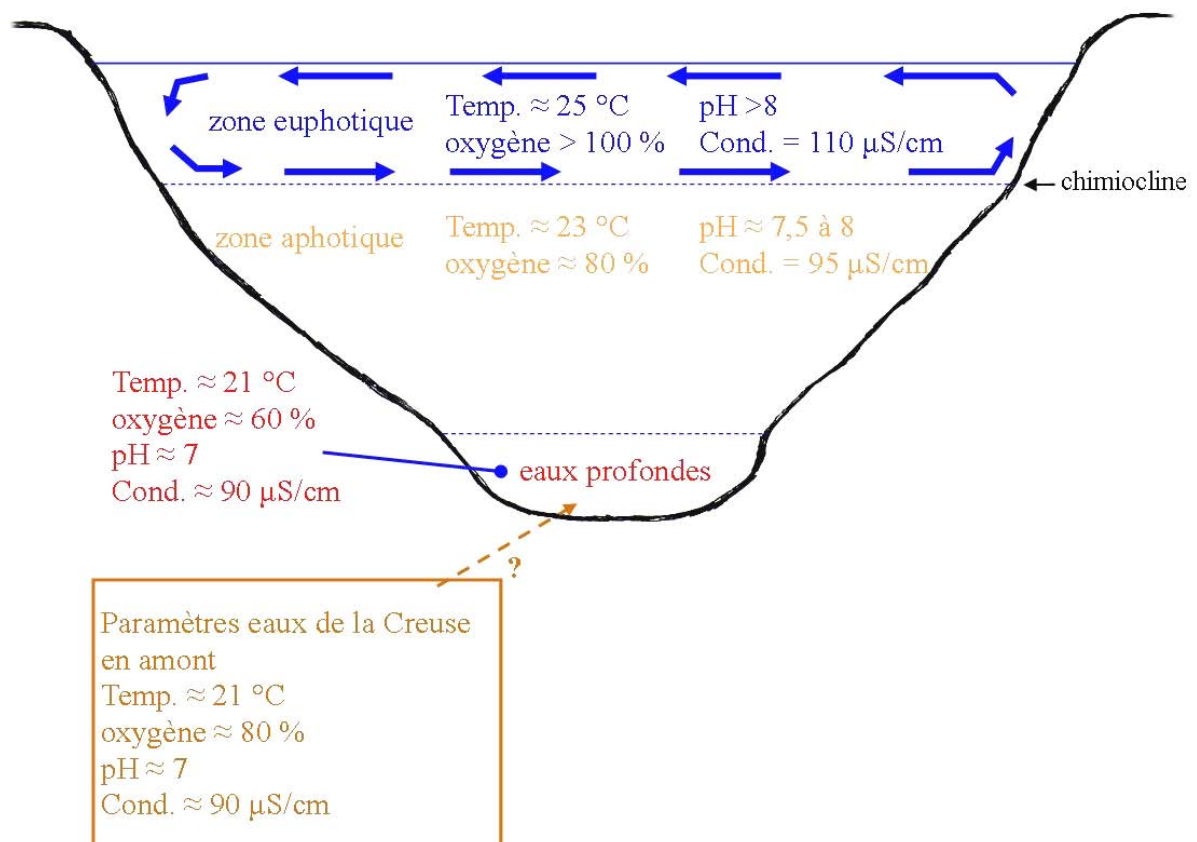
B) En été

La structure du lac en été est beaucoup plus complexe et donne lieu, bien sûr, à beaucoup plus de questions que la structure d'hiver. L'ensemble des résultats permet de penser que le lac présente une structure verticale constituée de trois compartiments superposés :

- le premier en surface a une épaisseur moyenne de 1,5 m, il correspond à la zone d'absorption de la lumière solaire. Pour cette raison, la photosynthèse du phytoplancton entraîne une saturation voire une sursaturation de l'eau en oxygène, ainsi qu'un pH basique. C'est la zone euphotique dominée par l'anabolisme.

- le compartiment moyen se trouve juste au dessous de la zone euphotique et descend jusqu'à une profondeur d'environ 2 m au dessus du fond. C'est une zone aphotique car sans lumière donc sans photosynthèse, elle est dominée par la respiration animale et bactérienne, c'est-à-dire par le catabolisme. Il est à noter que la distinction de ces deux couches se fait sur la lumière et non sur la température, en effet il n'y a pas de thermocline.
- le compartiment de fond qui est une zone de mouvement de l'amont vers l'aval et qui correspond au passage de la Creuse en profondeur. Même si elle est influencée par les deux couches supérieures en ce qui concerne l'oxygène et le pH, elle n'en conserve pas moins ses caractéristiques de température et de conductivité. Ces deux derniers paramètres constituent en quelque sorte une signature des eaux de la Creuse. (voir schéma ci-dessous, les valeurs de paramètres sont indicatives et résultent d'une synthèse des trois campagnes d'été : 23 juin, 13 et 20 juillet)

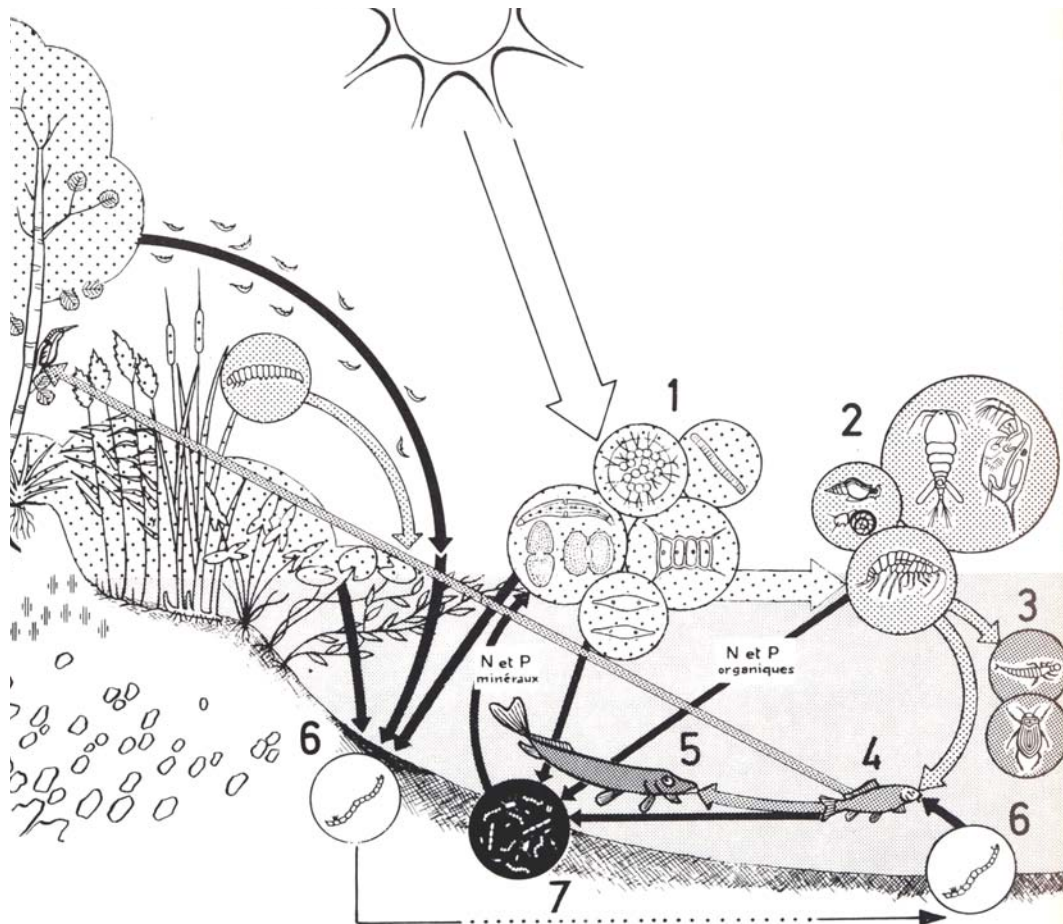
Etat probable du lac de Bourg-Hem en été (coupe verticale)



Cette structure amène à poser plusieurs questions et à dégager quelques conséquences qui restent à vérifier :

- même si l'on comprend l'enfoncement des eaux de la Creuse sous les eaux du lac par différence de densité due à une différence de température et que les eaux de l'amont « poussent » les eaux du fond, cela semble insuffisant pour entraîner le mouvement sur l'ensemble du fond du lac. Or lors du turbinage des eaux du lac du Bourg-d'Hem, le soutirage se fait presque au pied du barrage, ce qui crée un mouvement d'aspiration. Si l'on résume, on a une poussée de l'amont par l'arrivée des eaux de la Creuse, une aspiration à l'aval par le soutirage des eaux de fond, le tout cloisonné vers le haut par un bouclier d'eaux plus chaudes donc moins denses. Les eaux de la Creuse sont donc canalisées dans le fond du lac. A quelque chose près elle doit suivre son ancien lit, les vitesses de courant sont peut-être de quelques centimètres par seconde. La question qui se pose, est que devient ce courant près du barrage au moment de la fermeture des vannes à la fin d'un turbinage. On peut penser que le mouvement étant enclenché, les eaux vont buter sur le pied du barrage et vont remonter le long de celui-ci, malgré la couche supérieure moins dense. Ce courant d'upwelling pourrait modifier localement la couche euphotique.
- globalement le lac du Bourg-d'Hem a un taux de renouvellement de ses eaux relativement court. En effet, pour un volume de 5 millions de m³ et avec un débit moyen de la Creuse de 4 m³/s, il faut 13 jours pour renouveler entièrement les eaux du lac. Ce temps est très court comparé à celui des lacs Léman et du Bourget qui se comptent en années. En fait, plus précisément pour le lac du Bourg-d'Hem, la prise en compte de la structure du lac change l'échelle de temps de séjour des eaux dans le lac. En effet, on peut considérer que seules les eaux de fond sont mobiles et font l'objet d'un transit, alors que les eaux au dessus (zones euphotique et aphotique) sont quasiment stagnantes et donc presque pas renouvelées. Ainsi pour les eaux du fond du lac, le temps de renouvellement est peut-être de quelques heures seulement. Par contre, pour les eaux stagnantes au dessus, le temps de renouvellement est peut-être de plusieurs semaines voire plusieurs mois. Et ce d'autant plus que tous les petits cours d'eau étant taris, il n'y a pas d'autres entrées que celle de la Creuse.
- le compartiment du lac au dessus des eaux de la Creuse (zones euphotique et aphotique) doit donc être considéré presque comme un vase clos, tant au niveau des apports d'eau que tant au niveau des apports en matières organique et minérale. En effet, en été, les rives du lac ont des apports très faibles (très peu de feuilles mortes tombent dans le lac), les matières charriées par la Creuse circulent ou se déposent dans le fond du lac. On doit donc considérer que le compartiment supérieur se comporte comme un lac oligotrophe alors que les apports de la Creuse devraient en faire un lac eutrophe. De plus, les sédiments du fond ne risquent pas d'eutrophiser le compartiment supérieur, en effet le relargage des sels minéraux se faisant à l'interface eau-sédiments, ils seront emportés par le courant faible des eaux de la Creuse sans pouvoir remonter au dessus. De plus, avec la relative quantité importante d'oxygène dans les eaux de fond (60%), les sels minéraux des sédiments sont oxydés et donc insolubles. Pour toutes ces raisons, le compartiment supérieur doit être considéré comme un lac oligotrophe.

- cette situation de lac oligotrophe peut paraître paradoxale car certaines caractéristiques du lac la confirment, mais d'autres l'infirmement. En effet, le taux d'oxygène relativement important dans la zone aphotique montre que la respiration des êtres vivants reste modérée. Comme toute la matière organique du compartiment supérieur ne peut venir que de la zone euphotique, cela veut dire que la production de matière organique est relativement faible et donc que le phytoplancton est clairsemé. Tout cet ensemble correspond bien aux caractéristiques d'un lac oligotrophe. En revanche, s'il y a peu de phytoplancton et pas d'apport du bassin versant alors la transparence devrait être plus importante que ce quelle est. La faible transparence vient de la présence de colloïdes organiques et minéraux qui diffractent la lumière. Ces colloïdes ne sont pas pris en compte dans les mesures de MES, car ils sont suffisamment petits pour passer par les pores des filtres. Ces colloïdes restent en suspension sans jamais se déposer. Ils proviennent de l'érosion des sols qui ont une mauvaise structure. L'amendement des sols en agriculture a pour but d'assurer une bonne structure au sol, ce qui limite l'érosion du sol lui-même, ainsi que le lessivage des sels minéraux. Même si les colloïdes donnent une transparence correspondant à celle d'un lac eutrophe (par prolifération du phytoplancton), il n'en demeure pas moins que ce compartiment a fondamentalement un fonctionnement oligotrophe. Ce qui est d'ailleurs peut-être corroboré par la faible densité du zooplancton.
- enfin au travers de toutes les données du lac, on peut aussi entrevoir la situation piscicole du lac. Nous avons déjà dit qu'en été, il ne pouvait pas y avoir de salmonidés dans tout le lac et la Creuse en remontant jusqu'au pied du barrage des Chézelles, à cause de la trop forte température (21°C au minimum). De plus la faible densité du zooplancton ne permet pas une prédation efficace d'un point de vue énergétique de la part des alevins et des poissons adultes planctonophages. La nuit, le zooplancton remonte afin de « brouter » le phytoplancton. Si l'on ramène la densité la plus élevée dans la zone euphotique, c'est-à-dire entre 0 et 1m de profondeur (pour simplifier), la densité devient : 3750 ind./m³ soit 3,75 ind./L, ce qui fait presque 10 fois plus que celle que l'on a à 2 et 3 m. Mais malgré cela, la densité nocturne du zooplancton reste bien faible pour pouvoir être exploitée efficacement par les organismes planctonophages. Et même dans ce cas, la productivité du poisson à partir du zooplancton doit être extrêmement faible. Le seul endroit susceptible d'avoir une productivité à peu près correcte doit être le fond du lac où s'écoulent les eaux de la Creuse. Dans ce cas, on a une chaîne alimentaire initialisée par la décomposition de matière organique charriée par la Creuse et qui a pu s'accumuler pendant l'hiver. La température est favorable à une décomposition active. Ce milieu doit convenir à des poissons de fond comme la tanche, la carpe et le sandre.



Réseau trophique dans un lac classique (Duvigneau, 1980)

VI) Suite de l'étude pour 2011

L'étude du lac du Bourg-d'Hem sur l'année 2010 a permis de préciser la situation particulière du lac surtout en été.

Cependant, il reste à vérifier un certain nombre de points afin de valider le modèle de fonctionnement du lac que nous avons établi sur la base des données de 2010. Et surtout, il reste à étudier la situation du lac au moment d'un bloom de cyanobactéries.

Sans vouloir donner dès aujourd'hui un plan d'étude pour 2011, on peut établir la liste des points suivants qu'il serait intéressant d'éclaircir :

- vérifier que les eaux de la Creuse s'écoulent en profondeur.
- vérifier la répartition verticale complète du zooplancton afin de mieux connaître sa densité réelle d'une part et voir si le zooplancton se trouve jusqu'au fond d'autre part. En effet, le fait qu'il y ait mouvement de l'eau doit conduire le zooplancton à fuir cette zone par un rhéotropisme négatif, ce qui prouverait par là même l'existence du mouvement des eaux de fond.
- vérifier le comportement des eaux de profondeur au moment de l'arrêt d'un turbinage (remontée le long du barrage ?).
- effectuer un prélèvement d'eau dans les trois compartiments verticaux afin de vérifier l'oligotrophie des deux premiers euphotique et aphotique) et l'eutrophie des eaux profondes.
- enfin, étudier la population piscicole qualitativement et quantitativement, ce qui sera un autre moyen de valider le modèle du lac du Bourg-d'Hem.

Conclusion

La vérification du modèle élaboré avec les données de 2010 est capitale car l'état du lac en été n'est pas du tout favorable aux cyanobactéries (milieu oligotrophe, peu de sels minéraux, des sédiments de fond coupés du milieu oligotrophe). Pourtant, il y a eu déjà quelques blooms de cyanobactéries. Il sera donc très intéressant de comprendre quels sont les changements qui s'opèrent de façon à ce que d'une situation non favorable, on passe à une situation très favorable aux cyanobactéries.



Lac du Bourg-d'Hem, près du barrage.

BIBLIOGRAPHIE

Balvay (Gérard) et al, Evolution du plancton du Léman, campagne 1984. Institut de Limnologie (Thonon).

Carte géologique de la France, Aigurande n°617, J. Quenardel et al, BRGM, 1991

Duvigneaud Paul (1980) La synthèse écologique. Doin.

Jacquet (Stephan), Avril 2010, Suivi scientifique du lac du Bourget. Année 2009. INRA. Station d'Hydrobiologie Lacustre, Thonon les bains.