



# LE PROGRAMME DE RECHERCHE SUR LES CYANOBACTÉRIES AU LAC BROMONT



## CAHIER 3

## MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE UTILISÉE AU LAC BROMONT



**Dolors Planas  
Claire Vanier  
Estelle Lavirotte**



**UQÀM** | Service aux collectivités  
Université du Québec à Montréal



## **Comité d'encadrement depuis 2007**

Dolores Planas, professeure au Département des Sciences biologiques de l'UQAM, responsable de la recherche

Béatrix Beisner, professeure au Département des Sciences biologiques de l'UQAM

Yves Gosselin, Anne Joncas, Marcel Samson et Martin Miron, de Action conservation du bassin versant du lac Bromont (ACBVLB)

Jean-François L. Vachon, Nicolas Rousseau et Mylène Leblanc, de la Municipalité de Bromont

Claire Vanier, agente de développement, Service aux collectivités de l'UQAM

## **Rédaction**

Dolores Planas

Claire Vanier

Estelle Lavirotte, stagiaire

## **Révision et coordination de la production**

Claire Vanier, Service aux collectivités de l'UQAM

**Photographie de la page couverture** : Myriam Jourdain

## ***Soutiens financiers et techniques***

Programme d'aide financière à la recherche et à la création, UQAM - recherche dans le cadre des services aux collectivités, Volet 2

Municipalité de Bromont

Centre de recherche en géochimie et géodynamique - Groupe de Recherche Interuniversitaire en Limnologie et en Environnement Aquatique (GÉOTOP-GRILL)

Ministère du développement durable de l'environnement et des parcs (MDDEP)

Programme Études-travail

Programme Horizons sciences, d'Environnement Canada

Service aux collectivités de l'UQAM

Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG)

Fonds de recherches du Québec - nature et technologies (FQRNT)

Organisme de bassin versant de la Yamaska (OBY) (anciennement, Conseil de gestion du bassin versant de la Yamaska - COGEBY)

Épicerie Métro de Bromont.

---

### **Service aux collectivités de l'Université du Québec à Montréal**

Case postale 8888, Succ. Centre-Ville,  
Montréal (Qc) H3C 3P8

Téléphone : (514) 987-3177

Télécopieur : (514) 987-6845

[www.sac.uqam.ca/accueil.aspx](http://www.sac.uqam.ca/accueil.aspx)

### **Action conservation du bassin versant du lac Bromont**

Case postale 17  
Bromont (Qc) J2L 1A9

(450) 263-9130

Courriel : [info@lacbromont.ca](mailto:info@lacbromont.ca)

[www.lacbromont.ca](http://www.lacbromont.ca)

---

ISBN 978-2-923773-15-5

Dépôt légal-Bibliothèque et Archives nationales du Québec, 2014

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES .....	II
LISTE DES ABRÉVIATIONS .....	III
INTRODUCTION .....	1
VARIABLES MESURÉES ET MÉTHODES DE MESURE OU D'ÉCHANTILLONNAGE.....	2
Mesures et prélèvements dans les ruisseaux ( <i>in situ</i> ) .....	2
Mesure de la température et de l'oxygène dans l'eau .....	2
Mesure du débit des ruisseaux.....	2
Prélèvements d'eau .....	2
Mesures effectuées directement dans le lac ( <i>in situ</i> ) .....	3
Mesure de la température et de l'oxygène .....	3
Mesure de la transmission de la lumière dans l'eau .....	3
Mesure des mouvements de l'eau dans le lac .....	4
Mesure de la biomasse des algues et identification des grands groupes d'algues.....	5
Prélèvement des échantillons dans le lac .....	6
Les nutriments et les algues dans l'eau du lac .....	6
Les nutriments dans les sédiments du lac .....	6
Traitements in situ des échantillons prélevés.....	7
Analyses en laboratoire suite au prélèvement des échantillons.....	8
Analyse des nutriments .....	8
Analyse des algues.....	8
SITES ET FRÉQUENCES D'ÉCHANTILLONNAGE .....	10
Sites d'échantillonnage dans le lac et dans les ruisseaux .....	10
PRINCIPAUX CALCULS ET LECTURE DES GRAPHIQUES .....	11
Calculs des bilans des nutriments .....	11
LA LECTURE DES GRAPHIQUES .....	13
Le graphique de la distribution de la température .....	13
Le graphique de la distribution de l'oxygène.....	14
Le graphique de la distribution des cyanobactéries.....	14
RÉFÉRENCES .....	15

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Oxymètre, pour les mesures de température et d'oxygène dans l'eau .....	2
Figure 2 : Mesure du débit d'un ruisseau.....	2
Figure 3 : Deux modèles de multisondes pour les mesures de température, d'oxygène et du pH dans l'eau de rivières ou à la surface du lac (YSI600E) et pour des profils dans le lac (YSI6920) .....	3
Figure 4 : Quantimètre, avec capteur pour mesurer dans l'air et capteur pour mesurer la lumière transmise dans l'eau .....	3
Figure 5 : Disque de Secchi.....	4
Figure 6 : Ondes internes dans un lac .....	4
Figure 7 : Sonde fluoroprobe pour identifier et quantifier les grands groupes d'algues.....	5
Figure 8 : Hydrocapteur de type Van Dorn pour les prélèvements d'eau : A : vue complète; B : bouchons retenus et bouteille ouverte; B : bouchons relâchés et bouteille fermée.....	6
Figure 9 : Dialyseur : A : photographie; B : schéma descriptif de la structure ; C : schéma de l'installation .	7
Figure 10 : Filtration des échantillons d'eau sur le terrain (A), kit de filtration (B) et tubes d'échantillon pour les analyses en laboratoire (C).....	7
Figure 11 : Principales étapes pour l'identification des espèces d'algues .....	9
Figure 12 : Sites d'échantillonnage dans le lac et dans les ruisseaux d'alimentation.....	10
Figure 13 : Les trois résultats possibles du calcul du bilan d'un nutriment .....	12
Figure 14 : Graphique de la distribution de la température en fonction de la profondeur de l'eau et du temps.....	13
Figure 15 : Graphique de la distribution de l'oxygène (%) en fonction de la profondeur de l'eau et du temps.....	14
Figure 16 : Graphique de la distribution des cyanobactéries en fonction de la profondeur de l'eau et du temps.....	14

## LISTE DES ABRÉVIATIONS

**ACBVLB** : Action conservation du bassin versant du lac Bromont

**MES** : Matières en suspension

**N** : Azote

**ND** : Azote dissous dans l'eau

**NP** : Azote particulaire dans l'eau

**NT** : Azote total dans l'eau

**NH<sub>4</sub>** : Azote inorganique dissous dans l'eau interstitielle des sédiments

**P** : Phosphore

**PD** : Phosphore dissous dans l'eau

**PP** : Phosphore particulaire dans l'eau

**PT** : Phosphore total dans l'eau

**PO<sub>4</sub>** : Phosphore inorganique dissous dans l'eau interstitielle des sédiments

**SAC** : Service aux collectivités de l'UQAM

**UQAM** : Université du Québec à Montréal



## INTRODUCTION

Entre 2007 et 2011, un Programme de recherche partenariale a été réalisé au lac Bromont par Dolores Planas et Béatrix Beisner, de l'Université du Québec à Montréal (UQAM), avec Action conservation du bassin versant du lac Bromont (ACBVLB), suite à une demande de cette dernière. **Globalement, ce programme de recherche visait à étudier la présence de cyanobactéries dans le lac Bromont, à en déterminer les causes et à faire des recommandations.** La croissance de ces algues étant liée à une augmentation de la fertilité de l'eau des lacs, particulièrement par l'apport de phosphore, la recherche s'est principalement penchée sur les sources potentielles de nutriments et le lien entre ces nutriments et la croissance des cyanobactéries. Le Programme de recherche a été initialement soutenu par le Service aux collectivités de l'UQAM puis par la Municipalité de Bromont, qui y a grandement contribué.

Suite à ces études et en vue de favoriser la diffusion et l'appropriation des connaissances mises en lumière par le programme de recherche, neuf Cahiers ont été produits. De façon générale, les informations et les données présentées dans ces cahiers sont basées sur les études réalisées dans le cadre du Programme de recherche bien que quelques informations puissent être tirées d'études parallèles sur le lac Bromont.

Le premier cahier (Cahier 1) présente les caractéristiques du lac Bromont et les objectifs du programme de recherche et le Cahier 2 traite des connaissances générales sur les lacs. Le présent cahier porte sur les méthodologies générales employées dans les études au lac Bromont. Les cinq cahiers suivants font état des résultats des études réalisées au lac Bromont en 2007-2008 (Cahier 4), en 2008-2009 (Cahier 5), en 2009-2010 (Cahier 6), et pendant les périodes libres de glace de 2010 (Cahier 7) et de 2011 (Cahier 8). Chaque cahier reflète les questions suscitées par les résultats des années antérieures, outre d'assurer un suivi des relations entre les nutriments et les algues, dans le lac. Par ailleurs, étant donné l'importance de la **période libre de glace**, pour la croissance des algues mais aussi dans la fréquence et l'intensité des apports au lac par les ruisseaux, les études depuis 2007-2008 ont toujours accordé une place centrale à cette période. À noter que les méthodes spécifiques employées pour répondre aux objectifs annuels de recherche sont présentées dans les cahiers concernés (Cahiers 4 à 8). Pour les recherches directement associées à des projets de stage ou de maîtrise, le lecteur pourra référer aux documents concernés, dans la liste des **publications** produites dans le cadre du Programme de recherche au lac Bromont, fournie au Cahier 1.

Le dernier cahier, le Cahier 9, synthétise les résultats les plus importants et présente des recommandations pour assurer la qualité des eaux du lac. Outre les résultats annuels, ces cahiers présentent aussi en introduction les méthodologies spécifiques aux objectifs de recherche de ces années. De plus, une brève formation et un protocole d'échantillonnage ont été développés, dans la perspective que la municipalité et l'ACBVLB maintiennent leur collaboration dans le suivi de la qualité de l'eau du lac.

Plusieurs personnes et organisations ont contribué à la réalisation du Programme de recherche au lac Bromont. Sans la générosité de tous, le Programme de recherche n'aurait pu se réaliser. Nous ne reprenons pas ici les **remerciements** : le lecteur pourra en consulter la liste dans le Cahier 1.

## Mesures et prélèvements dans les ruisseaux (*in situ*)

### Mesure de la température et de l'oxygène dans l'eau

La température (° C) et l'oxygène dissout (en mg/l et en %) dans l'eau des ruisseaux ont été mesurés avec un **oxymètre**, soit un appareil qui a deux sondes, une pour la température et une pour l'oxygène (Figure 1). Pour la température de l'air, les données météorologiques utilisées, en 2007 et 2008, venaient de la station de Granby. Par la suite, une station a été installée sur le lac, les relevés étant réalisés par les membres de l'ACBVB.



Figure 1 : Oxymètre, pour les mesures de température et d'oxygène dans l'eau

### Mesure du débit des ruisseaux

La mesure du **débit** des ruisseaux nous permet de calculer les quantités d'eau, de nutriments et de matières en suspension (MES) que les ruisseaux transportent au lac. Le débit (**Q**) est estimé à partir : (i) de la **vitesse** du courant dans le ruisseau, à un endroit donné du ruisseau, et (ii) de la **surface** de la section (ou la *tranche*) verticale du ruisseau que traverse l'eau à ce même endroit. Idéalement, les mesures se font à l'embouchure du ruisseau, c'est-à-dire à son arrivée dans le lac, et dans une section où le courant est actif sur toute la largeur. On prend pour acquis que la section a une forme régulière carrée ou rectangulaire.

- ♦ La vitesse (**V**) du courant est mesurée à l'aide d'un courantomètre (cm/seconde, qui peut être transformé en m/seconde).
- ♦ La surface (**S**) est calculée en multipliant la largeur du ruisseau à cet endroit (**L**) par sa profondeur (**P**) :

$$S (m^2) = L (m) * P (m)$$

- ☛ Le débit (**Q**) est calculé en multipliant la surface (**S**) par la vitesse (**V**) du courant :

$$Q (m^3/seconde) = S (m^2) * V (m/seconde)$$

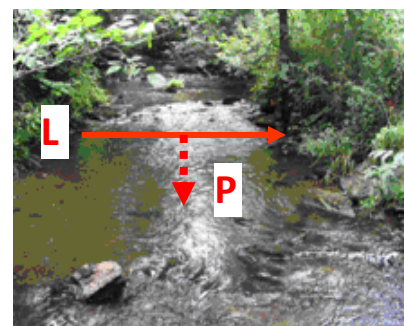


Figure 2 : Mesure du débit d'un ruisseau

### Prélèvements d'eau

Dans les ruisseaux, les échantillons d'eau sont prélevés directement, à 0,25 m de la surface de l'eau, dans des bouteilles de 1 000 ml (1 L). Ces échantillons serviront à la mesure des **nutriments** (phosphore : P; azote : N) présents dans l'eau des ruisseaux. Le reste de la procédure pour l'analyse des nutriments est présenté à la section Traitement in situ des échantillons prélevés.

## Mesures effectuées directement dans le lac (*in situ*)

### Mesure de la température et de l'oxygène

La température (° C), l'oxygène dissout (en mg/l et en %) et le pH sont mesurés directement dans l'eau (*in situ*) du lac, à l'aide d'un appareil appelé multisonde, ou **sonde multiparamétrique** (Figure 3), qui contient des sondes spécifiques à la mesure de l'oxygène, de la température et du pH.

Un capteur de pression dans la sonde permet d'avoir une idée approximative de la profondeur à laquelle se trouve la sonde et de faire des mesures à de profondeurs discrète, ici en l'occurrence tous les 50 cm environ. Ainsi, les mesures sont faites à différentes profondeurs, ce qui permet d'obtenir le profil de la température dans la **colonne d'eau** et nous donc permet de vérifier l'état de **stratification thermique** du lac. On obtient aussi le profil d'oxygène, ce qui nous permet d'évaluer le niveau d'**anoxie**, s'il y a lieu. Certaines études demandent aussi à connaître le pH de l'eau, i.e. son niveau d'acidité – alcalinité.



Figure 3 : Deux modèles de multisondes pour les mesures de température, d'oxygène et du pH dans l'eau de rivières ou à la surface du lac (YSI600E) et pour des profils dans le lac (YSI6920)

### Mesure de la transmission de la lumière dans l'eau

La lumière est nécessaire à la croissance des algues et, en ce sens, il importe de savoir jusqu'à quelle profondeur la lumière se rend dans un lac. La transmission de la lumière disponible dans l'eau, pour les algues, est mesurée *in situ* à différentes profondeurs.

L'appareil de mesure, une sonde quantimètre (licor LI-1400; Figure 4), est constitué de deux capteurs : un capteur qui mesure la lumière dans l'air, qui est donc gardé horizontalement à la surface de l'eau, et l'autre qui mesure la lumière à une profondeur donnée (lumière *transmise*).

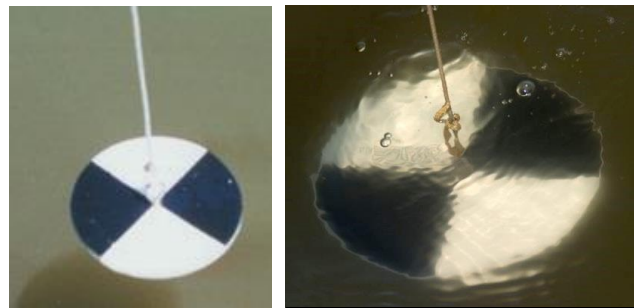


Figure 4 : Quantimètre, avec capteur pour mesurer dans l'air et capteur pour mesurer la lumière transmise dans l'eau

Le capteur, qui mesure la lumière transmise, est descendu progressivement dans le lac, à tous les 0,5 m de profondeur. Les mesures s'arrêtent lorsque l'appareil indique une valeur de 0.

Ces mesures nous permettent de calculer le pourcentage de diffusion de la lumière dans la colonne d'eau et déterminer jusqu'à quelle profondeur la lumière se rend, dans le lac, et donc à quelle profondeur elle est disponible pour les algues.

Il existe un autre appareil utilisé pour mesurer la disponibilité de la lumière dans la colonne d'eau : le disque de Secchi (Figure 5), un disque qui a généralement 20 cm de diamètre et est suspendu à un fil gradué. Le fil présente des repères visuels de mesures de couleurs différentes, afin de distinguer les mètres et les décimètres.



**Figure 5 : Disque de Secchi**

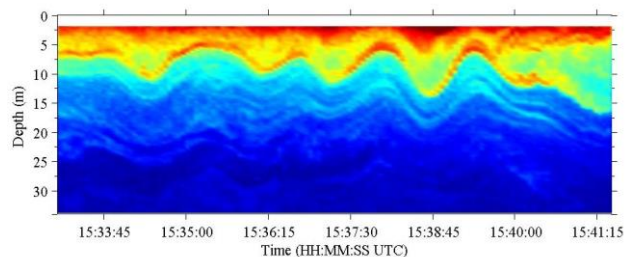
Le disque de Secchi sert à évaluer à quelle profondeur pénètre la lumière dans l'eau. En eau calme, sans reflet, au milieu de la journée, le disque est descendu jusqu'à le perdre de vue. On note la profondeur, on remonte doucement le disque et on note la profondeur à laquelle il réapparaît. L'exercice est répété plusieurs fois et la valeur retenue est la moyenne des profondeurs à laquelle le disque réapparaît. Cette profondeur moyenne, multipliée par 2, nous donne la profondeur de la **zone euphotique**. L'utilisation du disque de Secchi est ainsi assez simple mais dépend de l'acuité visuelle de la personne qui l'utilise.

### Mesure des mouvements de l'eau dans le lac <sup>1</sup>

Les **ondes internes** dans un lac provoquent des mouvements de l'eau et donc des variations de température en période de stratification. La Figure 6 illustre ces ondes telles que photographiées, et lorsque modélisées à partir de la température mesurée par la chaîne de senseurs (voir plus bas).



**Photographie**



**Modélisation à partir de mesures**

**Figure 6 : Ondes internes dans un lac**

<sup>1</sup> Voir le Cahier 2 pour la définition des ondes internes et de la stratification

Pour étudier les ondes internes, on enregistre *in situ* la température pendant la période libre de glace, à l'aide de **chaînes de senseurs** (*thermistors*). Chaque thermistor est placé sur une chaîne à une distance fixe entre elles (entre 0,2 – 0,5 m), et s'étendent sur toute la colonne d'eau, de la surface vers le fond du lac. Cet appareil, qui peut rester installé tout au long de l'année ou de la période d'échantillonnage, permet de mesurer en continu la température du lac. La Figure 6 illustre les ondes internes telles que photographiées, ainsi que lorsque modélisées à partir de la température mesurée par la chaîne de senseurs.

### Mesure de la biomasse des algues et identification des grands groupes d'algues

Il existe différentes façons de mesurer la biomasse des algues et d'en faire l'identification. Trois méthodes ont été utilisées dans le cas du lac Bromont : des mesures avec un fluoroprobe, présenté ici, ainsi que des analyses sur l'eau échantillonnée et en utilisant la méthode de recrutement. La méthode par analyse de l'eau est présentée à la section Prélèvements des échantillons dans le lac. La méthode de recrutement, qui n'est pas présentée ici, a entre autres été utilisée dans le cadre des travaux de Myriam Jourdain au lac Bromont.

Le FluoroProbe (BBE Moldaenke GmbH, Kiel-Kronshagen, Allemagne), présenté à la Figure 7, est une sonde qui permet d'identifier et de quantifier les grands groupes d'algues<sup>2</sup>. La sonde fluoroprobe est plongée directement dans l'eau du lac, à différentes profondeurs et jusqu'au fond du lac. On obtient ainsi l'abondance des différents groupes d'algues en fonction de la profondeur, ainsi que la température, ce qui permet de déterminer les différentes couches d'eau dans la colonne d'eau, soit l'**épilimnion**, le **métalimnion** et l'**hypolimnion**.

Cette technique est basée sur la fluorescence des principaux pigments des grands groupes d'algues car chaque groupe d'algues possède des pigments qui le caractérise (et qui leur donnent leur couleur). La sonde a la capacité de reconnaître les pigments et de les quantifier ; les quantités de chaque pigment sont ensuite transformées en biomasse pour chaque grand groupe d'algues.



**Figure 7 : Sonde fluoroprobe pour identifier et quantifier les grands groupes d'algues**

---

<sup>2</sup> Voir Cahier 2 sur les connaissances générales sur les lacs

## Prélèvement des échantillons dans le lac

### Les nutriments et les algues dans l'eau du lac

Dans le lac, les échantillons d'eau sont obtenus à l'aide d'un hydrocapteur qui permet de prélever l'eau à la profondeur voulue. C'est un appareil constitué d'une bouteille d'environ un litre (il existe des bouteilles de plus grande capacité), de deux bouchons en latex situés aux extrémités de la bouteille, d'un témoin et d'une corde graduée tous les 0.5 m (Figure 8).

Avant de descendre le dispositif dans le lac, la bouteille doit être ouverte (Figure 8B). Pour cela, les deux bouchons sont maintenus de chaque côté de la bouteille par un système de fils et de crochets. Le dispositif est ensuite descendu à la profondeur voulue et on envoie le témoin qui actionne un système qui relâche les bouchons, ce qui ferme la bouteille avec l'eau à l'intérieur. L'hydrocapteur est par la suite remonté (Figure 8C).

L'eau prélevée est transférée dans des bouteilles préalablement rincées, pour chaque profondeur échantillonnée : des bouteilles claires pour les analyses de nutriments et des bouteilles opaques pour l'identification des algues. Deux prélèvements sont effectués pour chaque profondeur afin d'obtenir deux échantillons appelés *réplicas*. Ces bouteilles sont placées dans des glacières afin de conserver au froid.

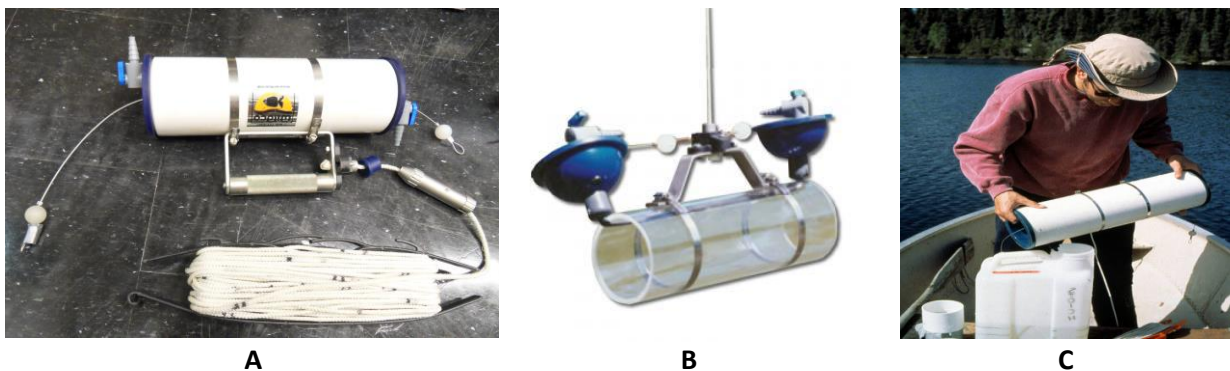


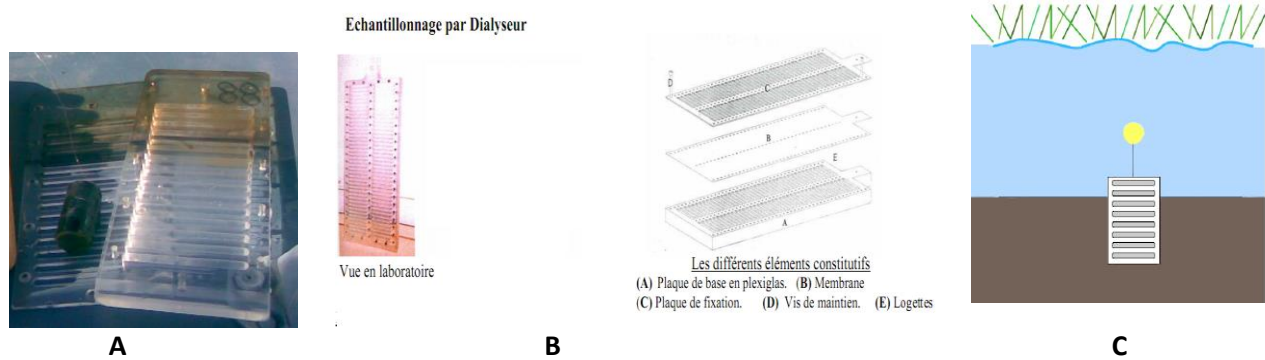
Figure 8 : Hydrocapteur de type Van Dorn pour les prélèvements d'eau : A : vue complète; B : bouchons retenus et bouteille ouverte; C : bouchons relâchés et bouteille fermée

Cette eau sera par la suite sous-échantillonnée pour les mesures de concentrations des **nutriments** et de **chlorophylle-a** totale (voir la section Traitement in situ des échantillons prélevés). Par contre, des sous-échantillons sont immédiatement prélevés pour **l'identification des algues**; à ces sous-échantillons sont ajoutés 2ml de lugol (solution d'iode), pour préserver les algues jusqu'aux analyses.

### Les nutriments dans les sédiments du lac

L'échantillonnage par dialyseur est une méthode qui permet d'évaluer les **concentrations** de phosphore inorganique dissous (**PO<sub>4</sub>**) et en azote inorganique dissous (**NH<sub>4</sub>**) contenues dans l'**eau interstitielle** des **sédiments**, qui pourraient être relarguées dans l'eau en période d'**anoxie**. Le dialyseur est constitué de deux plaques en plexiglas et comprend deux séries de cellules (ou logettes), qui permettent d'obtenir des échantillons à tous les centimètres (Figure 9), dans les

sédiments. Suivant la longueur des plaques, on peut échantillonner de 20 à 50 cm de profondeur. Les deux plaques sont séparées entre elles par une membrane filtrante et un des côtés est rempli d'eau déminéralisée. Les plaques sont vissées pour maintenir l'étanchéité.

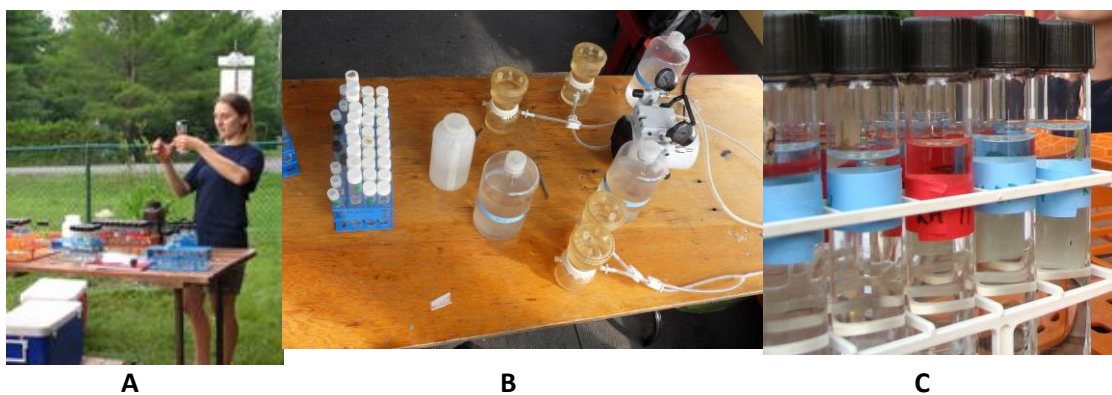


**Figure 9 : Dialyseur : A : photographie; B : schéma descriptif de la structure ; C : schéma de l'installation**

Dès que le dialyseur est installé dans les sédiments, l'eau interstitielle, qui contient le phosphore et l'azote que l'on veut mesurer, remplit le côté vide du dialyseur. Il se produit alors un échange : les nutriments passent d'un compartiment à l'autre mais sont captés par la membrane lors de leur passage. Le dialyseur est généralement laissé dans les sédiments entre une à trois semaines. Les nutriments sont récupérés sur la membrane, à chaque profondeur étudiée, puis analysés pour connaître leur concentration. On obtient ainsi une concentration en  $PO_4$  et  $NH_4$  (l'azote est sous forme ammoniacale, une sorte d'azote dissous) pour chaque cm de sédiment.

### Traitements in situ des échantillons prélevés

Une fois toutes les mesures *in situ* effectuées et les bouteilles d'échantillons d'eau des ruisseaux et du lac prélevées, les sous-échantillons, qui seront analysés en laboratoire, sont préparés directement sur le terrain, le plus rapidement possible (Figure 10).



**Figure 10 : Filtration des échantillons d'eau sur le terrain (A), kit de filtration (B) et tubes d'échantillon pour les analyses en laboratoire (C)**

Pour les mesures d'**azote total** et de **phosphore total**, on prélève 40 ml de l'échantillon de la bouteille pour le mettre dans un tube qui servira aux analyses. Ils sont appelés sous-échantillons.

Pour les mesures d'**azote dissous** et de **phosphore dissous**, 250 ml d'eau des bouteilles sont filtrés, après homogénéisation, sous vide sur filtre Millipore 45 µm. L'eau filtrée est transférée dans trois tubes, un pour les analyses de PD (40 ml), un pour les analyses de ND (40 ml) et un pour les analyses de NO<sub>x</sub> (20 ml).

Pour **la mesure de la chlorophylle-a** de 500 à 1000 ml d'eau sont filtrées sur de filtres de fibre de verre (GF/C) et les filtres sont congelés à -80 °C.

## Analyses en laboratoire suite au prélèvement des échantillons

### Analyse des nutriments

#### LA CONCENTRATION EN PHOSPHORE

Les tubes à essai remplis des sous-échantillons de PT et PD3 sont analysés en laboratoire. Les concentrations de phosphore particulaire (PP) sont obtenues par soustraction : concentrations en PT – concentrations en PD.

#### LA CONCENTRATION EN AZOTE

Les sous-échantillons de NT, ND sont analysés selon des protocoles différents. Les concentrations d'azote particulaire (NP) sont obtenues par soustraction : concentrations en NT – concentrations en ND.

### Analyse des algues

#### LA BIOMASSE DES ALGUES

Toutes les algues possèdent un pigment en commun: *la chlorophylle a* qui leur permet de réaliser la **photosynthèse** et donc de croître. La mesure de la chlorophylle-a nous donne une idée de la biomasse totale des algues dans un échantillon. Ainsi, en plus de la mesure *in situ* avec le fluoroprobe, la biomasse des algues a été évaluée par **dosage de la chlorophylle a** : la chlorophylle-a a été extraite des échantillons d'eau avec de l'éthanol chaud puis dosées par spectrophotométrie. Cet appareil permet de quantifier ce pigment et, par différentes équations, de calculer la biomasse d'algues présentes dans le lac.

#### L'IDENTIFICATION DES ESPÈCES D'ALGUES<sup>4</sup>

Une petite quantité d'eau est prélevée dans les flacons contenant le lugol puis est laissée à sédimenter dans des colonnes qui ont un fond mobile et transparent, pour être directement analysée au microscope. Les espèces d'**algues** peuvent alors être identifiées et dénombrées. Les différentes étapes de l'identification des algues sont présentées dans la Figure 11.

<sup>3</sup> Voir le Cahier 2 pour plus de détails

<sup>4</sup> Voir le Cahier 2 pour plus de détails sur les algues



(a) Échantillon d'eau du lac avec du lugol



(b) Sédimentation des échantillons pour les lames de microscope



(c) Microscope pour l'identification des algues



(d) Photographie d'algues identifiées au microscope

Figure 11 : Principales étapes pour l'identification des espèces d'algues

## SITES ET FRÉQUENCES D'ÉCHANTILLONNAGE

### Sites d'échantillonnage dans le lac et dans les ruisseaux

Chaque année, le **lac** a été échantillonné dans sa partie la plus profonde, au centre du lac (cercle blanc central, à la Figure 10), dans les 3 couches de la colonne d'eau (épilimnion, métalimnion, hypolimnion), sauf en 2007, où le métalimnion n'a pas été échantillonné.

La Figure 12 présente aussi les sites d'échantillonnage (carrés blancs) des 4 **ruisseaux** d'entrée au lac (R1, R2, R3, R4 : flèches rouges) et sa décharge (R5: flèche verte) : en amont de l'entrée au lac pour R1 à R4, et au début du R5. À partir de 2009, les ruisseaux ont également été échantillonnés à leurs embouchures avec le lac (cercles jaunes). Les sites d'implantation des **dialyseurs** sont représentés par les triangles marron, à la Figure 12.

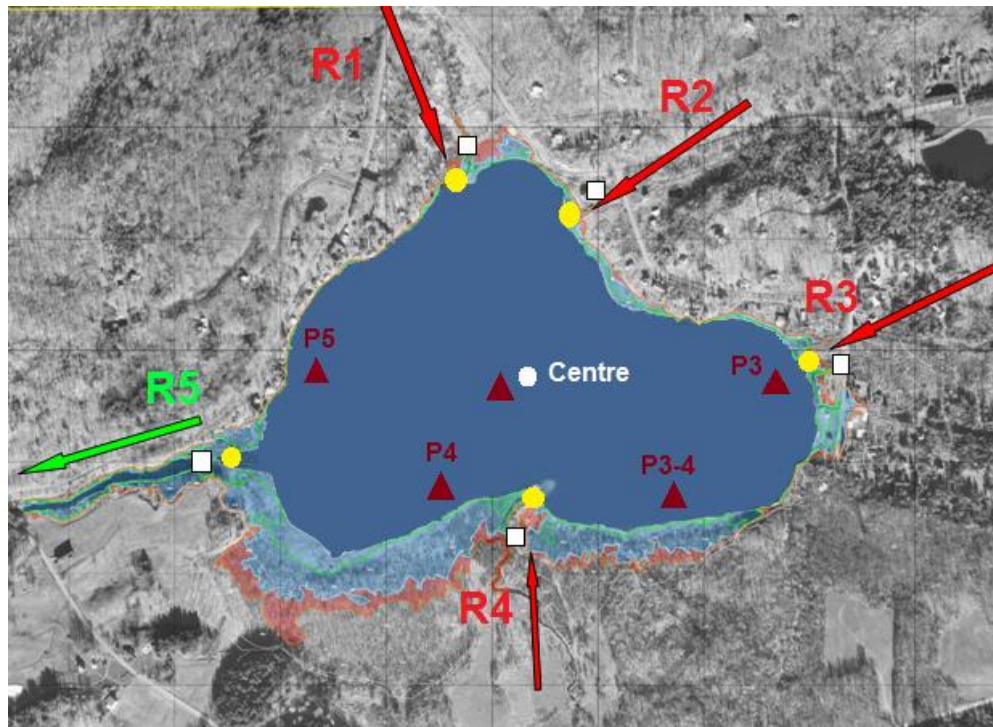


Figure 12 : Sites d'échantillonnage dans le lac et dans les ruisseaux d'alimentation

La mesure de **nutriments** dans les ruisseaux permet de calculer des bilans, à partir des quantités de nutriments mesurées dans les quatre ruisseaux d'entrée et de la quantité de nutriments mesurée dans le ruisseau de sortie.

En 2007, une première carte bathymétrique du lac a établi que la zone la plus profonde du lac était à 6 m et un premier 'point centre' a été placé dans cette zone. En 2009, la localisation du centre du lac a été revue, suite à la reprise du relevé bathymétrique du lac, réalisée par Serge Paquet de l'équipe de l'UQAM. Sur la nouvelle carte, la profondeur maximale est de 7,2m.

## PRINCIPAUX CALCULS ET LECTURE DES GRAPHIQUES

### Calculs des bilans des nutriments

Un bilan de nutriment vise à évaluer le résultat net entre les **apports externes** de nutriments, et les **sorties** ou **exports** de nutriments dans un lac. Le Cahier 2 présente l'ensemble du concept de bilan des nutriments et ses limites. Nous ne les reprendront donc pas ici. Rappelons seulement que le bilan, calculé par la différence entre les apports et les exports d'un nutriment donné (le phosphore, par exemple), permet de savoir combien de phosphore est resté dans le lac et combien en est sorti. Ce calcul est ainsi un des moyens de déterminer si un lac agit comme un *puits* de nutriments, ou si ses sédiments en sont la *source* principale.

Le calcul du bilan d'un nutriment donné nécessite de connaître la somme des apports (ou la somme des charges, ou la **charge totale**) de ce nutriment apportée par toutes des entrées d'eau au lac, ainsi que la quantité du nutriment qui est sortie du lac. Une **charge nette** est calculée, en soustrayant de la charge totale la quantité du nutriment sortie du lac.

#### CALCUL DE LA CHARGE

Pour un ruisseau, sa charge en un nutriment donné est la quantité de ce nutriment que le ruisseau apporte au lac en une journée. Cette charge est calculée à partir de :

- la **concentration** du nutriment mesurée dans le ruisseau ( $C_R$ ), c'est-à-dire la quantité de nutriment contenue dans, par exemple, 1 litre d'eau du ruisseau;
- le **débit** du ruisseau ( $Q_R$ ), c'est-à-dire le volume d'eau qui passe dans le ruisseau en une journée.

En multipliant ces deux variables ( $C_R \times Q_R$ ), on obtient la quantité du nutriment apportée au lac par le ruisseau en une journée, soit la **charge** du ruisseau pour ce nutriment.

Comme le bilan d'un nutriment se calcule sur la base de toutes les entrées au lac, dans le cas du lac Bromont, la **charge totale** pour chaque nutriment étudié a été calculée sur la somme des charges apportées au lac par les 4 ruisseaux qui l'alimentent (R1 à R4). Comme chacun de ces ruisseaux a un débit et des concentrations en nutriments qui lui sont propres, la charge totale d'un nutriment au lac a été calculée comme suit :

$$\text{CHARGE TOTALE AU LAC} = (C_{R1} \times Q_{R1}) + (C_{R2} \times Q_{R2}) + (C_{R3} \times Q_{R3}) + (C_{R4} \times Q_{R4})$$

La quantité de nutriment sortie du lac Bromont a été calculée ainsi :

$$\text{SORTIE DU LAC} = (C_{R5} \times Q_{R5})$$

Ce qui conduit au calcul du bilan, par exemple ici, du bilan de phosphore :

$$\text{CHARGE TOTALE de P} - \text{SORTIE de P} = \text{CHARGE NETTE de P}$$

## RÉSULTATS POSSIBLES DU CALCUL DES BILANS NE NUTRIMENTS

La Figure 13 présente les trois résultats possibles du calcul d'un bilan.

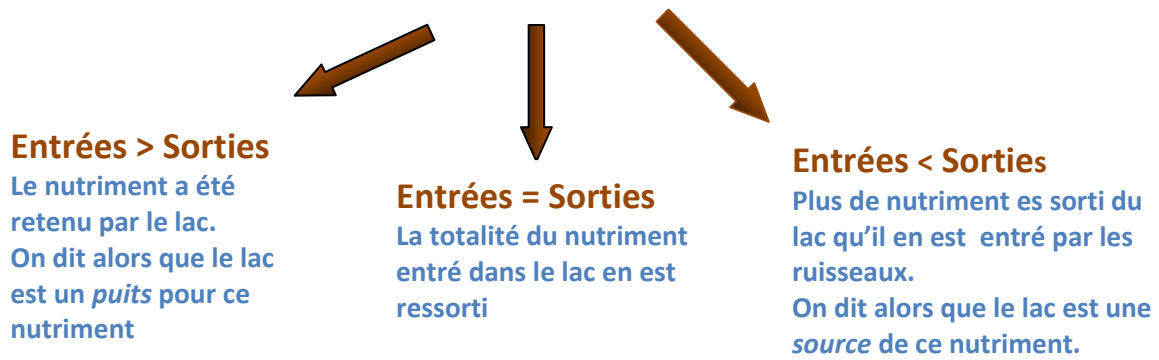


Figure 13 : Les trois résultats possibles du calcul du bilan d'un nutriment

## LA LECTURE DES GRAPHIQUES

Les trois graphiques qui suivent présentent des exemples de distribution de la température (Figure 14), de l'oxygène dissous (Figure 15) et des cyanobactéries (Figure 16) dans la colonne d'eau du lac, suivant la profondeur de l'eau et à travers le temps.

Ces graphiques sont fournis dans tous les cahiers du Programme de recherche qui rapportent les années d'études au lac Bromont. Ils se lisent de la même façon, soit de gauche à droite, à travers le temps, et ont la même structure :

- L'axe horizontal présente les saisons de la période libre de glace (printemps, été, automne)
- L'axe vertical présente la profondeur de l'eau (en mètres : m); le haut du graphique représente la surface du lac (profondeur 0 m) et le bas du graphique, le fond du lac (profondeur 6 m).
- Les variables présentées (température, oxygène dissous, cyanobactéries) sont accompagnées d'une légende qui leur est spécifique.

### Le graphique de la distribution de la température

Les graphiques de la distribution de la température dans la colonne d'eau suivant la profondeur de l'eau et à travers le temps, sont réalisés à partir des mesures de la multisonde ou des données des chaînes de thermistors<sup>5</sup>. La Figure 14 en présente un exemple.

La légende, à droite du graphique, fournit l'échelle des degrés Celsius (°C) de la température de l'eau. Dans cette légende, chaque couleur représente un intervalle de 2 °C; la couleur varie du bleu, pour les températures les plus froides, au rouge pour les températures les plus chaudes. **Le lac est stratifié** lorsque l'on observe plusieurs couleurs entre la surface (profondeur de 0 m) et le fond (profondeur de 6m) du lac.

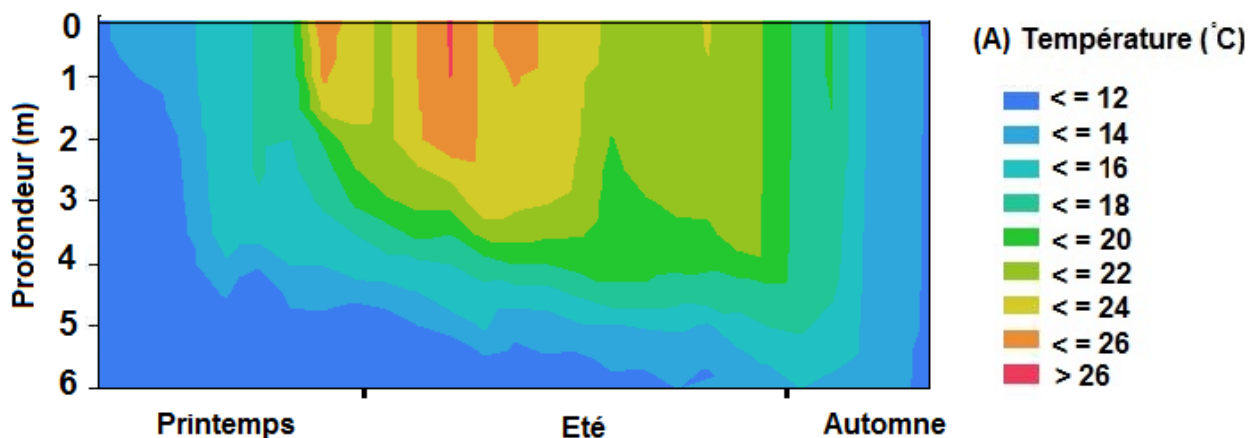


Figure 14 : Graphique de la distribution de la température en fonction de la profondeur de l'eau et du temps

<sup>5</sup> Voir plus haut les mesures in situ

## Le graphique de la distribution de l'oxygène

Les graphiques de la distribution du pourcentage (%) d'oxygène dissous dans la colonne d'eau, suivant la profondeur de l'eau et à travers le temps, sont réalisés à partir des mesures de la multisonde. La Figure 15 en présente un exemple.

La légende à droite du graphique fournit l'échelle du % d'oxygène dissous dans l'eau; la couleur varie du bleu, pour les % en oxygène les plus élevés, au rouge pour les % en oxygène les plus bas. Selon Serrano et al, lorsque le % en oxygène est inférieur à 5 %, il manque d'oxygène dissous dans l'eau (hypo-anoxie), ce qui correspond à la couleur rouge, à la Figure 15.

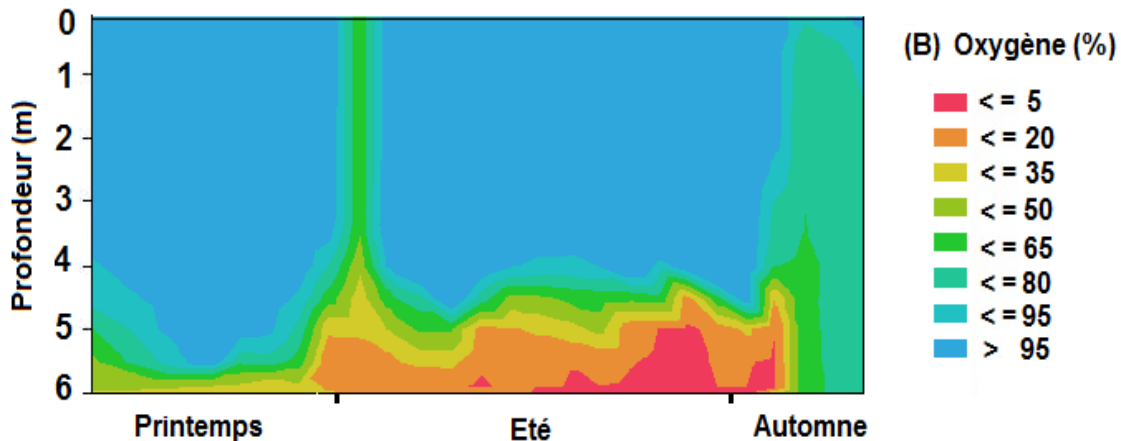


Figure 15 : Graphique de la distribution de l'oxygène (%) en fonction de la profondeur de l'eau et du temps

## Le graphique de la distribution des cyanobactéries

Les graphiques de la distribution des cyanobactéries dans la colonne d'eau, suivant la profondeur de l'eau et à travers le temps, sont réalisés à partir des mesures de la multisonde. La Figure 16 en présente un exemple.

La légende, à droite du graphique, fournit l'échelle de biomasse (kg) de cyanobactéries; plus la couleur est foncée, plus la biomasse de cyanobactéries est élevée. Les cercles verts foncés en surface, à la Figure 16, représentent les **efflorescences** observées lors des échantillonnages.

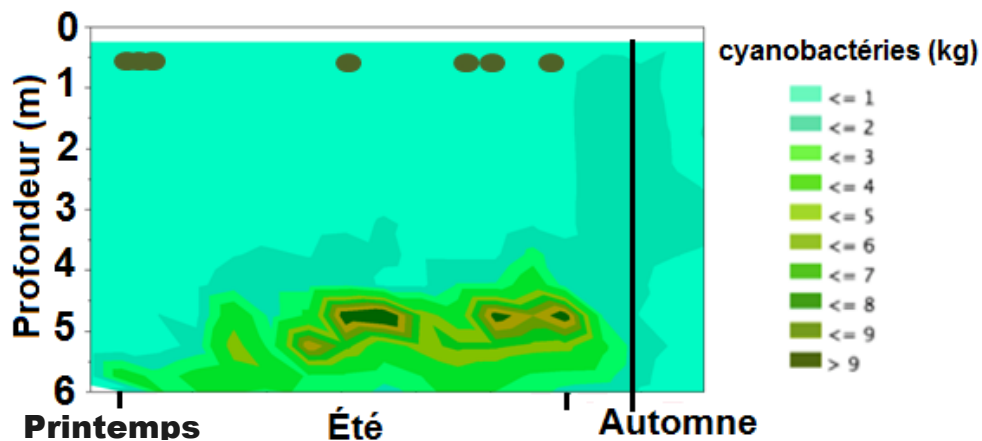


Figure 16 : Graphique de la distribution des cyanobactéries en fonction de la profondeur de l'eau et du temps

## RÉFÉRENCES

- Jourdain, M. 2010. *Les effets des variables environnementales sur le recrutement des cyanobactéries et des akinètes*. Mémoire. Université du Québec à Montréal, Montréal, Québec.
- Sakho Issa (2007). *Hydro-Sédimentologie de l'Estuaire de la Somone*. *Int Ver Theor Angew Limnol Verh* 19:3221–3231.14p.
- Sartory, D.P. et J.U. Grobbelaar 1984. Extraction of chlorophyll a from freshwater phytoplankton for spectrophotometric analysis. *Hydrobiologia* 114: 177-187
- Seranno, P. A., S. R. Carpenter, and R. C. Lathrop. 1997. *Internal phosphorus loading in Lake Mendota: Response to external loads and weather*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **54**:1883-1893.