

**Suivi des impacts de la coupe  
forestière sur la physico-chimie et le  
régime hydrologique des lacs alcalins  
de la réserve faunique des Chic-  
Chocs – 2<sup>ième</sup> année d'activités**

*Rapport de recherche R-1048*

*Avril 2009*



**Suivi des impacts de la coupe forestière  
sur la physico-chimie et le régime  
hydrologique des lacs alcalins de la  
réserve faunique des Chic-Chocs – 2<sup>ième</sup>  
année d'activités**

**Rapport annuel**

**PROJET VOLET 1 (PMV1-11-08-002)  
Année financière 2008-2009**

**Par :  
Claude Fortin  
Marc-André Robin  
Sylvain Jutras  
Alain N. Rousseau**

**Université du Québec  
Institut national de la recherche scientifique  
Centre Eau, Terre et Environnement  
Québec, Canada**

**Rapport de recherche R-1048  
ISBN 978-2-89146-592-2**

**Avril 2009**



# Table des matières

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introduction.....                                                                                | 1  |
| 1.1. Problématique .....                                                                            | 1  |
| 1.2. Objectif poursuivi .....                                                                       | 1  |
| 1.3. Hypothèse .....                                                                                | 2  |
| 2. Matériels et méthodes .....                                                                      | 3  |
| 2.1. Choix des sites .....                                                                          | 3  |
| 2.1.1. Paire de lacs #1 .....                                                                       | 4  |
| 2.1.2. Paire de lacs #2 .....                                                                       | 6  |
| 2.1.3. Paire de lacs #3 .....                                                                       | 7  |
| 2.2. Méthode d'échantillonnage de l'eau des lacs .....                                              | 9  |
| 2.2.1. Sonde multiparamétrique .....                                                                | 10 |
| 2.2.2. Description du protocole de prise d'échantillons d'eau.....                                  | 10 |
| 2.3. Instrumentation hydro-météorologique .....                                                     | 11 |
| 2.3.1. Station météorologique .....                                                                 | 12 |
| 2.3.2. Station de jaugeage .....                                                                    | 13 |
| 2.3.3. Levé bathymétrique .....                                                                     | 15 |
| 3. Résultats.....                                                                                   | 17 |
| 3.1. Description des caractéristiques physiques des lacs .....                                      | 17 |
| 3.1.1. Levé bathymétrique .....                                                                     | 17 |
| 3.2. Description de la physico-chimie des lacs .....                                                | 18 |
| 3.3. Description des données hydrométéorologiques .....                                             | 23 |
| 4. Discussion.....                                                                                  | 27 |
| 4.1. Calendrier des réalisations et des activités à venir.....                                      | 28 |
| 5. Conclusion et perspectives.....                                                                  | 29 |
| 6. Bibliographie.....                                                                               | 31 |
| 7. Annexes.....                                                                                     | 33 |
| 7.1. Annexe 1 : Compensation barométrique.....                                                      | 33 |
| 7.2. Annexe 2 : Résultats bruts des paramètres physiques, biologiques et chimiques .                | 35 |
| 7.3. Annexe 3 : Exemple de distribution entre les phases dissoute et particulaire (août 2008) ..... | 43 |

## Liste des figures

|                                                                                                                                                                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Schéma simplifié de l'influence de la récolte forestière sur le bilan hydrologique .....                                                                                                                                                                       | 2  |
| Figure 2 : Exemple d'un lac marneux et ses interactions. (1) Minéralisation de la roche calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) par les eaux souterraines; (2) Dégazage du $\text{CO}_2$ ( $\text{pH}\uparrow$ ); et (3) Précipitation de la calcite ( $\text{pH}\downarrow$ ) ..... | 2  |
| Figure 3 : Localisation géographique des lacs sélectionnés .....                                                                                                                                                                                                          | 3  |
| Figure 4 : Carte topographique délimitant le bassin versant du lac Ébron. ....                                                                                                                                                                                            | 4  |
| Figure 5 : Carte topographique délimitant le bassin versant du lac des Pics. ....                                                                                                                                                                                         | 5  |
| Figure 6 : Carte topographique délimitant les bassins versants du lac X (gauche) et du lac Z (droite) .....                                                                                                                                                               | 6  |
| Figure 7 : Carte topographique délimitant le bassin versant du lac au Foin. ....                                                                                                                                                                                          | 7  |
| Figure 8 : Carte topographique délimitant le bassin versant du 2e Lac de Manche-d'Épée. ....                                                                                                                                                                              | 8  |
| Figure 9 : Exemple de localisation d'un point d'échantillonnage et du capteur de pression submersible (levelogger) au lac des Pics .....                                                                                                                                  | 9  |
| Figure 10 : Station météorologique installée à proximité des chalets du Lac Mont-Louis. ....                                                                                                                                                                              | 12 |
| Figure 11 : Système d'ancrage du capteur de pression submersible .....                                                                                                                                                                                                    | 14 |
| Figure 12 : Schéma illustrant les mesures faites avec le poids de sonde. (1) Hauteur d'eau du lac ; (2) Hauteur de l'enregistrement. ....                                                                                                                                 | 14 |
| Figure 13 : Levé bathymétrique à l'aide d'une station totale. ....                                                                                                                                                                                                        | 15 |
| Figure 14 : Levé bathymétrique du Lac Ébron. ....                                                                                                                                                                                                                         | 18 |
| Figure 15 : Profils verticaux de quatre paramètres mesurés par sonde submersible dans chaque paire de lacs entre les 17 et 19 juillet 2007 (●○ : Température ; ▲△ : $\text{O}_2$ dissous ; ■□ : pH ; ▼▽ : Conductivité) .....                                             | 19 |
| Figure 16 : Évolution du pH dans les lacs sélectionnés en 2007 et 2008. ....                                                                                                                                                                                              | 20 |
| Figure 17 : Précipitations mesurées en 2007-2008 au Lac Mont-Louis. ....                                                                                                                                                                                                  | 24 |
| Figure 18 : Comparaison des quantités de précipitations entre la station météorologique de Cap-Chat et Lac Mont-Louis. ....                                                                                                                                               | 24 |
| Figure 19 : Niveau d'eau au Lac Ebron et précipitations en 2008. ....                                                                                                                                                                                                     | 25 |
| Figure 20 : Niveau d'eau au 2 <sup>e</sup> lac de Manche-d'Épée (2ME) et au lac au Foin 2008 .....                                                                                                                                                                        | 25 |
| Figure 21 : Schéma illustrant la nécessité d'une compensation barométrique. ....                                                                                                                                                                                          | 33 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau 1 : Description des caractéristiques physiques des lacs sélectionnés.....                                                     | 17 |
| Tableau 2 : Principaux paramètres physiques, chimiques et biologiques déterminés dans les lacs sélectionnés (moyenne 2007- 2008)..... | 21 |
| Tableau 3 : Concentrations dissoutes mesurées de certains ions dans les lacs sélectionnés (moyenne 2007-2008).....                    | 22 |
| Tableau 4 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (1) .....                                                    | 35 |
| Tableau 5 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (2) .....                                                    | 36 |
| Tableau 6 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (3) .....                                                    | 37 |
| Tableau 7 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (4). .....                                                   | 38 |
| Tableau 8 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (5). .....                                                   | 39 |
| Tableau 9 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (6). .....                                                   | 40 |
| Tableau 10 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (7). .....                                                  | 41 |
| Tableau 11 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (8). .....                                                  | 42 |
| Tableau 12 : Fraction particulaire (%) pour l'échantillonnage d'août 2008.....                                                        | 43 |



# 1. Introduction

Ce rapport constitue une description des activités de recherche et de développement tenues lors de l'année financière 2008-2009 dans le cadre du Suivi des impacts de la coupe forestière sur la physico-chimie et le régime hydrologique des lacs alcalins de la réserve faunique des Chic-Chocs : projet financé par le programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier (PMVRMF - Volet 1) du Ministère des Ressources naturelles et de la Faune. Ce suivi s'étendra sur quatre ans et ce rapport fait état des activités liées aux deux premières années du projet.

## 1.1. Problématique

À l'intérieur de la réserve faunique des Chic-Chocs, certains lacs ont un pH élevé qui se situe près de la limite supérieure de tolérance de la faune aquatique. Cet état naturel est relié à la présence de sols riches en calcaire sur les bassins versants. La réserve faunique des Chic-Chocs, tout comme l'ensemble des réserves fauniques du réseau de la Société des établissements de plein air du Québec (Sépaq), doit voir à la préservation des habitats fauniques et des paysages naturels dans une perspective de gestion intégrée des ressources. Les gestionnaires de la réserve faunique des Chic-Chocs et le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) se questionnent à savoir si des modifications de conditions de drainage par la récolte forestière ne pourraient pas entraîner une augmentation du pH, qui serait néfaste à la faune piscicole. L'étude préliminaire réalisée par Faune-Experts (Guitard et Fleury, 2002) suggère que la récolte forestière pourrait être responsable de la baisse récente du succès de pêche de l'omble de fontaine du lac Joffre (réserve faunique de Matane). Suite à l'examen critique du rapport de Faune-Experts, Côté et Fortin (2003) ainsi que Langevin et Turcotte (2004) posent l'hypothèse que la récolte forestière dans la région des Chic-Chocs pourrait avoir un effet sur la physico-bio-chimie de l'eau des lacs par : (i) une augmentation des apports en eaux souterraines sursaturées en gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) et en carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) suite à l'augmentation de l'écoulement après la coupe - le dégazage du  $\text{CO}_2$  à la surface du lac entraînerait une production élevée de marne ( $\text{CaCO}_3$  colloïdal, marl) accompagnée d'une hausse du pH ; et (ii) une augmentation des apports en phosphore pourrait stimuler la photosynthèse, ce qui augmenterait le pH et la formation de marne - un tel mécanisme est attendu dans les sols calcareux, car le phosphore y est plus mobile que dans les podzols. Toutefois, aucune étude n'a pu valider ces postulats jusqu'à présent.

## 1.2. Objectif poursuivi

Mettre en évidence les impacts, qu'ils soient mineurs ou majeurs, de la récolte forestière sur la physico-chimie et le régime hydrologique des lacs alcalins de la réserve faunique des Chic-Chocs.

### 1.3. Hypothèse

La récolte forestière diminue l'évapotranspiration et l'interception ce qui augmente les apports en eau souterraine vers les lacs marneux de la réserve faunique des Chic-Chocs par rapport aux écoulements de surface (Figure 1). Ces eaux étant riches en carbonates et sursaturées en  $\text{CO}_2$ , elles contribuent à l'augmentation du pH du lac et de la turbidité par la formation de marne (Figure 2). Les figures suivantes illustrent ces interactions :

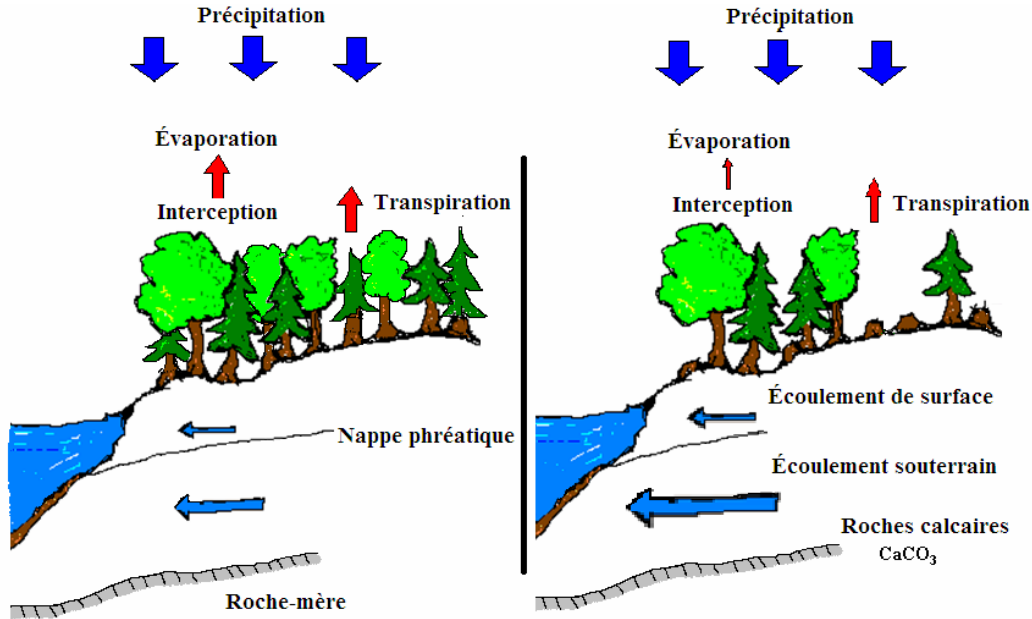


Figure 1 : Schéma simplifié de l'influence de la récolte forestière sur le bilan hydrologique

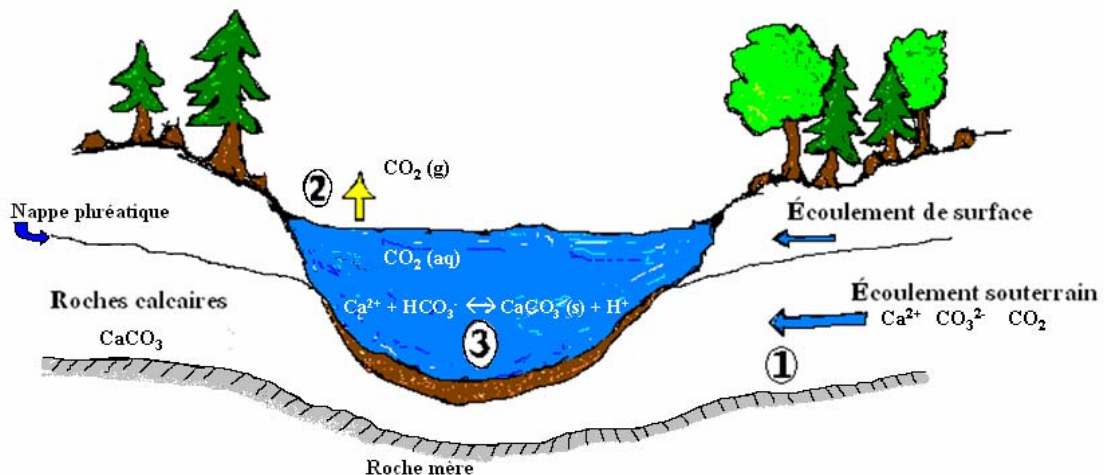


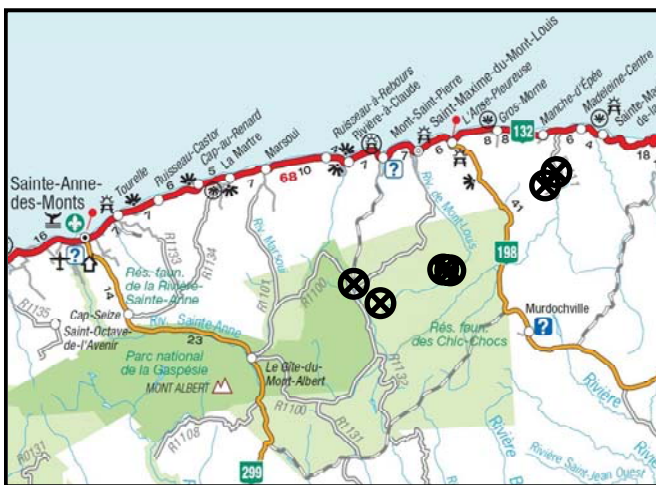
Figure 2 : Exemple d'un lac marneux et ses interactions. (1) Minéralisation de la roche calcaire ( $\text{CaCO}_3$ ) par les eaux souterraines; (2) Dégazage du  $\text{CO}_2$  ( $\text{pH} \uparrow$ ); et (3) Précipitation de la calcite ( $\text{pH} \downarrow$ )

## 2. Matériels et méthodes

La méthode préconisée en est une de comparaison jumelée. Cette méthode consiste à évaluer la physico-chimie de l'eau et le régime hydrologique de lacs avant et après la récolte forestière et d'en comparer les résultats à des lacs témoins où il n'y a pas eu de récoltes (Duhaime et Pinel-Alloul 2005). Cette étude s'échelonne sur une période de quatre ans et a nécessité une préparation logistique importante. Les caractéristiques physico-chimiques et le régime hydrologique des lacs sélectionnés sont alors étudiés au cours de deux étés de calibrage (débutant en 2007) et deux étés post-traitement (à partir de 2009). Six bassins versants comparables ont été choisis dont deux ont été soumis à la récolte forestière au cours de l'automne 2008 (Lac Z et Lac Ébron) et un troisième le sera à l'été 2009 (Lac 2<sup>e</sup> Manche-d'Épée) sur une proportion variable de leur bassin versant. Le suivi de trois paires de lacs permettra d'atteindre un niveau de précision minimal et de respecter les postulats de base requis pour l'analyse statistique.

### 2.1. Choix des sites

Au tout départ, il a été nécessaire de dresser une liste des lacs potentiels pour cette étude. Une révision du territoire sous aménagement de la compagnie GDS, soit l'aire commune 112-22, a permis d'identifier plusieurs lacs. Cette première étape a été effectuée principalement du début juin au début juillet 2007. Une confirmation de leur accessibilité, et de l'état de récolte de leur bassin versant a été faite par Luc Gagnon de GDS et Bermans Drouin de la réserve faunique des Chic-Chocs. Une visite sur le terrain a ensuite été faite afin de confirmer l'exactitude de ces choix préliminaires et afin d'effectuer un premier échantillonnage sur les lacs sélectionnés. Cette première visite a eu lieu du 16 au 20 juillet 2007.



### 2.1.1. Paire de lacs #1

#### Lac Ébron :

Localisation : 49°02'33''N, 65°53'06''O.

Lac situé à la marge du Parc de la Gaspésie et de la réserve faunique des Chic-Chocs. Accès facile par la route du Mont-St-Pierre (route 2) et de l'accès routier du Lac à Pierre. Un court portage d'environ 100 m est nécessaire afin d'atteindre le Lac Ébron. Le sentier à emprunter est situé à gauche du stationnement du Lac à Pierre. Une chaloupe peut être réservée auprès des autorités du Parc de la Gaspésie. Lac peu profond (~1,5 m) avec bassin versant escarpé. L'exutoire se jette dans le Lac à Pierre. Nous avons noté un passage possiblement fréquent de chaloupes dans l'exutoire.

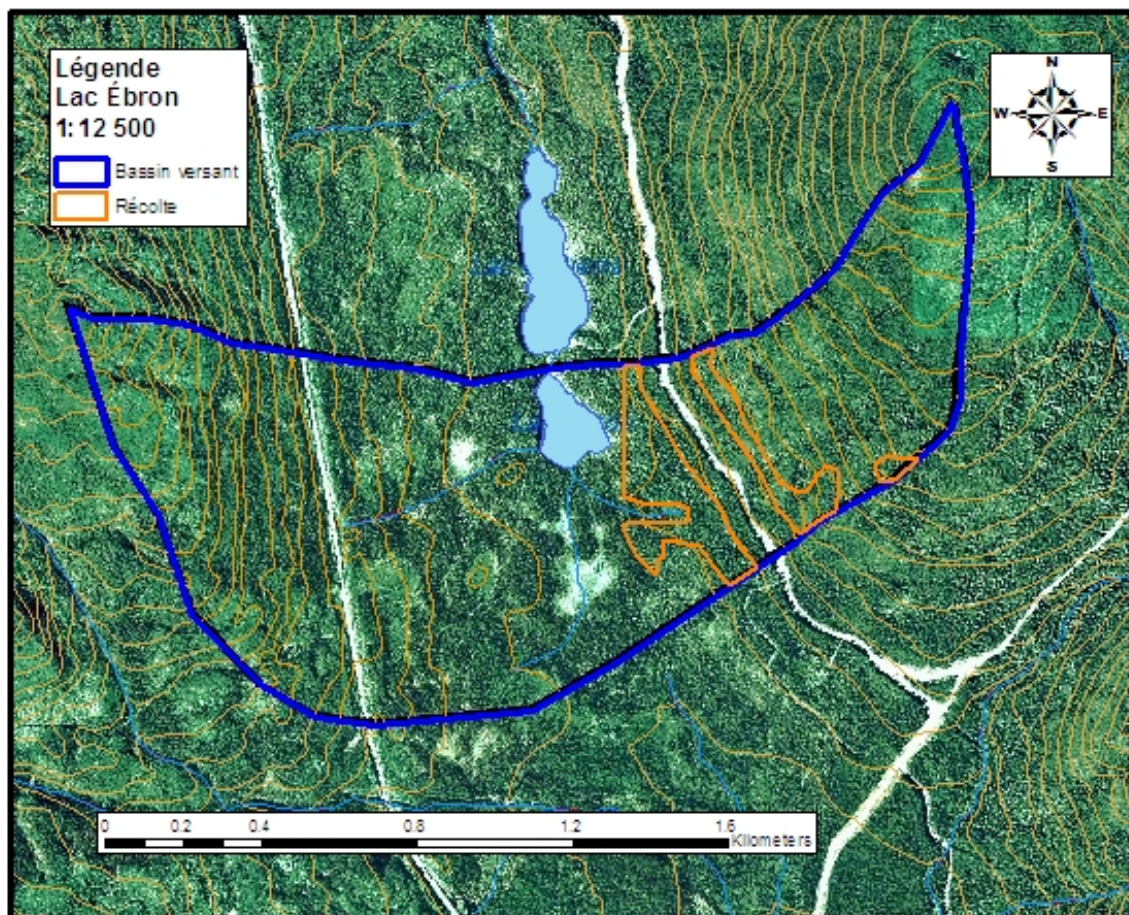
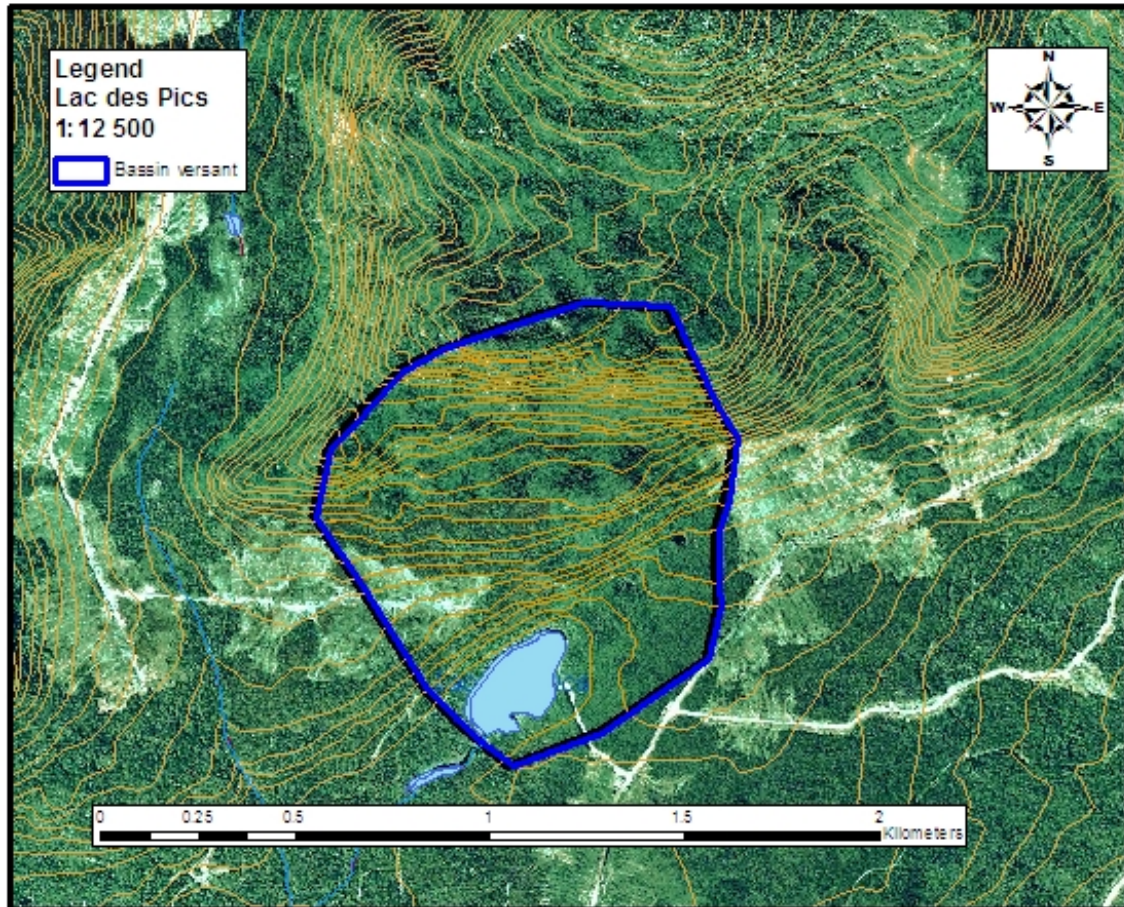


Figure 4 : Carte topographique délimitant le bassin versant du lac Ébron.

Lac des Pics :

Localisation : 49°01'03''N, 65°50'00''O.

Accès facile jusqu'au bord du lac. Chaloupe non verrouillé, accessible, à réserver auprès des gens de la Sépaq (Chic-Chocs). Lac peu profond (~1,5 m) dont le bassin versant est escarpé. Exutoire à seuil naturel formé de branches et de boue. Présence de la roche-mère en surface.



**Figure 5 : Carte topographique délimitant le bassin versant du lac des Pics.**

### 2.1.2. Paire de lacs #2

#### Lac X :

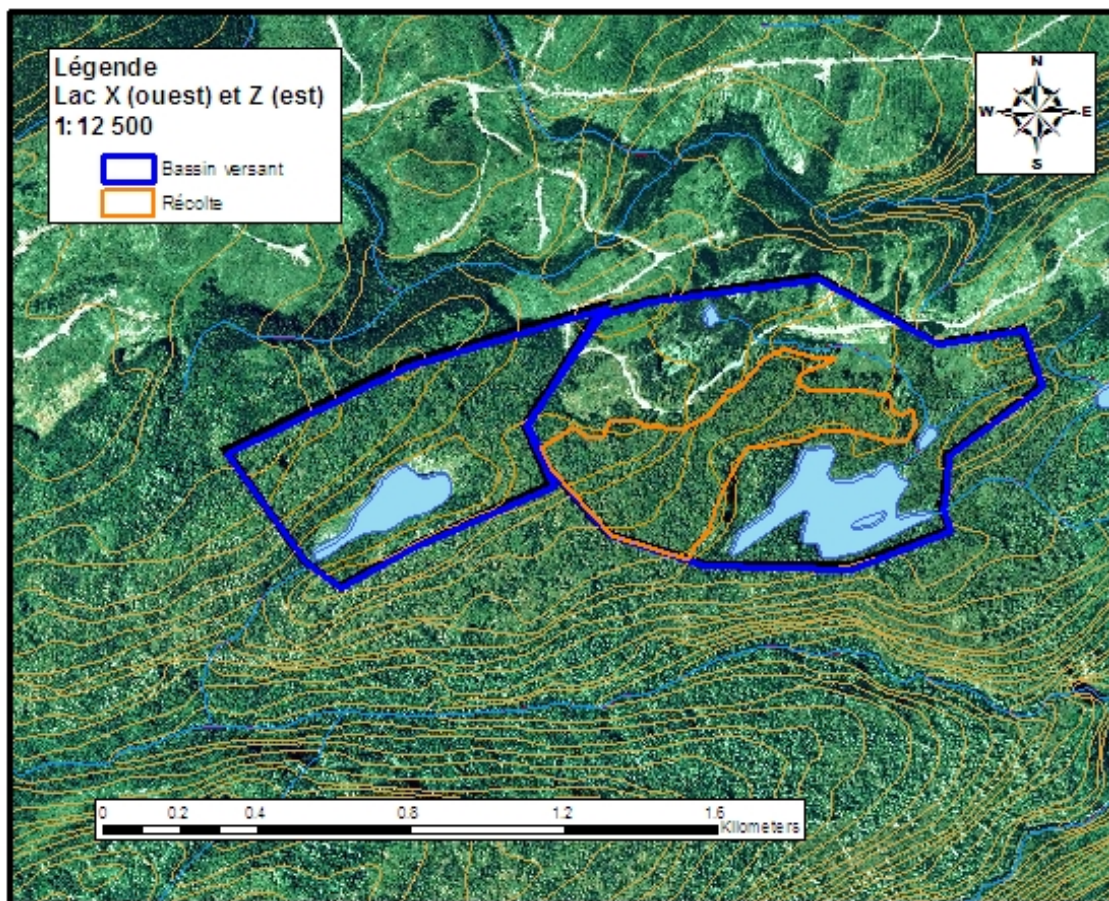
Localisation : 49°03'59''N, 65°40'10''O.

Accès routier parfois boueux et enlisant. Portage de 560 m avec section finale de 50 m dans une tourbière. Lac profond nécessitant la pompe. Seuil naturel fait d'amas de branches; 60 cm de haut; possibilité de fuites. Par la suite, écoulement dans une cédrière avec ruisseau mal défini.

#### Lac Z :

Localisation : 49°03'59''N, 65°39'13''O.

Accès routier parfois boueux et enlisant. Portage de 525 m avec section finale de 50 m dans une tourbière. Lac profond nécessitant la pompe. Exutoire très diffus dans une zone tourbeuse large (cédrière). Vestige de la présence d'un barrage de castor. Fond de sable fin au début de l'exutoire à 80 cm sous l'eau.



**Figure 6 : Carte topographique délimitant les bassins versants du lac X (gauche) et du lac Z (droite)**

### 2.1.3. Paire de lacs #3

#### Lac au Foin :

Localisation : 49°12'15''N, 65°24'52''O.

Accès par une route passante, stationnement accessible. Petit portage de 50 m pour accéder au lac. Exutoire avec petit seuil de 30 cm, fuite possible. Petit ruisseau de 2,5 m de large par 20 cm d'eau; possiblement jaugeable. Deviens rapidement diffus ensuite.

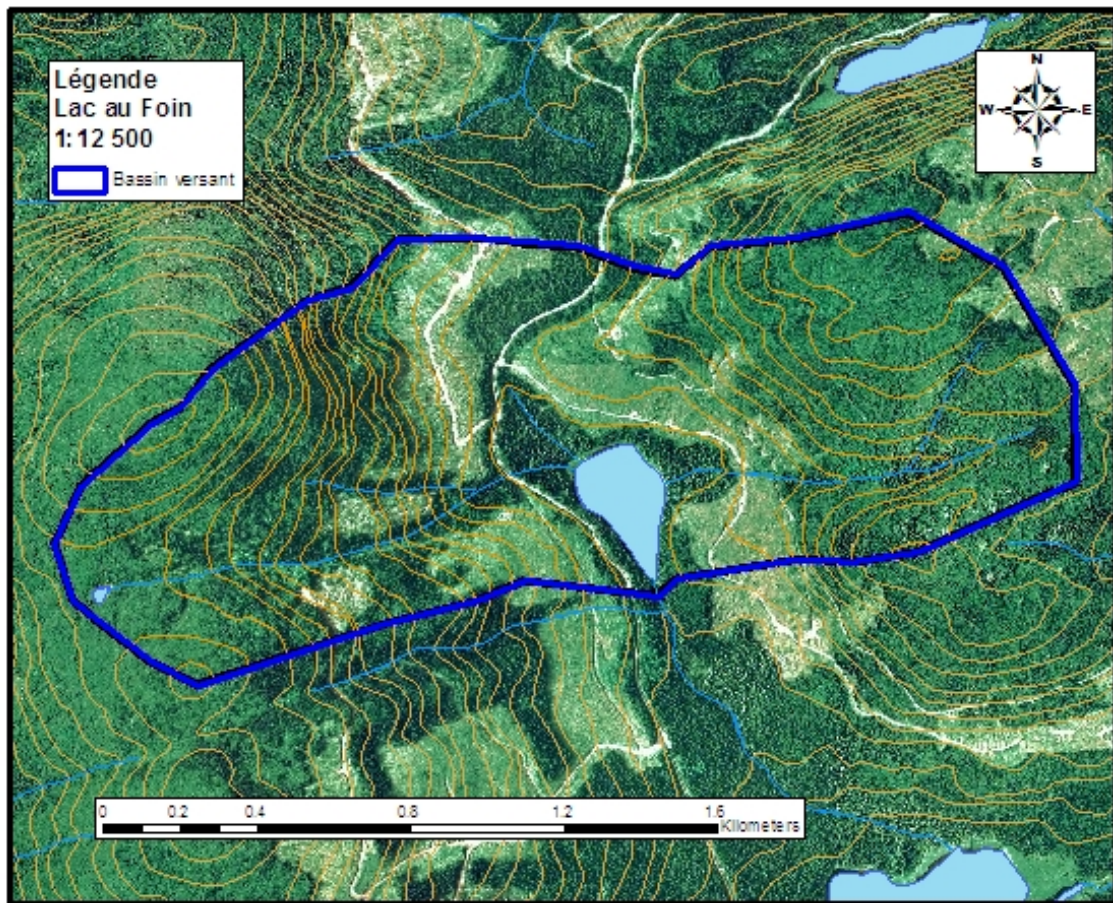
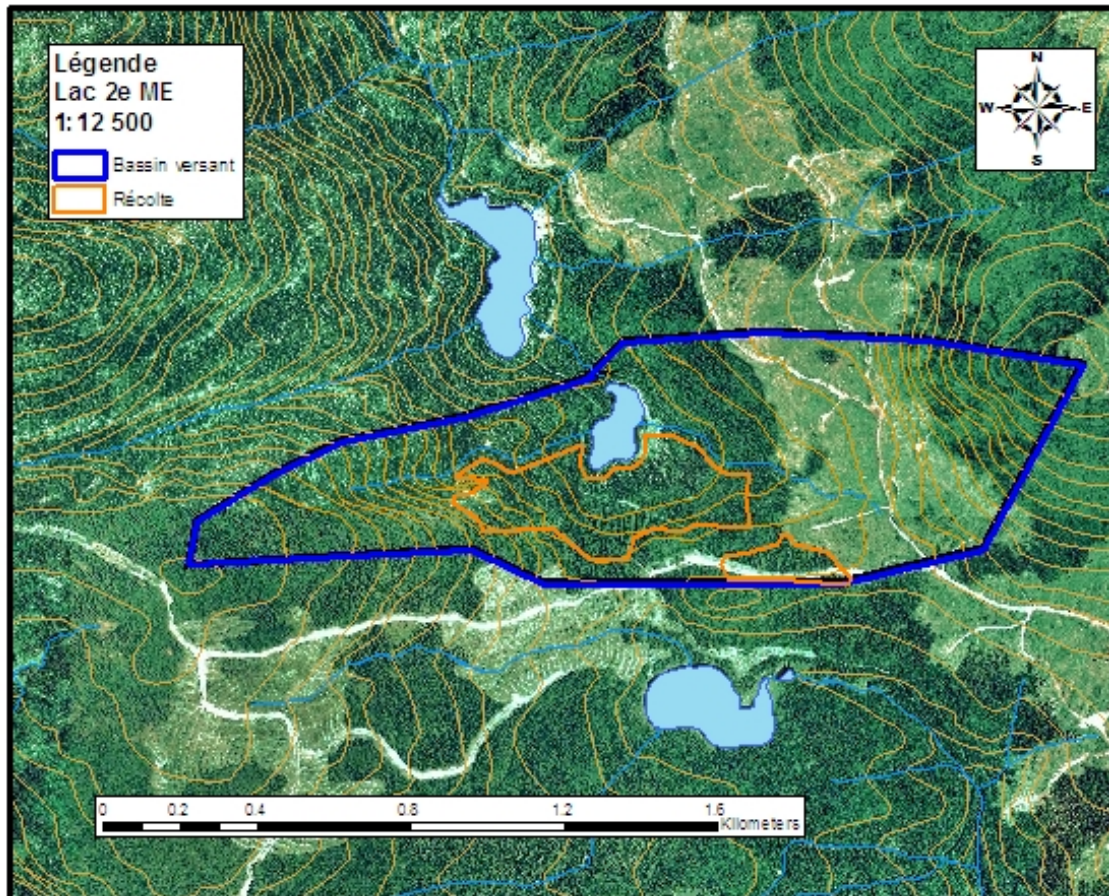


Figure 7 : Carte topographique délimitant le bassin versant du lac au Foin.

2<sup>e</sup> Lac de Manche-d'Épée :

Localisation : 49°11'12''N, 65°26'34''O.

Accès routier hasardeux avec sol très en pente et souvent miné par les pluies. Place de stationnement très restreinte. Petit portage de 50 m pour accéder au lac. Fond du lac très vaseux avec sources d'eau visibles (1,2 m). Exutoire avec seuil naturel en pierre. Vestiges de la présence de castors il y a longtemps.



**Figure 8 : Carte topographique délimitant le bassin versant du 2e Lac de Manche-d'Épée.**

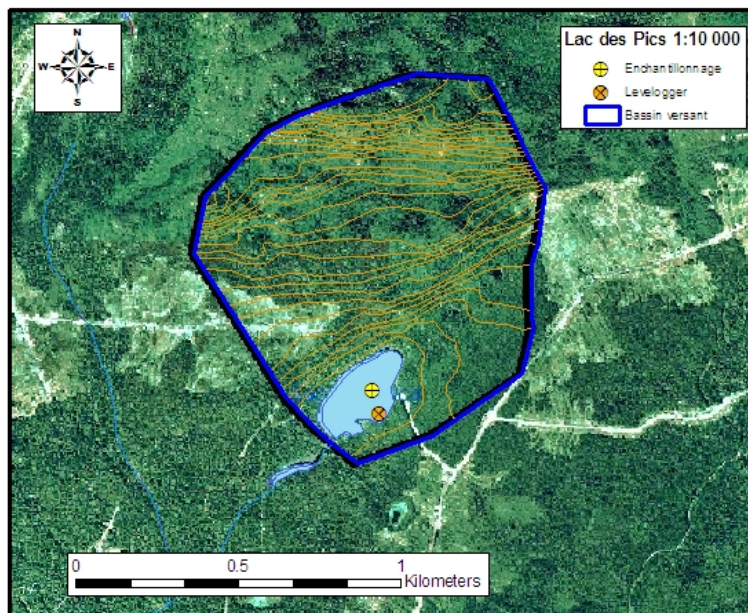
## 2.2. Méthode d'échantillonnage de l'eau des lacs

Les paramètres physico-chimiques suivants ont été mesurés dans les lacs sélectionnés :

- le pH (sonde Idronaut Ocean Seven 316 ; pH-mètre UP10 Denver Instruments avec électrode combinée Accumet 13-620-299)
- la turbidité (absorbance à 600 nm entre un échantillon filtrée et non-filtrée ; spectrophotomètre UV-visible Varian Cary 100 Bio)
- la conductivité (sonde Idronaut Ocean Seven 316)
- l'oxygène dissous et la température (sonde Idronaut Ocean Seven 316 ; sonde YSI 50B)
- les anions majeurs dissous ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  ; chromatographie ionique ; Dionex ICS-2000)
- les cations majeurs ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) et les éléments traces (Fe, Al, Mn, Ba, Cu, Zn, P) dissous et particulaires (ICP-AES ; Varian Vista AX)
- Chlorophylle a (extraction à l'acétone et mesure de fluorescence avec fluorimètre ; Turner Designs 10-005R)
- Carbone inorganique dissous, CID ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{CO}_2$  ; chromatographie en phase gazeuse ; Varian Chrompak CP-3800)
- Carbone organique dissous, COD (analyseur de carbone total ; Shimadzu TOC-V<sub>CPH</sub>)

Tous les lacs ont été échantillonnés en leur point le plus profond à l'aide d'embarcations légères (chaloupe, zodiac ou canot). Chaque point d'échantillonnage a été géoréférencé

puis cartographié (Figure 3). Le lieu d'échantillonnage est connue avec précision ce qui permet de collecter les échantillons toujours au même endroit et ainsi de réduire au maximum les risques, techniquement minimes, d'obtenir des écarts de mesure due aux variations spatiales.



**Figure 9 : Exemple de localisation d'un point d'échantillonnage et du capteur de pression submersible (levellogger) au lac des Pics**

### **2.2.1. Sonde multiparamétrique**

Lors du premier échantillonnage, effectué en juillet 2007, le pH, la turbidité, l'oxygène dissous et la température ont été obtenus de façon efficace et précise sur le terrain à l'aide d'une sonde multiparamétrique submersible Idronaut (Ocean Seven 316). Celle-ci permet l'acquisition de données en temps réel ce qui a l'avantage de rendre possible l'intégration de toutes les données en un très court laps de temps et de les acquérir sur toute la hauteur de la colonne d'eau (profil vertical). La sonde, reliée à un système d'alimentation et à un ordinateur portable, a été descendue graduellement dans l'eau en effectuant des plateaux de 50 ou 100 cm afin de permettre la stabilisation des lectures d'oxygène dissous lorsque nécessaire. La concordance des données de descente et de remontée a aussi été utilisée pour valider l'exactitude des données acquises tout au long de la colonne d'eau.

Lors du deuxième échantillonnage, effectué en août 2007, le pH, l'oxygène dissous et la température de l'eau à la surface des lacs ont été obtenus à l'aide de deux sondes : Un pH-mètre (non-submersible) et un oxymètre (submersible). L'utilisation de la sonde multiparamétrique Idronaut a été jugée non nécessaire pour la suite du projet dû aux faibles variations des paramètres mesurés sur les lacs peu profonds (< 2 m). Pour les deux lacs plus profonds (4 et 7 m), une pompe submersible a été utilisée afin d'emmener l'eau de différentes profondeurs jusqu'à la surface et d'en mesurer le pH à l'aide du pH-mètre, tandis que l'oxymètre a été descendu manuellement dans la colonne d'eau. La même démarche fut exécutée lors des trois campagnes d'échantillonnage effectuées en 2008.

L'étalonnage des différents capteurs de pH et d'oxygène dissous a été systématiquement effectuée au début et à la fin de chaque jour d'échantillonnage. Aucun écart notable n'a été observé au cours de ces étalonnages, démontrant la régularité de l'exactitude des capteurs utilisés.

### **2.2.2. Description du protocole de prise d'échantillons d'eau**

Les éléments traces, les anions et les cations majeurs dissous, de même que la chlorophylle a, sont des paramètres devant être mesurés en laboratoire à l'aide d'équipements spécialisés. Pour se faire, différents volumes d'eau ont été collectés d'après un protocole spécifique afin d'être ensuite transportés jusqu'à nos laboratoires pour être analysés.

Sur cinq des six lacs à l'étude, l'échantillonnage de l'eau a été fait à la surface uniquement tandis que le lac le plus profond (7 m ; lac « Z ») a été échantillonné à la surface et sous la thermocline, soit à environ 5,5 m de la surface.

Lors de l'échantillonnage, les récipients que voici ont été remplis :

- trois flacons stériles de 50 ml d'eau brute pour l'analyse de la chlorophylle a ;
- trois flacons (préalablement lavés à l'acide) de 15 ml d'eau brute pour l'analyse des cations totaux ;
- trois flacons (préalablement lavés à l'acide) de 15 ml d'eau filtrée à 0,45 µm (filtre en polycarbonate préalablement rincés) pour l'analyse des cations dissous ;
- trois flacons de 15 ml d'eau filtrée à 0,45 µm pour l'analyse des anions dissous ;
- trois tubes avec septum acidifiés, pesés et purgés préalablement à l'hélium et auxquels 1 ml d'eau filtrée à 0,45 µm est ajouté à l'aide d'une aiguille et d'une seringue pour l'analyse du contenu en carbonates (carbone inorganique dissous) ;
- une bouteille de 500 ml d'eau brute à titre préventif (en cas de perte d'un échantillon mentionné plus haut).

Trois « blancs de terrain » ont aussi été effectués à chaque mission d'échantillonnage. Cette étape consiste à effectuer le protocole d'échantillonnage complet en utilisant de l'eau ultra-pure du laboratoire qui a été apporté sur le terrain. L'analyse en laboratoire de ces échantillons permet d'identifier les contaminations possibles dues à l'approche méthodologique et de détecter des faux-positifs ou de corriger les valeurs des échantillons d'eau de lac au besoin.

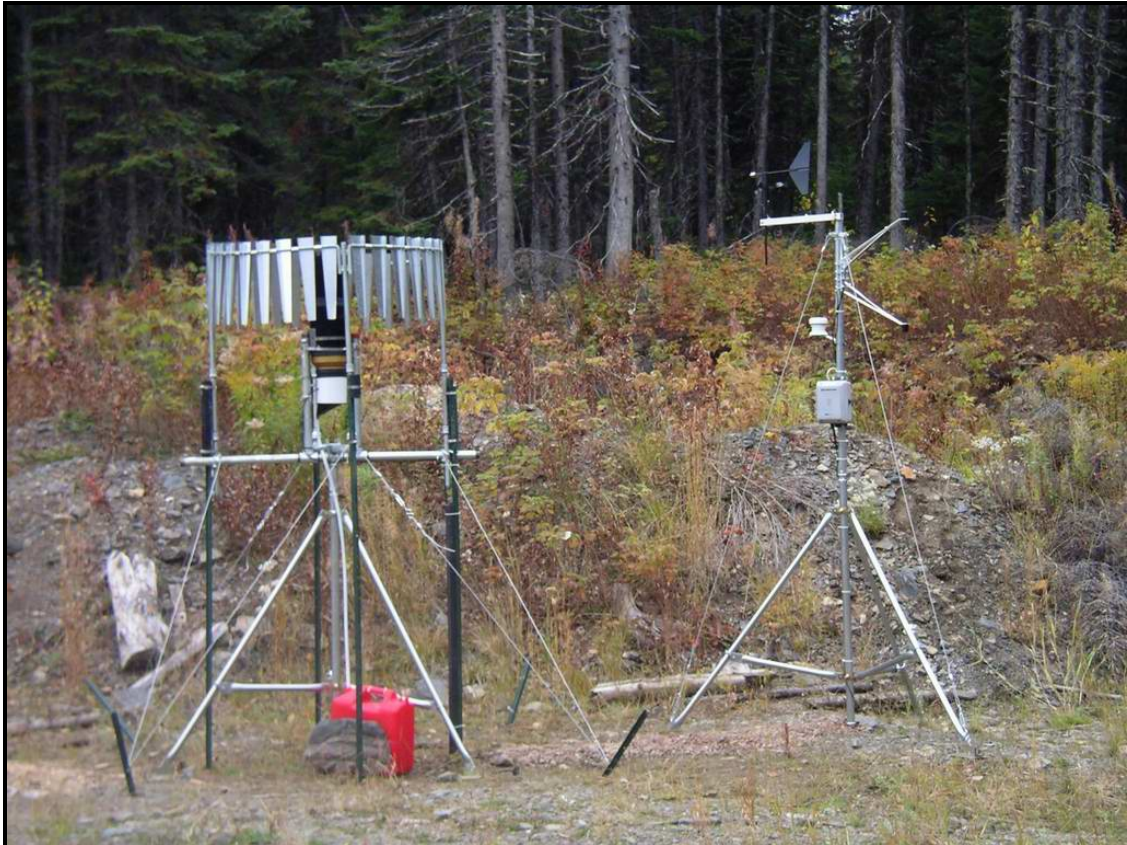
Puisque certains composés chimiques sont susceptibles d'être affectés par la chaleur et la lumière, une fois remplis, les bouteilles, les flacons et les tubes étaient immédiatement déposés dans une glacière contenant de la glace. Les échantillons récoltés pour le dosage des cations et des éléments traces étant acidifiés dans les heures qui suivent à 0,2% v/v à l'aide d'acide nitrique concentré (HNO<sub>3</sub>).

### ***2.3. Instrumentation hydro-météorologique***

Afin de documenter les impacts de la coupe forestière sur le régime hydrologique, nous avons entrepris des travaux afin d'effectuer le bilan hydrologique des lacs à l'étude. Ainsi, un protocole d'instrumentation hydro-météorologique a été développé en fonction des ressources financières octroyées dans le cadre de cette étude. Il a donc été décidé de mesurer la quantité d'eau transitant par les lacs à l'étude et de lier cette information à des données météorologiques représentatives. Ces mesures sont faites à l'aide d'une station météorologique et de capteurs de pression submersibles.

### 2.3.1. Station météorologique

La station météorologique a été installée le 11 octobre 2007 à proximité des chalets du Lac Mont-Louis. Il s'agit d'une station météorologique autonome équipée d'un précipitomètre à auget basculant muni d'un adaptateur non-chauffant pour les précipitations solide, d'un paravent de type Alter, d'un thermomètre, d'un hygromètre, d'un anémomètre, d'un baromètre et de deux pyranomètres (Figure 4).



**Figure 10 : Station météorologique installée à proximité des chalets du Lac Mont-Louis.**

Les informations recueillis, à intervalle de 15 minutes, par la station sont les suivantes :

- pression atmosphérique (mbar)
- précipitations (mm)
- température (°C)
- humidité relative (%)
- vitesse (m/s) et direction du vent
- radiation solaire ( $\text{W/m}^2$ )

La station a été achetée chez Intermountain Environmental aux États-Unis (Utah). Cette compagnie distribue les équipements scientifiques d'Onset Computers, les fabricants de

la station choisie. Deux trépieds de 3 m ont été achetés, soit un pour l'acquisiteur de données et les appareils électroniques et un autre trépied pour le précipitomètre et le paravent. Une adaptation a dû être nécessaire pour l'installation de ces instruments. Des tuyaux et manchons en acier galvanisés ont été employés à cet effet et ils ont assurés une installation rapide ainsi qu'une très grande stabilité des appareils.

D'après la fiche d'entretien du précipitomètre hivernal, le mélange d'antigel non-toxique et biodégradable, composé d'un mélange 50/50 de propylène glycol et d'éthanol dénaturé, doit être changé après 250 mm de précipitation car la dilution du mélange le rend graduellement de moins en moins tolérant au gel. Lors de la dernière sortie d'échantillonnage (21 août 2008) les données enregistrées par la station ont été téléchargées, les batteries alcalines ont été changées pour des batteries au lithium (plus résistantes au froid) et un antigel a été ajouté dans le précipitomètre. Le temps de vidange est coordonné en utilisant à titre de référence la sommation des précipitations accumulées dans la région (Stations d'Environnement Canada de Cap-Chat et Cap-Madeleine). Victor Ouellet, un employé saisonnier de la réserve faunique des Chic-Chocs, résident de Mont-St-Pierre et titulaire du permis de trappe sur le territoire où la station est installée était responsable des vidanges du précipitomètre lors de la période hivernale.

### **2.3.2. Station de jaugeage**

La hauteur d'eau des lacs sera obtenue à l'aide de capteurs de pression submersibles. Les capteurs utilisés sont le modèle Gold M5 fabriqué par Solinst (Georgetown, ON). Ces capteurs sont parfaitement autonomes et étanches ce qui permet de les installer sous l'eau pour une longue période de temps. Ils ont été ancrés à environ 1 m sous la surface de l'eau dans les lacs sélectionnés. L'ancrage était constitué d'un tube de PVC noir qui a été enfoncé directement dans les épais sédiments (Figure 11). Ils ne devraient pas directement subir de gel au cours de l'hiver et ainsi permettre la mesure du niveau du lac en continu (intervalle de 60 minutes) même lors de la période de dégel. Les deux premiers capteurs ont été installés à l'automne 2007 puis les autres au printemps 2008. Les données ont été téléchargées lors de la première sortie au printemps 2008 ainsi qu'à la fin de la saison d'échantillonnage (fin du mois d'août 2008). Ceci permet donc de connaître en continue la hauteur du niveau des lacs. L'emplacement des chaque capteur submersible a aussi été géoréférencé puis cartographié pour permettre un repérage plus facile et une installation au même endroit (Figure 9).

Les capteurs de pression submersible mesurent les pressions occasionnées par l'atmosphère ( $P_{\text{air}}$ ) et la pression occasionnée par la colonne d'eau ( $P_{\text{eau}}$ ) au-dessus de ces derniers.

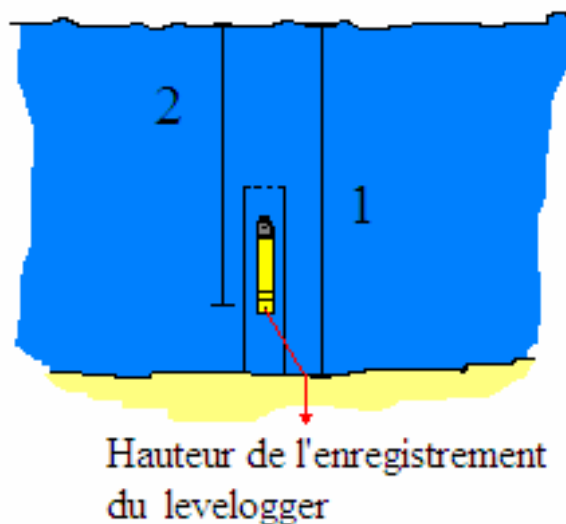
$$P_{\text{capteur}} = P_{\text{air}} + P_{\text{eau}}$$

Afin de connaître la quantité d'eau au-dessus du capteur, il suffit donc de soustraire à la pression mesurée par le capteur la pression barométrique mesurée à la station météorologique. Cette mesure de pression a ensuite été transformée en équivalent d'hauteur d'eau (m). Cette démarche est ce qu'on appelle une compensation barométrique (Annexe 1).



**Figure 11 : Système d'ancrage du capteur de pression submersible**

Lors des sorties d'échantillonnages, des mesures ont été faites pour valider et ajuster les données saisies par les capteurs de pression submersibles et pour obtenir la hauteur d'eau totale. En effet, les hauteurs d'eau obtenues après compensation barométrique par les capteurs donnent seulement la hauteur d'eau au-dessus de ces derniers (Figure 12). Il faut donc ajouter la hauteur d'eau du fond du lac jusqu'au point d'enregistrement du capteur (Figure 12). Ces mesures sont faites avec un poids de sonde.



**Figure 12 : Schéma illustrant les mesures faites avec le poids de sonde. (1) Hauteur d'eau du lac ; (2) Hauteur de l'enregistrement.**

### 2.3.3. Levé bathymétrique

Au cours de l'été 2008, un levé bathymétrique a été effectué sur le lac Ébron. Ce levé permet d'établir le volume précis du lac pour différentes hauteurs d'eau et cette information nous sera utile lors de l'évaluation du bilan hydrologique. Un GPS-Sonar a été utilisé pour faire le levé dans les zones plus profondes du lac et une station totale (Figure 13) a été utilisée pour les zones à faible niveau d'eau et les rives. Cette combinaison d'instruments permet de mesurer rapidement les zones profondes l'aide du GPS-Sonar et d'augmenter la précision du relevé, grâce à la station totale, pour les zones peu profondes et les rives. Un levé bathymétrique sera effectué sur chacun des cinq autres lacs au cours de l'été 2009.



Figure 13 : Levé bathymétrique à l'aide d'une station totale.



### 3. Résultats

#### 3.1. Description des caractéristiques physiques des lacs

La superficie du bassin versant de chacun des lacs a été déterminée à partir des données topographiques les plus précises de la région (BDTQ; 1:20 000) à l'aide du logiciel PHYSITEL développé à l'INRS-ETE. La superficie de chaque bassin versant qui a été soumis à la récolte forestière, a été fixée d'après les coupes prévues au plan quinquennal d'aménagement forestier (Tableau 1). Le pourcentage des superficies des bassins versants à l'étude allant être affectés par la récolte se situe entre 7 et 30 % d'après le plan d'intervention actuel. Même si des récoltes sur plus de 50 % d'un bassin versant sont préférables afin de générer des modifications significatives du comportement hydrologique des lacs et rivières, il est possible que des récoltes de plus petites envergures provoquent tout de même des changements physico-chimiques mesurables.

**Tableau 1 : Description des caractéristiques physiques des lacs sélectionnés.**

| Lac   | Profondeur<br>(m) | Altitude<br>(m) | Bassin<br>versant<br>(ha) | Lac<br>(ha) | Ratio<br>BV:Lac | Récoltes<br>passées <sup>#</sup><br>(%) | Récoltes<br>actuelles<br>(%) |
|-------|-------------------|-----------------|---------------------------|-------------|-----------------|-----------------------------------------|------------------------------|
| Ébron | 1,5               | 551             | 168                       | 2,6         | 65:1            | 0                                       | 7**                          |
| Pics  | 1,2               | 586             | 92                        | 3,8         | 24:1            | 5 (1998)                                | 0                            |
| X     | 5,0               | 430             | 34                        | 2,8         | 12:1            | 1 (1995)                                | 0*                           |
| Z     | 7,2               | 392             | 71                        | 6,3         | 11:1            | 16 (1995)                               | 30**                         |
| Foin  | 1,2               | 371             | 210                       | 4,7         | 45:1            | 23 (1994)                               | 0                            |
| 2ME   | 1,2               | 386             | 104                       | 1,9         | 55:1            | 26 (1994)                               | 16***                        |

<sup>#</sup> L'année de récolte principale apparaît entre parenthèse.

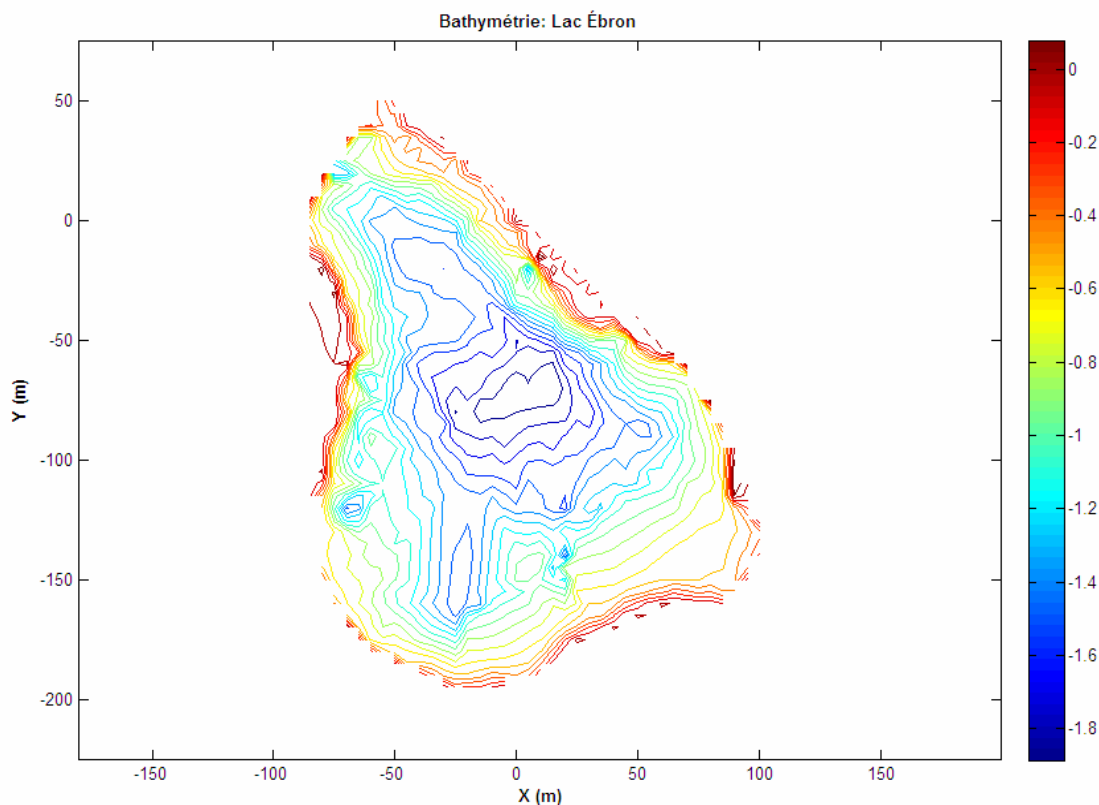
\* Une récolte forestière est prévue sur le bassin versant de ce lac mais il a été convenu avec l'exploitant de la retarder jusqu'à la fin de l'étude.

\*\* Les travaux de récoltes ont eu lieu à la fin de l'automne 2008. Ces sites seront visités lors de l'été 2009.

\*\*\* Les travaux de récoltes auront lieu à la mi-août 2009. Ce site sera visité dès que la récolte sera complétée.

##### 3.1.1. Levé bathymétrique

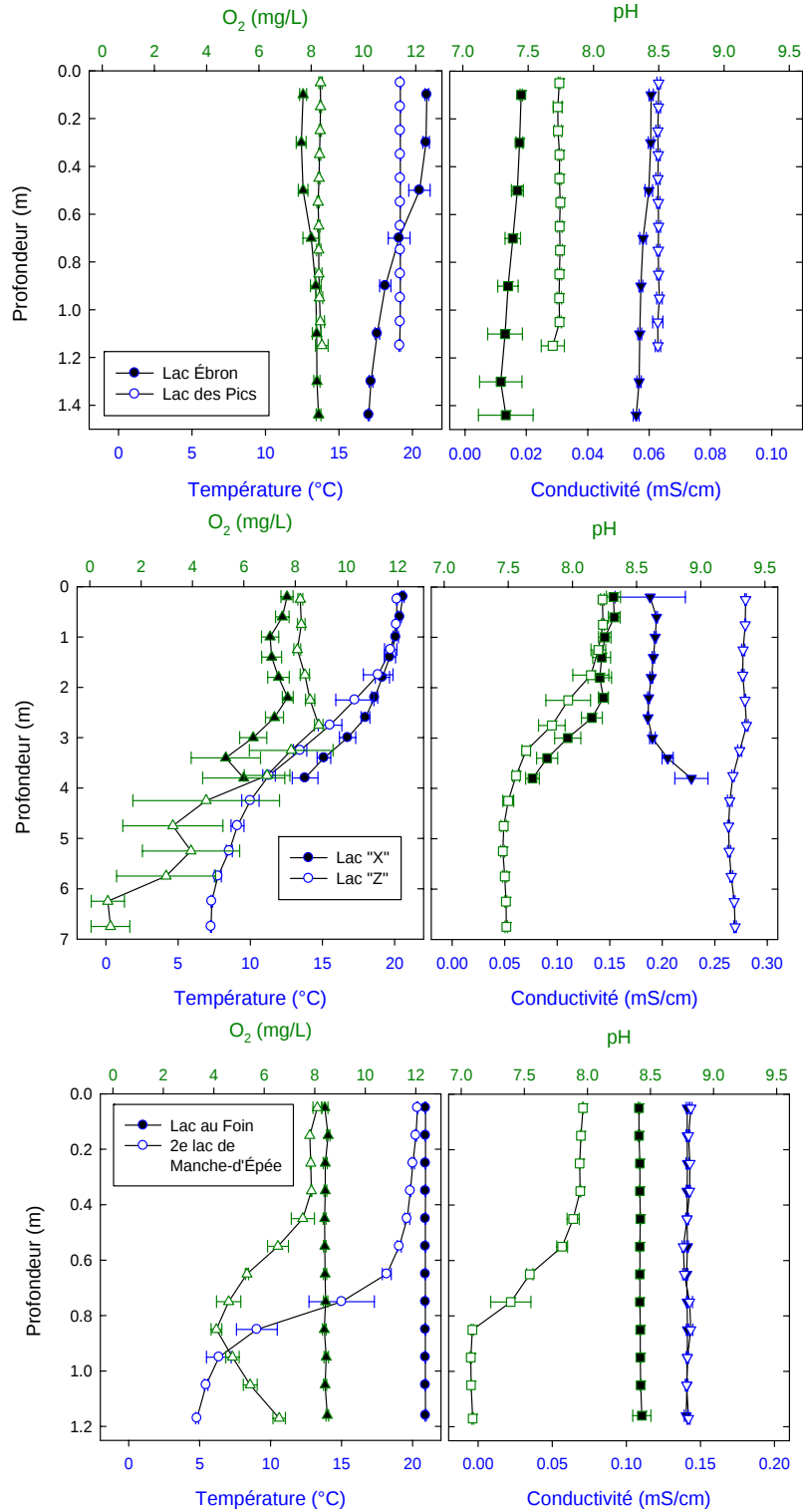
Le premier levé bathymétrique a été fait entre le 19 et le 21 août 2008 sur le lac Ébron. La combinaison du GPS-Sonar et de la station totale a donné de bons résultats (Figure 14). En établissant la bathymétrie du lac, le volume d'eau a pu être calculé selon les diverses hauteurs enregistrées par le capteur de pression submersible. La variation du volume selon la hauteur d'eau est donc connue.



**Figure 14 : Levé bathymétrique du Lac Ébron.**

### ***3.2. Description de la physico-chimie des lacs***

Afin de donner un aperçu du profil vertical de température, de conductivité, d'oxygène dissous et de pH de chaque paire de lacs, nous avons présenté les données obtenues à l'aide de la sonde Idronaut dans la figure 15 lors des visites de terrain du 17 au 19 juillet 2007. Nous avons effectué plusieurs passages de la sonde dans la colonne d'eau avec acquisition des données en temps réel (~4 lectures/sec). Afin de présenter les données de façon claire et concise, nous les avons compilées et regroupées par tranche d'épaisseur variable selon la profondeur de chaque lac. Ainsi, les barres d'erreurs représentent les écart-types des valeurs moyennes pour chaque segment de profondeur. On notera une augmentation de l'incertitude dans les segments où des changements notables se dessinent dans les profils verticaux. Ceci est dû au regroupement des données ainsi qu'au délai de réponse de certains capteurs de la sonde qui sont sensibles à la vitesse de déplacement de la sonde.



**Figure 15 : Profils verticaux de quatre paramètres mesurés par sonde submersible dans chaque paire de lacs entre les 17 et 19 juillet 2007 (●○ : Température ; ▲△ : O<sub>2</sub> dissous ; ■□ : pH ; ▼▽ : Conductivité)**

Les profils verticaux illustrés à la figure 15 confirment la similarité des caractéristiques physico-chimiques à l'intérieur de chaque paire de lacs. Les lacs « X » et « Z » sont les plus minéralisés (conductivité entre 0,19 et 0,28 mS/cm) et les lacs les moins minéralisés sont les lacs Ébron et des Pics (conductivité entre 0,056 et 0,063 mS/cm ; notez que les échelles de conductivité sont différentes pour chaque paire de lacs). En ce qui concerne l'oxygène dissous, les eaux de surface sont proches de la saturation. Par ailleurs, les lacs « X » et « Z » montrent une stratification partielle au cours de l'été avec la formation d'une thermocline sous les 2 m. Nous avons aussi noté une « anomalie » dans le 2<sup>e</sup> lac de Manche-d'Épée où l'on a observé des changements dans le pH, l'oxygène dissous et la température près des sédiments. Ces variations sont spécifiques à l'endroit où le profil a été réalisé. En effet, nous avons constaté à cet endroit une résurgence d'eau souterraine (eau plus froide et moins oxygénée). Malgré la présence de cette source d'eau souterraine, le profil indique que l'échantillonnage de l'eau de surface est représentatif de la composition de l'eau du lac car la couche de surface (0-50 cm) semble bien mélangé alors que plus en profondeur on observe un mélange graduel des eaux souterraines avec celle du lac.

Nous avons aussi prélevé des échantillons de surface pour analyse en juillet et août 2007 ainsi qu'en juin, juillet et août 2008. Les valeurs de pH sont présentées à la figure 16. Les valeurs moyennes d'autres paramètres pour les échantillons de surface récoltés en 2007 et en 2008 sont présentées dans les tableaux 2 et 3.

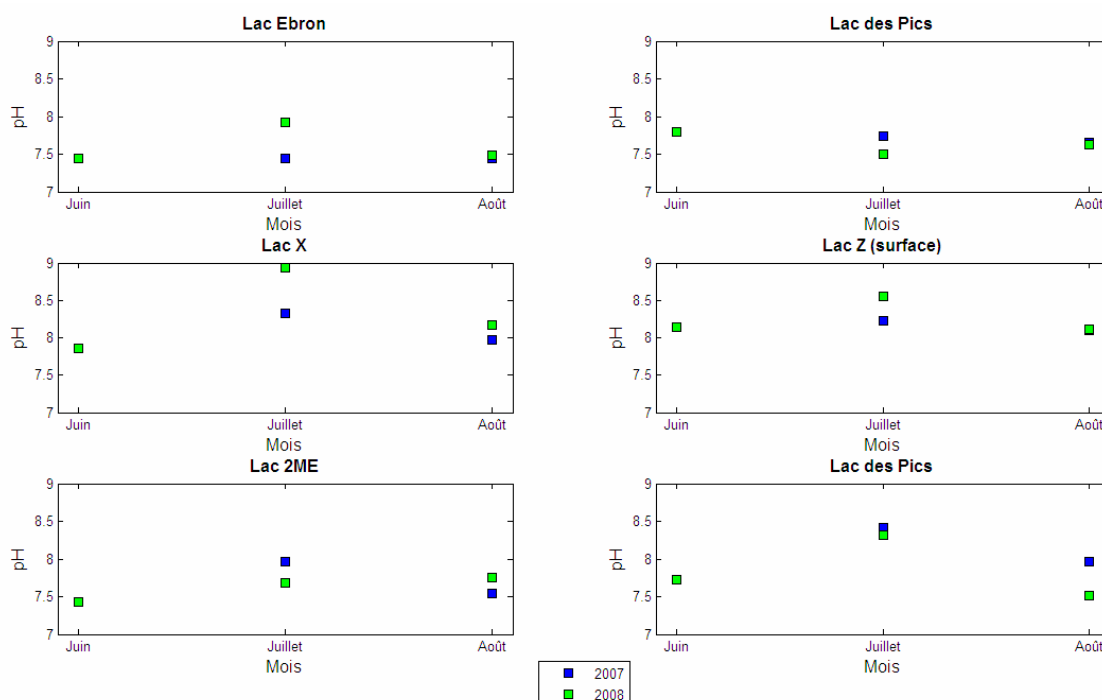


Figure 16 : Évolution du pH dans les lacs sélectionnés en 2007 et 2008.

La période de calibration étant terminée, les données amassées lors des sorties d'échantillonnage peuvent maintenant être soumises à une analyse statistique préliminaire. Le but étant de savoir si chaque paramètre physico-chimique peut être considéré semblable entre les lacs constituant une paire. Un test statistique de Wilcoxon (somme des rangs) a été utilisé. Ce test a été choisi car la normalité des échantillons n'est pas assurée et difficilement analysable étant donné la petite taille des échantillons (n=5).

Chaque paire de lacs présente des caractéristiques très similaires au niveau de la profondeur (Tableau 1), du pH, de la conductivité et de la productivité (Chl a ; Tableau 2). Les lacs sont peu profonds (< 2 m) à l'exception des lacs « X » et « Z » qui ont respectivement 5 et 7,2 m de profondeur. Ils ont tous des eaux très transparentes, comme en font foi les données de turbidité (Tableau 2). L'utilisation d'un spectrophotomètre pour déterminer la turbidité s'est avérée nécessaire ici puisque dans quatre des six lacs le fond était visible ce qui rendait l'utilisation d'un disque de Secchi inutile. On notera que tous les lacs sont oligotrophes (Chl a < 4,5 µg/L ; Wetzel, 2001).

**Tableau 2 : Principaux paramètres physiques, chimiques et biologiques déterminés dans les lacs sélectionnés (moyenne 2007- 2008).**

| Lac     | pH  | Oxygène dissous<br>(mg/L) | Turbidité<br>(unités arbitraires) | Chl a<br>(µg/L) | CID<br>(mM) | COD<br>(mg/L) |
|---------|-----|---------------------------|-----------------------------------|-----------------|-------------|---------------|
| Ébron   | 7,6 | 8,5                       | 0,0016                            | 0,50            | 0,61        | 4,8           |
| Pics    | 7,7 | 9,1                       | 0,0011                            | 0,51            | 0,68        | 5,4           |
| X       | 8,3 | 8,6                       | 0,0016                            | 0,75            | 2,1         | 4,8           |
| Z       | 8,2 | 8,6                       | 0,0009                            | 0,53            | 3,3         | 5,1           |
| 2ME     | 7,7 | 9,3                       | 0,0013                            | 0,22            | 1,4         | 2,9*          |
| au Foin | 8,0 | 9,5                       | 0,0017                            | 0,41            | 1,3         | 4,5*          |

\*= Différence significative ( $\alpha=0.05$ )

Le test statistique fait sur les paramètres de base (Tableau 2) valide le choix des paires de lacs. Les paramètres sont considérés semblables dans la majorité des cas (sauf COD pour 2ME et au Foin). La similitude des lacs, concernant les paramètres de base, est donc globalement confirmée par ce test.

**Tableau 3 : Concentrations dissoutes mesurées de certains ions dans les lacs sélectionnés (moyenne 2007-2008).**

| Lac      | F <sup>-</sup><br>(mg/L) | Cl <sup>-</sup><br>(mg/L) | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup><br>(mg/L) | Ca <sup>2+</sup><br>(mg/L) | K <sup>+</sup><br>(mg/L) | Mg <sup>2+</sup><br>(mg/L) | Na <sup>+</sup><br>(mg/L) | Al <sup>3+</sup><br>(mg/L) | Ba <sup>2+</sup><br>(mg/L) |
|----------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|----------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Ébron    | 0,016*                   | 1,2*                      | 4,7*                                    | 11                         | 0,42*                    | 1,3                        | 1,3                       | 0,025*                     | 0,011*                     |
| des Pics | 0,014*                   | 0,8*                      | 2,2*                                    | 11                         | 0,18*                    | 1,7                        | 1,1                       | 0,054*                     | 0,057*                     |
| X        | 0,028*                   | 1,7                       | 5,7*                                    | 36*                        | 0,28                     | 6,8*                       | 2,0*                      | 0,013*                     | 0,053*                     |
| Z        | 0,058*                   | 1,9                       | 4,8*                                    | 52*                        | 0,31                     | 9,0*                       | 2,2*                      | 0,008*                     | 0,108*                     |
| 2ME      | 0,017                    | 4,1                       | 7,8                                     | 19                         | 0,38                     | 4,8                        | 3,1                       | 0,013*                     | 0,028                      |
| au Foin  | 0,019                    | 3,4                       | 7,4                                     | 20                         | 0,40                     | 4,9                        | 2,8                       | 0,024*                     | 0,018                      |

\*= Différence significative ( $\alpha=0.05$ )

La composition en anions et cations (Tableau 3) reflètent les mesures de conductivité, c'est-à-dire que les concentrations les plus élevées sont observées dans les lacs « X » et « Z » alors que les plus faibles sont dans les lacs Ébron et des Pics. Pour l'année 2007, les concentrations de nitrates n'étaient pas significativement différentes des blancs de terrain (eau ultrapure du laboratoire filtrée sur le terrain ;  $0,07 \pm 0,02$  mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) ou étaient inférieures à la limite de détection de l'appareil (0,03 mg/L). Pour l'année 2008, les concentrations de nitrates des blancs de terrain avaient des concentrations plus élevées qu'en 2007. Ces mesures devaient être soustraites des valeurs de nitrates obtenues pour les lacs. Toutefois, après cette soustraction, les concentrations devenaient négligeables.

Certains éléments traces étaient présents en concentrations suffisamment élevées pour être quantifiés. C'est le cas pour le fer, l'aluminium et le manganèse (Tableau 5). En revanche, les concentrations de cuivre et de zinc étaient très rarement détectables (limites de détection respectives de 0,5 et 1 µg/L). De plus, les concentrations de phosphore étaient toujours inférieures à la limite de détection (7 µg/L), quoique la méthode utilisée soit peu sensible. Les résultats complets pour chaque sortie d'échantillonnage sont disponibles à la fin de ce document (Annexe 2). Nous avons aussi déterminé les concentrations totales en cations majeurs et traces (échantillons non-filtrés), ce qui nous a permis de déduire les concentrations particulières (Annexe 3). Globalement, les concentrations en Al, Fe et Mn particulières étaient inférieures aux concentrations dissoutes alors que la présence sous forme particulière des autres éléments était négligeable.

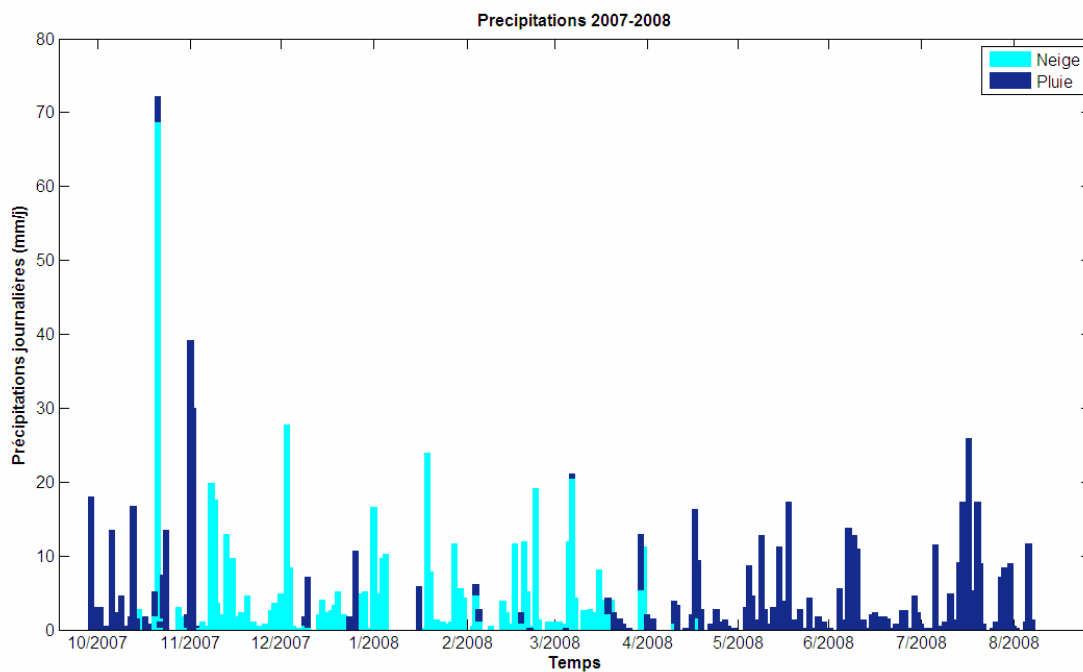
La concentration des divers ions (Tableau 3) dans les lacs est souvent statistiquement différente. Il est normal de retrouver ces variations entre les lacs. La période de calibration, tel que planifié, s'avère encore plus importante dans une telle situation. Les variations de concentration dues aux facteurs naturelles entre les lacs sont maintenant connues. Ces variations seront prises en compte lors des analyses statistiques à venir.

### **3.3. Description des données hydrométéorologiques**

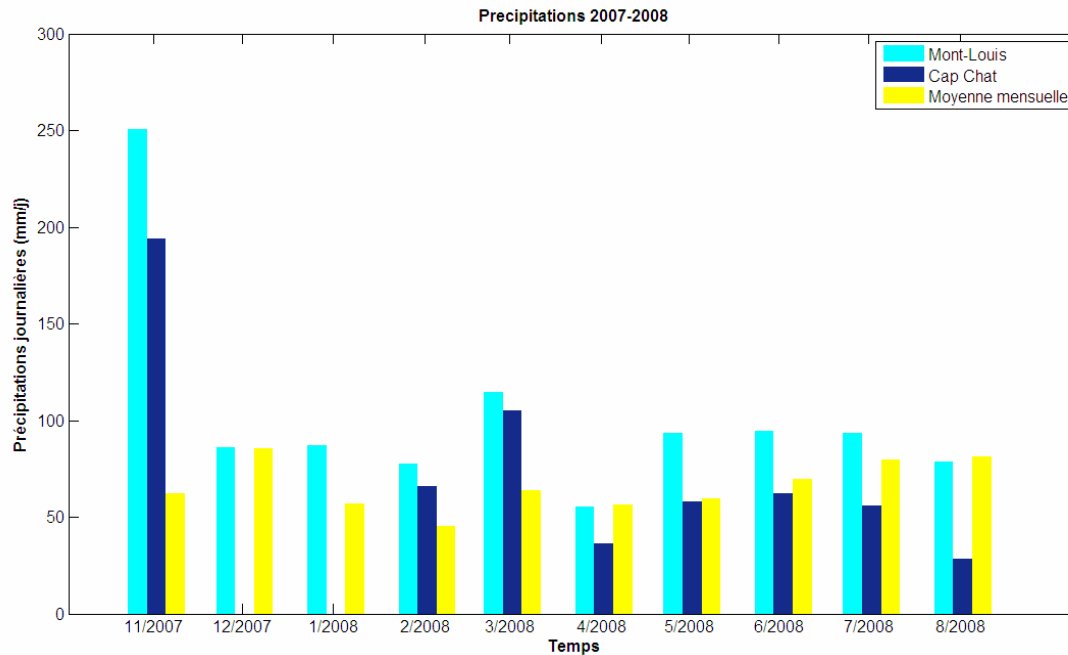
La séquence de données météorologiques suivante débute avec l'installation de la station météorologique (11 octobre 2007) jusqu'à la dernière sortie d'échantillonnage (21 août 2008). Durant cette période il est tombé 5,2 mètres de neige et 584 mm de pluie pour un total de 1 104 mm en hauteur équivalente d'eau (Figure 17).

En comparant les résultats mesurés à l'aide de nos instruments avec ceux obtenus par la station d'Environnement Canada de Cap-Chat, on remarque que les précipitations sont plus abondantes près du Lac Mont-Louis qu'à proximité du fleuve (Figure 18). Cette différence s'explique par la distance et les différences géographiques (surtout l'altitude) entre les deux localisations et illustre bien la nécessité d'avoir des données obtenues localement. La station de Cap-Chat se situe à 5 mètres d'altitude tandis que notre station (Mont-Louis) est perchée à 486 mètres d'altitude. La période étudiée est caractérisée par des précipitations abondantes. La comparaison de précipitations enregistrées à notre station avec les moyennes mensuelles calculées avec les données de la station d'Environnement Canada située à Cap-Chat le démontre (Figure 18). Ces moyennes mensuelles sont établies avec les données recueillies entre 1971 et 2000.

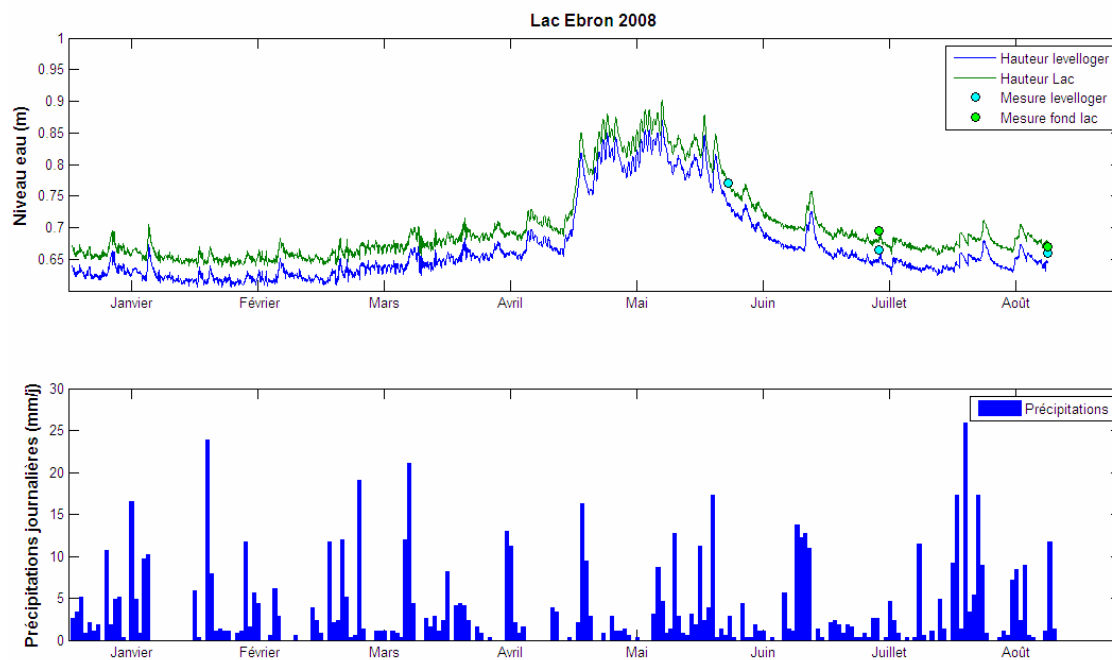
Le dispositif de capteur submersible jumelé avec les données de pressions atmosphériques de la station météo s'est avéré être une méthode efficace de mesure en continu de la hauteur d'eau d'un lac. Après avoir fait la compensation barométrique appropriée, la précision de cette mesure se situe entre 1 et 2 cm pour tous les lacs. Cette précision fut calculée en comparant les hauteurs d'eau données par le capteur submersible avec les mesures manuelles effectuées lors des sorties d'échantillonnage. Le dispositif a d'ailleurs démontré son efficacité par une excellente concordance entre la variation de hauteur d'eau des lacs et les principaux événements météorologiques (Figure 19).



**Figure 17 : Précipitations mesurées en 2007-2008 au Lac Mont-Louis.**

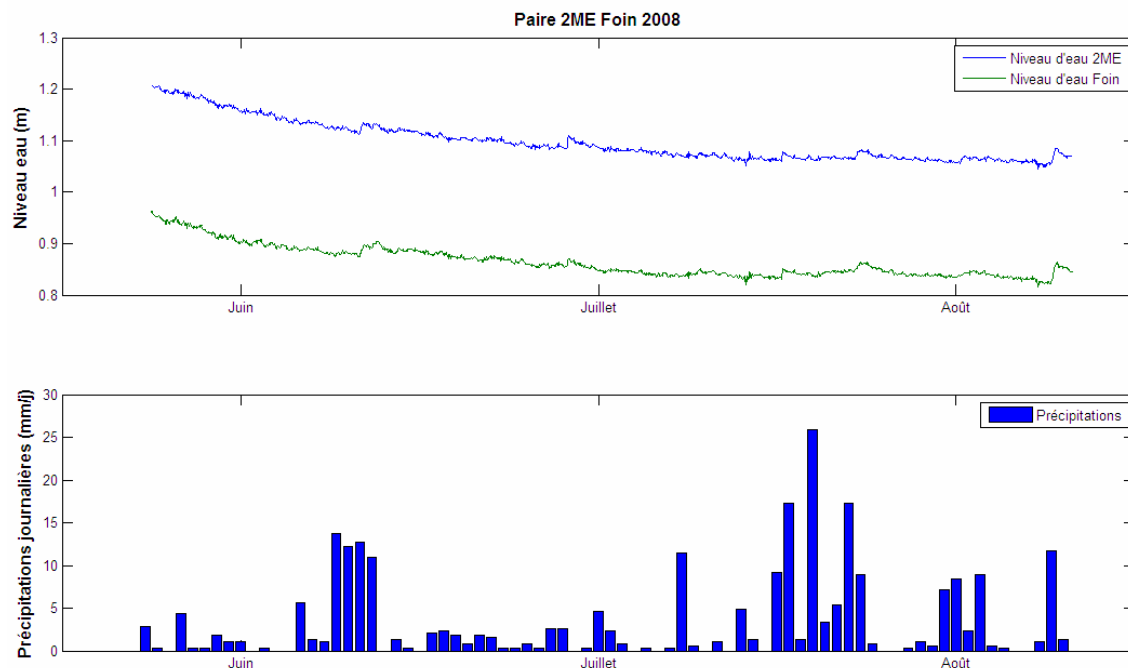


**Figure 18 : Comparaison des quantités de précipitations entre la station météorologique de Cap-Chat et Lac Mont-Louis.**



**Figure 19 : Niveau d'eau au Lac Ebron et précipitations en 2008.**

Le dispositif démontre aussi son efficacité lorsque les variations de hauteurs d'eau des paires de lacs sont comparées. Les lacs d'une même paire subissent des variations de hauteurs d'eau d'intensité semblable et synchrones (Figure 20).



**Figure 20 : Niveau d'eau au 2° lac de Manche-d'Épée (2ME) et au lac au Foin 2008**



## 4. Discussion

Globalement, les objectifs poursuivis pour les deux premières années de ce projet de quatre ans ont été atteints ou sont en voie d'être atteints. De la sélection des lacs à l'échantillonnage, l'atteinte des objectifs est liée à l'excellente collaboration avec les intervenants du milieu. Les six lacs choisis répondent à nos nombreux critères initiaux de sélection. Bien qu'il aurait été préférable d'avoir une proportion de superficie récoltée plus élevée pour maximiser les probabilités d'observer un effet de la récolte, ces conditions demeurent néanmoins représentatives des opérations forestières typiquement réalisés sur les bassins versants de la réserve faunique des Chic-Chocs.

Les paramètres limnologiques déterminés nous indiquent que le choix de nos paires de lacs était judicieux. En effet, les lacs à l'intérieur de chaque paire sont très similaires en termes de profondeur, de pH, de conductivité et de productivité (Chl a). Les lacs sont peu profonds, peu turbides et oligotrophes. De plus, les concentrations de calcium et de carbonates (carbone inorganique dissous) sont très proches pour chaque paire de lacs, deux paramètres que nous suivrons attentivement dans les deux prochaines années. Notons en terminant que nous n'avons pas détecté de présence de marne en suspension pendant la période qui précède les coupes.

Le dispositif expérimental utilisé pour faire la saisie de données hydrométéorologiques montre son efficacité pour enregistrer la hauteur d'eau dans chaque lac et sa variation en réponse aux événements météorologiques. Au cours de l'été 2008, chacune des paires de lacs a montré des variations de hauteur d'eau similaires en temps et en intensité. La méthodologie pour établir la bathymétrie des lacs s'est montrée efficace et précise. Cette information, une fois combinée avec les données hydrométéorologiques, nous permettra de connaître le volume de chaque lac en fonction de la hauteur d'eau mesurée.

En 2008 nous avons augmenté la fréquence d'échantillonnage en effectuant une troisième sortie de terrain. Nous comptons poursuivre avec trois sorties en 2009 ce qui augmentera la puissance statistique des comparaisons. La prochaine sortie d'échantillonnage (juin 2009) sera d'ailleurs la première depuis les coupes forestières de l'automne 2008 et est susceptible de nous donner un premier aperçu des effets de la récolte sur la physico-chimie des lacs alcalins de la réserve faunique des Chic-Chocs. Les travaux prévus sur le bassin versant du 2<sup>e</sup> lac de Manche-d'Épée auront lieu à la mi-août 2009. Bien que nous anticipions une coupe à l'automne 2008 comme pour les autres bassins versants, un malentendu concernant la localisation des travaux a repoussé la récolte à cet été. La bonne collaboration entre notre équipe et l'exploitant forestier a permis de diminuer à un minimum les impacts de ce retard sur le projet. Il en résulte donc une période de calibration plus longue pour cette paire de lac. La cueillette de données après traitement, pour le 2<sup>e</sup> lac de Manche-d'Épée débutera donc dès la sortie prévue au mois d'août 2009. De plus une sortie supplémentaire en septembre est envisagée dans le but d'avoir des données post-traitement suffisantes pour palier à ce contretemps.

#### **4.1. Calendrier des réalisations et des activités à venir**

- Été et automne 2007 :
  - o Sélections des lacs
  - o Récolte d'échantillons sur le terrain (juillet ; août) et analyse
- Printemps et été 2008 :
  - o Recrutement d'un étudiant à la maîtrise (Marc-André Robin)
  - o Installation des capteurs de pression submersibles
  - o Entretien de la station météo
  - o Exécution d'un inventaire forestier des bassins versants
  - o Détermination de la bathymétrie des lacs
  - o Échantillonnage de l'eau des lacs (juin ; juillet ; août)
- Automne 2008 :
  - o Analyse des échantillons
  - o Récolte forestière (Lacs Z et Ébron)
  - o Début de la formation académique en sciences de l'eau de l'étudiant à la maîtrise
- Hiver 2009 :
  - o Poursuite de la revue de littérature amorcée par les chercheurs
  - o Suite de la formation académique en sciences de l'eau de l'étudiant à la maîtrise (Marc-André Robin)
- Été et automne 2009 :
  - o Récolte d'échantillons sur le terrain (juin ; juillet ; août ; septembre) et analyse
  - o Récolte forestière (2<sup>e</sup> lac de Manche-d'Épée ; mi-août)
  - o Poursuite des levés bathymétriques des lacs
- Hiver 2010 :
  - o Début de rédaction du mémoire de maîtrise
- Été et automne 2010 :
  - o Récolte d'échantillons sur le terrain (juin ; juillet) et analyse
  - o Analyses statistiques
- Hiver 2011 :
  - o Rapport final
  - o Publication des résultats dans un périodique scientifique reconnu

## 5. Conclusion et perspectives

Nos perspectives sont optimistes pour la suite du projet. Une fois la coupe forestière complétée sur le bassin versant du 2<sup>e</sup> lac de Manche-d'Épée, le risque de complications sera faible. Une complication possible viendrait du développement éolien dans la région des Chic-chocs qui va apporter la construction d'une route traversant le bassin-versant du lac 2<sup>e</sup> Manche- d'Épée. Par contre, selon nos informations, ces travaux ne chevauchent pas la période de la présente étude. Aussi, un projet de pisciculture entretenue par un particulier, pour le lac au Foin était dans l'air. Mais il semble que le particulier en question n'a pas donné suite à ce projet. Il est important de maintenir les conditions stables sur les bassins versants à l'étude pour minimiser les variations dues à des facteurs anthropiques autres que la récolte forestière. Comme nous avons échantillonné un nombre limité de lacs, il est nécessaire de minutieusement poursuivre leur aménagement forestier selon le plan établi en collaboration avec le MRNF et l'exploitant forestier au cours des prochaines années (ex. : les coupes forestières prévues dans le bassin versant du lac X ne doivent pas avoir lieu avant l'automne 2011). Nous poursuivrons donc notre étroite collaboration avec les partenaires de ce projet.

Nous avons présenté les premiers résultats au conseil d'administration de la réserve faunique des Chic-Chocs le 7 novembre 2007. Les principaux partenaires y étaient présents, soit Langis Fournier et René Lafond du MRNF ainsi que Pierre Pitre et Bermans Drouin de la Sépaq. Nous prévoyons une nouvelle rencontre à l'automne 2009.



## 6. Bibliographie

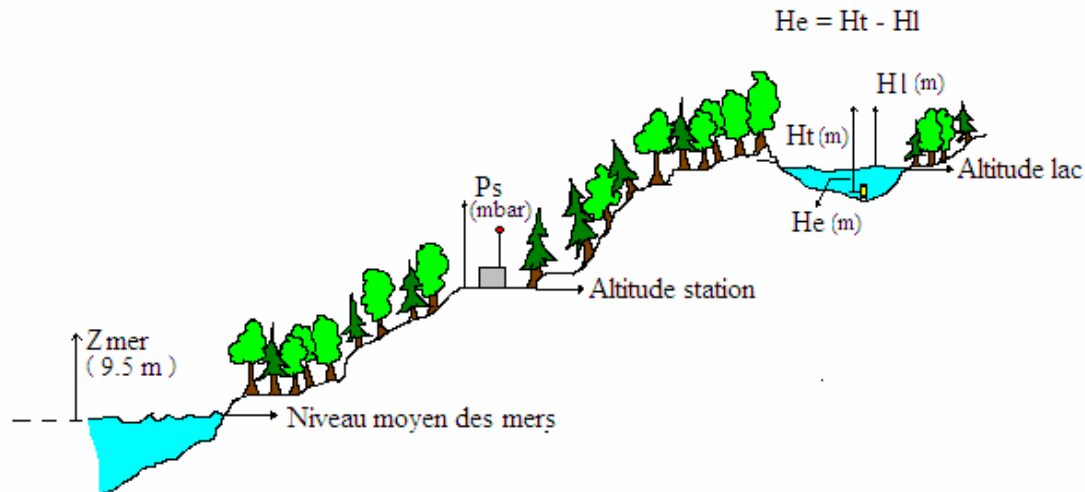
- Côté, M. et Fortin, S. 2003. Avis émis en regard de la problématique des pH basiques et de l'exploitation forestière en Gaspésie. Consortium pour le développement durable de la forêt gaspésienne. 4 p.
- Duhaime, L. et Pinel-Alloul, B. 2005. Méthode de sélection de lacs de référence dans le cadre d'une étude Before-After Control-Impact (BACI) évaluant les effets des coupes forestières sur le zooplancton des lacs de la forêt boréale. *Revue des Sciences de l'Eau*. 18 (hors-série) : 199-220.
- Guitard, A. et Fleury, M. 2002. Diagnose écologique du lac Joffre situé dans la réserve faunique de Matane. Faune-Expert inc. pour la Société des établissements de plein air du Québec. Bic. 23 p. + annexes.
- Langevin, R. et Turcotte, C. 2004. Avis sur l'impact de la récolte forestière sur le pH de lacs présentant un niveau critique d'alcalinité. Présenté au Ministère des Ressources naturelles, de la faune et des parcs et à la Société de la faune et des parcs du Québec. 5p.
- Wetzel, R.G. 2001. *Limnology – Lake and River Ecosystems*. 3<sup>e</sup> édition. Academic Press. New York. 1006p.



## 7. Annexes

### 7.1. Annexe 1 : Compensation barométrique

Compensation barométrique :



**Figure 21 : Schéma illustrant la nécessité d'une compensation barométrique.**  
**Compensation barométrique**

La pression lue par le capteur de pression submersible (Levellogger M5 Gold, Solinst inc., ON, Canada) représente la somme des pressions qui sont exercées sur l'appareil, soit la pression de la colonne d'eau et la pression atmosphérique. Pour connaître la hauteur d'eau au dessus du capteur, il faut donc calculer la différence entre la pression mesurée par l'appareil et la pression atmosphérique.

La pression atmosphérique peut être mesurée de différente manière, mais lors de cette étude, nous avons choisi de la mesurer à un seul endroit, à l'aide d'un capteur branché directement à notre station météorologique. La pression atmosphérique est une variable qui est affectée par l'altitude et de nombreuses équations existent afin de corriger sa valeur en fonction de l'endroit où l'on se trouve. Afin d'obtenir la pression atmosphérique la plus exacte pour chaque lac (altitude variant de xx m à yy m), la correction altimétrique a donc été utilisée (guide utilisateur Levellogger Gold, Solinst inc., ON, Canada).

Afin de réduire les valeurs mesurées par leurs appareils, Solinst inc. a inclus une équation simple permettant d'adapter les valeurs mesurées à l'altitude où ils se trouvent. Puisque ces appareils sont conçus pour l'atmosphère terrestre, une partie de la pression atmosphérique est automatiquement déduite des valeurs mesurées. En fait, une valeur standard correspondant à la plus petite pression atmosphérique mesurée au niveau de la

mer est automatiquement déduite de la valeur mesurée. La valeur de la pression minimale choisie par Solinst inc. est de 92,955 kPa, ou 9,5 m d'équivalent en eau (1 kPa = 0,1022 m d'eau). À titre comparatif, la pression atmosphérique normale standard au niveau international (Alt. = 0 m) est de 101,325 kPa, ou 10,355 m d'équivalent en eau. De plus, la pression diminuant avec l'altitude (perte de l'équivalent en eau de 1,21 m par 1000 m d'altitude ; d'après Solinst inc.), une compensation altimétrique s'ajoute à la correction précédemment décrite.

Ainsi, pour un capteur situé à 1 m sous la surface de l'eau d'un lac dont l'altitude est de 400 m et où la pression atmosphérique réelle à la même altitude est de 100 kPa (10,22 m d'eau), la valeur mesurée sera :

Hauteur d'eau mesurée = Pression atmosphérique + Hauteur d'eau – (compensation de base - compensation altimétrique)

$$H = 10,22 \text{ m} + 1 \text{ m} - (9,5 \text{ m} - 1,21 \text{ m} \times 400 \text{ m} / 1000 \text{ m}) = 2,204 \text{ m}$$

Afin d'obtenir la hauteur d'eau réelle au-dessus de l'appareil, il faut soustraire la pression atmosphérique compensée à la valeur mesurée par l'appareil. Puisque notre station météorologique ne se situe pas à la même altitude que le lac en question, une compensation altimétrique de cette valeur devra être faite. La pression atmosphérique mesurée à la station (Alt. = 486 m) devrait correspondre à 99,02 kPa (10,12 m d'eau). Cette pression doit être corrigée pour correspondre à la pression observée à l'altitude du lac (400 m) avant d'être soustraite.

$$P_{400} = P_{486} - (1,21 \text{ m} \times (400 \text{ m} - 486 \text{ m}) / 1000 \text{ m})$$

$$P_{400} = 10,12 \text{ m} - (- 0,10 \text{ m}) = 10,22 \text{ m}$$

$$\text{Pression compensée} = 10,22 \text{ m} - (9,5 \text{ m} - 1,21 \text{ m} \times 400 \text{ m} / 1000 \text{ m}) = 1,204 \text{ m}$$

$$\text{Hauteur d'eau au-dessus de l'appareil} = 2,204 \text{ m} - 1,204 \text{ m} = 1 \text{ m}$$

## 7.2. Annexe 2 : Résultats bruts des paramètres physiques, biologiques et chimiques

| Lac   | Date | Date   | Profondeur | pH   | Température | Oxygène dissous | Turbidité          |          | Chl a                      |          | COD    |          | CID  |          |
|-------|------|--------|------------|------|-------------|-----------------|--------------------|----------|----------------------------|----------|--------|----------|------|----------|
|       | (an) | (mois) | (m)        |      | (°C)        | (mg/L)          | Unités arbitraires | $\sigma$ | ( $\mu\text{g}_\text{L}$ ) | $\sigma$ | (mg/L) | $\sigma$ | (mM) | $\sigma$ |
| Ebron | 2007 | 7      | surface    | 7.45 | 21.0        | 7.7             | 0.0017             | 0.0001   | 0.88                       | 0.13     | 5.17   | 0.27     | 0.64 | 0.07     |
| Ebron | 2007 | 8      | surface    | 7.45 | 16.1        | 9.9             | 0.0014             | 0.0001   | 0.77                       | 0.12     | 4.61   | 0.11     | 0.62 | 0.05     |
| Ebron | 2008 | 6      | surface    | 7.45 | 9.0         | 10.7            | 0.0029             | 0.001    | 0.13                       | 0.01     | 3.99   | 0.06     | 0.48 | 0.02     |
| Ebron | 2008 | 7      | surface    | 7.92 | 21.0        | 7.4             | 0.0010             | 0.0004   | 0.51                       | 0.04     | 3.92   | 0.04     | 0.72 | 0.02     |
| Ebron | 2008 | 8      | surface    | 7.49 | 16.9        | 7.0             | 0.0013             | 0.0002   | 0.21                       | 0.09     | 6.12   | 0.04     | 0.59 | 0.01     |
| Pics  | 2007 | 7      | surface    | 7.74 | 19.2        | 8.4             | 0.0011             | 0.0003   | 0.63                       | 0.04     | 4.28   | 0.12     | 0.75 | 0.08     |
| Pics  | 2007 | 8      | surface    | 7.65 | 17.5        | 9.7             | 0.0011             | 0.0006   | 0.80                       | 0.06     | 7.95   | 0.09     | 0.63 | 0.02     |
| Pics  | 2008 | 6      | surface    | 7.80 | 12.7        | 9.9             | 0.0009             | 0.0003   | 0.27                       | 0.01     | 5.76   | 0.07     | 0.43 | 0.03     |
| Pics  | 2008 | 7      | surface    | 7.50 | 21.1        | 8.4             | 0.0010             | 0.0002   | 0.56                       | 0.04     | 4.40   | 0.04     | 0.85 | 0.12     |
| Pics  | 2008 | 8      | surface    | 7.62 | 16.5        | 8.9             | 0.0013             | 0.0005   | 0.26                       | 0.05     | 4.37   | 0.2      | 0.73 | 0.02     |
| X     | 2007 | 7      | surface    | 8.32 | 20.6        | 7.7             | 0.0015             | 0.0001   | 0.73                       | 0.47     | 4.76   | 0.13     | 2.09 | 0.04     |
| X     | 2007 | 8      | surface    | 7.97 | 17.6        | 9.0             | 0.0018             | 0.0004   | 1.40                       | 0.02     | 5.78   | 0.15     | 2.30 | 0.2      |
| X     | 2008 | 6      | surface    | 7.86 | 12.3        | 11.3            | 0.0013             | 0.0009   | 0.29                       | 0.02     | 4.21   | 0.07     | 2.57 | 0.12     |
| X     | 2008 | 7      | surface    | 8.94 | 21.0        | 8.0             | 0.0017             | 0.0003   | 0.74                       | 0.07     | 4.58   | 0.04     | 2.37 | 0.31     |
| X     | 2008 | 8      | surface    | 8.17 | 17.4        | 7.0             | 0.0017             | 0.0001   | 0.59                       | 0.09     | 4.90   | 0.24     | 1.26 | 0.06     |
| Z     | 2007 | 7      | surface    | 8.23 | 20.2        | 8.2             | 0.0013             | 0.0004   | 0.43                       | 0.18     | 5.07   | 0.13     | 2.90 | 0.06     |
| Z     | 2007 | 8      | surface    | 8.10 | 16.1        | 9.8             | 0.0006             | 0.0002   | 0.77                       | 0.03     | 6.42   | 0.02     | 3.76 | 0.08     |
| Z     | 2008 | 6      | surface    | 8.14 | 12.8        | 10.8            | 0.0017             | 0.001    | 0.30                       | 0.06     | 3.72   | 0.06     | 4.84 | 0.32     |
| Z     | 2008 | 7      | surface    | 8.55 | 19.8        | 6.8             | 0.0003             | 0.0003   | 0.65                       | 0.02     | 4.55   | 0.08     | 3.01 | 0.28     |
| Z     | 2008 | 8      | surface    | 8.12 | 17.6        | 7.5             | 0.0009             | 0.0003   | 0.50                       | 0.03     | 5.56   | 0.3      | 2.13 | 0.09     |
| Z     | 2007 | 7      | 5.25       | 7.48 | 8.6         | 3.9             | 0.0014             | 0.0006   | 0.36                       | 0.06     | 4.00   | 0.04     | 3.75 | 0.2      |
| Z     | 2007 | 8      | 5          | 7.40 | 10.6        | 0.6             | 0.0022             | 0.0001   | 3.81                       | 0.46     | 4.22   | 0.13     | 5.27 | 0.75     |
| Z     | 2008 | 6      | 5          | 7.46 | 6.1         | 2.2             | 0.0091             | 0.0014   | 1.58                       | 0.06     | 3.22   | 0.02     | 6.25 | 0.46     |
| Z     | 2008 | 7      | 5          |      | 8.9         | 1.2             | 0.0016             | 0.0008   | 1.03                       | 0.09     | 3.83   | 0.02     | 4.49 | 0.05     |
| Z     | 2008 | 8      | 5          | 7.04 | 11.3        | 0.8             | 0.0041             | 0.0007   | 2.58                       | 0.07     | 4.11   | 0.22     | 3.95 | 0.11     |

Tableau 4 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (1)

| Lac  | Date | Date   | Profondeur | pH   | Température | Oxygène dissous | Turbidité          |          | Chl a                      |          | COD    |          | CID  |          |
|------|------|--------|------------|------|-------------|-----------------|--------------------|----------|----------------------------|----------|--------|----------|------|----------|
|      | (an) | (mois) | (m)        |      | (°C)        | (mg/L)          | Unités arbitraires | $\sigma$ | ( $\mu\text{g}_\text{L}$ ) | $\sigma$ | (mg/L) | $\sigma$ | (mM) | $\sigma$ |
| 2ME  | 2007 | 7      | surface    | 7.96 | 20.3        | 8.1             | 0.0011             | 0.0001   | 0.38                       | 0.25     | 2.63   | 0.10     | 1.39 | 0.05     |
| 2ME  | 2007 | 8      | surface    | 7.54 | 16.5        | 10.0            | 0.0009             | 0.0005   | 0.33                       | 0.02     | 3.06   | 0.05     | 1.38 | 0.05     |
| 2ME  | 2008 | 6      | surface    | 7.43 | 10.0        | 11.3            | 0.0017             | 0.0003   | 0.06                       | 0.01     | 2.84   | 0.02     | 1.05 | 0.16     |
| 2ME  | 2008 | 7      | surface    | 7.68 | 17.9        | 8.1             | 0.0017             | 0.0013   | 0.21                       | 0.07     | 2.70   | 0.03     | 1.75 | 0.02     |
| 2ME  | 2008 | 8      | surface    | 7.75 | 16.9        | 9.0             | 0.0010             | 0.0005   | 0.15                       | 0.01     | 3.20   | 0.09     | 1.24 | 0.04     |
| Foin | 2007 | 7      | surface    | 8.41 | 20.9        | 8.4             | 0.0027             | 0.0002   | 0.86                       | 0.56     | 3.81   | 0.13     | 1.42 | 0.10     |
| Foin | 2007 | 8      | surface    | 7.97 | 16.1        | 10.3            | 0.0017             | 0.0002   | 0.34                       | 0.04     | 6.40   | 0.26     | 1.12 | 0.04     |
| Foin | 2008 | 6      | surface    | 7.72 | 10.1        | 10.5            | 0.0017             | 0.0008   | 0.12                       | 0.01     | 3.48   | 0.02     | 0.94 | 0.07     |
| Foin | 2008 | 7      | surface    | 8.32 | 21.7        | 9.3             | 0.0010             | 0.0006   | 0.47                       | 0.02     | 3.88   | 0.04     | 1.63 | 0.01     |
| Foin | 2008 | 8      | surface    | 7.52 | 17.7        | 9.0             | 0.0013             | 0.0003   | 0.24                       | 0.05     | 5.03   | 0.19     | 1.17 | 0.01     |

**Tableau 5 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (2)**

| Lac                | Date | Date   | Profondeur | F <sup>-</sup> | Écart-type | Cl <sup>-</sup> | Écart-type | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | Écart-type | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Écart-type |
|--------------------|------|--------|------------|----------------|------------|-----------------|------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|
|                    | (an) | (mois) | (m)        | (mg/L)         | σ          | (mg/L)          | σ          | (mg/L)                       | σ          | (mg/L)                       | σ          |
| Ebron              | 2007 | 7      | surface    | 0.015          | <0.001     | 1.19            | 0.01       | 4.72                         | 0.03       | *                            |            |
| Ebron              | 2007 | 8      | surface    | 0.016          | 0.002      | 1.15            | <0.01      | 5.13                         | 0.04       | *                            |            |
| Ebron              | 2008 | 6      | surface    | 0.015          | <0.001     | 0.97            | <0.01      | 4.41                         | <0.01      | 0.08                         | 0.02       |
| Ebron              | 2008 | 7      | surface    | 0.019          | <0.001     | 1.26            | <0.01      | 4.95                         | 0.02       | 0.13                         | 0.02       |
| Ebron              | 2008 | 8      | surface    | 0.017          | 0.001      | 1.24            | 0.03       | 4.14                         | <0.01      | 0.21                         | 0.06       |
| Pics               | 2007 | 7      | surface    | 0.015          | 0.001      | 0.96            | 0.01       | 2.31                         | 0.01       | *                            |            |
| Pics               | 2007 | 8      | surface    | 0.013          | 0.001      | 0.77            | 0.01       | 2.13                         | 0.01       | *                            |            |
| Pics               | 2008 | 6      | surface    | 0.014          | <0.001     | 0.75            | <0.01      | 1.89                         | 0.01       | 0.11                         | 0.03       |
| Pics               | 2008 | 7      | surface    | 0.016          | <0.001     | 0.72            | <0.01      | 2.30                         | 0.01       | 0.09                         | 0.04       |
| Pics               | 2008 | 8      | surface    | 0.013          | <0.001     | 0.68            | 0.01       | 2.18                         | 0.03       | 0.17                         | 0.10       |
| X                  | 2007 | 7      | surface    | 0.028          | 0.001      | 2.03            | 0.01       | 6.20                         | 0.04       | *                            |            |
| X                  | 2007 | 8      | surface    | 0.028          | 0.001      | 1.93            | 0.01       | 5.64                         | 0.03       | *                            |            |
| X                  | 2008 | 6      | surface    | 0.026          | 0.001      | 1.54            | <0.01      | 5.22                         | 0.03       | 0.05                         | 0.03       |
| X                  | 2008 | 7      | surface    | 0.030          | <0.001     | 1.56            | 0.01       | 5.60                         | 0.01       | 0.10                         | 0.04       |
| X                  | 2008 | 8      | surface    | 0.029          | <0.001     | 1.58            | 0.01       | 5.59                         | 0.03       | 0.12                         | 0.13       |
| Z                  | 2007 | 7      | surface    | 0.063          | 0.001      | 2.01            | 0.01       | 4.64                         | 0.05       | *                            |            |
| Z                  | 2007 | 8      | surface    | 0.059          | <0.001     | 2.02            | 0.01       | 4.45                         | 0.05       | *                            |            |
| Z                  | 2008 | 6      | surface    | 0.056          | <0.001     | 1.78            | 0.01       | 5.47                         | 0.01       | 0.06                         | 0.02       |
| Z                  | 2008 | 7      | surface    | 0.059          | <0.001     | 1.68            | 0.01       | 5.01                         | 0.04       | 0.19                         | 0.11       |
| Z                  | 2008 | 8      | surface    | 0.055          | 0.001      | 1.87            | 0.04       | 4.47                         | 0.03       | 0.11                         | 0.10       |
| Z                  | 2007 | 7      | 5.5        | 0.069          | 0.003      | 2.40            | 0.01       | 6.29                         | 0.07       | *                            |            |
| Z                  | 2007 | 8      | 5.5        | 0.100          | 0.003      | 2.39            | 0.01       | 5.60                         | 0.03       | *                            |            |
| Z                  | 2008 | 6      | 5          | 0.073          | 0.001      | 2.35            | 0.01       | 6.90                         | 0.01       | 0.07                         | 0.01       |
| Z                  | 2008 | 7      | 5          | 0.066          | <0.001     | 2.37            | 0.01       | 6.58                         | 0.07       | 0.19                         | 0.03       |
| Z                  | 2008 | 8      | 5          | 0.072          | 0.001      | 2.37            | 0.13       | 5.95                         | 0.07       | 0.27                         | 0.30       |
| Seuil de détection |      |        |            | 0.005          |            | 0.02            |            | 0.02                         |            | 0.03                         |            |

\* sous le seuil de détection

**Tableau 6 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (3)**

| Lac                | Date | Date   | profondeur | F <sup>-</sup> | Écart-type | Cl <sup>-</sup> | Écart-type | SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> | Écart-type | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Écart-type |
|--------------------|------|--------|------------|----------------|------------|-----------------|------------|------------------------------|------------|------------------------------|------------|
|                    | (an) | (mois) | (m)        | (mg/L)         | σ          | (mg/L)          | σ          | (mg/L)                       | σ          | (mg/L)                       | σ          |
| 2ME                | 2007 | 7      | surface    | 0.018          | 0.001      | 4.66            | 0.03       | 8.53                         | 0.05       | *                            |            |
| 2ME                | 2007 | 8      | surface    | 0.017          | <0.001     | 3.58            | 0.02       | 7.77                         | 0.07       | *                            |            |
| 2ME                | 2008 | 6      | surface    | 0.016          | <0.001     | 3.28            | 0.03       | 5.75                         | 0.01       | 0.14                         | 0.05       |
| 2ME                | 2008 | 7      | surface    | *              |            | 4.39            | 0.01       | 7.85                         | 0.01       | 0.10                         | 0.05       |
| 2ME                | 2008 | 8      | surface    | 0.019          | <0.001     | 4.73            | 0.03       | 8.95                         | 0.05       | 0.08                         | 0.03       |
| Foin               | 2007 | 7      | surface    | 0.020          | <0.001     | 3.60            | 0.01       | 8.56                         | 0.03       | *                            |            |
| Foin               | 2007 | 8      | surface    | 0.016          | 0.003      | 2.94            | 0.04       | 7.25                         | 0.04       | *                            |            |
| Foin               | 2008 | 6      | surface    | *              |            | 3.24            | 0.04       | 5.46                         | 0.01       | 0.21                         | 0.05       |
| Foin               | 2008 | 7      | surface    | 0.020          | <0.001     | 3.40            | 0.02       | 7.71                         | 0.02       | 0.06                         | 0.02       |
| Foin               | 2008 | 8      | surface    | 0.021          | <0.001     | 3.59            | 0.04       | 8.27                         | 0.07       | 0.07                         | 0.02       |
| Blanc              | 2007 | 7      |            | *              |            | 0.02            | 0.01       | *                            |            | *                            |            |
| Blanc              | 2007 | 8      |            | *              |            | *               | 0.00       | *                            |            | *                            |            |
| Blanc              | 2008 | 6      |            | *              |            | 0.03            | 0.01       | 0.03                         | 0.00       | 0.26                         | 0.06       |
| Blanc              | 2008 | 7      |            | *              |            | 0.05            | 0.02       | 0.04                         | 0.02       | 0.15                         | 0.05       |
| Blanc              | 2008 | 8      |            | *              |            | 0.08            | 0.03       | 0.05                         | 0.06       | 0.34                         | 0.37       |
| Seuil de détection |      |        |            | 0.005          |            | 0.02            |            | 0.02                         |            | 0.03                         |            |

\* sous le seuil de détection

**Tableau 7 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (4).**

| Lac                | Date | Date   | Profondeur | Al     | Écart-type | Ba     | Écart-type | Ca     | Écart-type | Cu     | Écart-type | Fe     | Écart-type | K      | Écart-type |
|--------------------|------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|
|                    | (an) | (mois) | (m)        | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   |
| Ebron              | 2007 | 7      | surface    | 0.024  | <0.001     | 0.0097 | 0.0001     | 9.8    | 0.1        | *      |            | 0.067  | 0.003      | 0.36   | <0.01      |
| Ebron              | 2007 | 8      | surface    | 0.022  | <0.001     | 0.0098 | 0.0001     | 11.0   | 0.1        | *      |            | 0.049  | <0.001     | 0.40   | <0.01      |
| Ebron              | 2008 | 6      | surface    | 0.028  | 0.001      | 0.0068 | 0.0001     | 8.5    | <0.1       | *      |            | 0.045  | 0.002      | 0.41   | <0.01      |
| Ebron              | 2008 | 7      | surface    | 0.025  | 0.001      | 0.0129 | 0.0001     | 12.3   | 0.1        | 0.0013 | 0.0003     | 0.037  | 0.001      | 0.48   | <0.01      |
| Ebron              | 2008 | 8      | surface    | 0.027  | 0.001      | 0.0155 | 0.0001     | 12.1   | 0.1        | 0.0007 | 0.0002     | 0.082  | 0.003      | 0.43   | <0.01      |
| Pics               | 2007 | 7      | surface    | 0.038  | 0.001      | 0.0548 | 0.0001     | 10.7   | <0.1       | 0.0020 | 0.0001     | 0.014  | 0.002      | 0.18   | <0.01      |
| Pics               | 2007 | 8      | surface    | 0.070  | 0.003      | 0.0558 | 0.0004     | 10.7   | 0.1        | 0.0027 | 0.0002     | 0.031  | 0.003      | 0.15   | <0.01      |
| Pics               | 2008 | 6      | surface    | 0.076  | 0.001      | 0.0404 | 0.0005     | 7.3    | 0.1        | 0.0026 | 0.0002     | 0.020  | <0.001     | 0.17   | <0.01      |
| Pics               | 2008 | 7      | surface    | 0.048  | <0.001     | 0.0596 | 0.0001     | 11.1   | 0.1        | 0.0028 | 0.0014     | 0.015  | 0.001      | 0.19   | <0.01      |
| Pics               | 2008 | 8      | surface    | 0.039  | 0.002      | 0.0746 | 0.0007     | 13.3   | 0.1        | 0.0023 | 0.0003     | 0.017  | 0.001      | 0.21   | 0.01       |
| X                  | 2007 | 7      | surface    | 0.011  | 0.001      | 0.0473 | 0.0002     | 32.5   | 0.2        | *      |            | 0.012  | 0.005      | 0.24   | <0.01      |
| X                  | 2007 | 8      | surface    | 0.010  | 0.001      | 0.0519 | 0.0000     | 35.5   | 0.1        | *      |            | 0.012  | <0.001     | 0.25   | 0.01       |
| X                  | 2008 | 6      | surface    | 0.011  | 0.001      | 0.0476 | 0.0002     | 34.0   | 0.3        | *      |            | 0.014  | 0.001      | 0.29   | <0.01      |
| X                  | 2008 | 7      | surface    | 0.016  | 0.001      | 0.0567 | 0.0004     | 37.0   | 0.3        | 0.0010 | 0.0003     | 0.012  | 0.002      | 0.30   | <0.01      |
| X                  | 2008 | 8      | surface    | 0.016  | 0.001      | 0.0626 | 0.0006     | 38.5   | 0.4        | 0.0007 | 0.0001     | 0.011  | 0.002      | 0.31   | 0.02       |
| Z                  | 2007 | 7      | surface    | 0.006  | 0.001      | 0.0959 | 0.0006     | 48.6   | 0.3        | *      |            | 0.005  | <0.001     | 0.27   | <0.01      |
| Z                  | 2007 | 8      | surface    | 0.006  | <0.001     | 0.0985 | 0.0002     | 50.0   | <0.1       | *      |            | 0.008  | 0.001      | 0.25   | 0.01       |
| Z                  | 2008 | 6      | surface    | 0.008  | 0.001      | 0.1116 | 0.0003     | 55.4   | 0.1        | *      |            | 0.006  | 0.001      | 0.37   | <0.01      |
| Z                  | 2008 | 7      | surface    | 0.009  | 0.001      | 0.1162 | 0.0007     | 55.1   | 0.4        | 0.0008 | 0.0002     | 0.005  | 0.001      | 0.31   | <0.01      |
| Z                  | 2008 | 8      | surface    | 0.010  | 0.001      | 0.1162 | 0.0005     | 52.4   | 0.2        | *      |            | 0.006  | 0.001      | 0.35   | 0.06       |
| Z                  | 2007 | 7      | 5.5        | 0.007  | 0.001      | 0.1200 | 0.0008     | 62.8   | 0.4        | *      |            | 0.014  | <0.001     | 0.55   | <0.01      |
| Z                  | 2007 | 8      | 5.5        | 0.007  | 0.001      | 0.1429 | 0.0027     | 67.8   | 0.6        | *      |            | 0.053  | 0.008      | 0.75   | 0.01       |
| Z                  | 2008 | 6      | 5          | 0.009  | 0.001      | 0.1357 | 0.0016     | 69.8   | 0.9        | *      |            | 0.007  | 0.003      | 0.72   | 0.01       |
| Z                  | 2008 | 7      | 5          | 0.013  | 0.007      | 0.1351 | 0.0011     | 68.9   | 0.4        | 0.0009 | 0.0001     | 0.015  | 0.008      | 0.67   | 0.03       |
| Z                  | 2008 | 8      | 5          | 0.014  | 0.001      | 0.1546 | 0.0029     | 68.0   | 0.4        | 0.0010 | 0.0001     | 0.026  | 0.001      | 0.99   | 0.22       |
| Seuil de détection |      |        |            | 0.002  |            | 0.0002 |            | 0.01   |            | 0.0005 |            | 0.002  |            | 0.03   |            |

\* sous le seuil de détection

**Tableau 8 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (5).**

| Lac                | Date | Date   | Profondeur | Al     | Écart-type | Ba     | Écart-type | Ca     | Écart-type | Cu     | Écart-type | Fe     | Écart-type | K      | Écart-type |
|--------------------|------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|
|                    | (an) | (mois) | (m)        | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   |
| 2 ME               | 2007 | 7      | surface    | 0.011  | 0.001      | 0.0305 | 0.0003     | 20.4   | 0.2        | *      |            | 0.011  | 0.002      | 0.40   | <0.01      |
| 2 ME               | 2007 | 8      | surface    | 0.011  | <0.001     | 0.0250 | <0.0001    | 19.9   | 0.1        | *      |            | 0.009  | <0.001     | 0.35   | <0.01      |
| 2 ME               | 2008 | 6      | surface    | 0.015  | <0.001     | 0.0167 | 0.0001     | 14.4   | 0.1        | *      |            | 0.010  | 0.001      | 0.32   | <0.01      |
| 2 ME               | 2008 | 7      | surface    | 0.016  | 0.001      | 0.0334 | 0.0001     | 20.9   | 0.1        | 0.0010 | 0.0001     | 0.018  | 0.002      | 0.44   | 0.02       |
| 2 ME               | 2008 | 8      | surface    | 0.014  | 0.002      | 0.0350 | 0.0002     | 22.0   | 0.2        | *      |            | 0.016  | 0.002      | 0.44   | 0.01       |
| Foin               | 2007 | 7      | surface    | 0.018  | 0.001      | 0.0195 | 0.0002     | 20.6   | 0.2        | *      |            | 0.024  | 0.001      | 0.42   | 0.01       |
| Foin               | 2007 | 8      | surface    | 0.029  | 0.002      | 0.0162 | <0.0001    | 17.9   | 0.1        | *      |            | 0.027  | 0.001      | 0.33   | 0.01       |
| Foin               | 2008 | 6      | surface    | 0.023  | <0.001     | 0.0120 | 0.0001     | 12.9   | 0.1        | *      |            | 0.013  | <0.001     | 0.30   | <0.01      |
| Foin               | 2008 | 7      | surface    | 0.025  | 0.001      | 0.0203 | 0.0001     | 20.4   | 0.1        | 0.0019 | 0.0003     | 0.028  | 0.002      | 0.41   | <0.01      |
| Foin               | 2008 | 8      | surface    | 0.022  | 0.003      | 0.0235 | 0.0003     | 22.3   | 0.2        | 0.0010 | 0.0003     | 0.025  | 0.005      | 0.44   | 0.01       |
| Blanc              | 2007 | 7      |            | *      |            | *      |            | *      |            | *      |            | *      |            | *      |            |
| Blanc              | 2007 | 8      |            | *      |            | *      |            | *      |            | *      |            | *      |            | *      |            |
| Blanc              | 2008 | 6      |            | *      |            | *      |            | *      |            | *      |            | *      |            | *      |            |
| Blanc              | 2008 | 7      |            | *      |            | *      |            | *      |            | 0.0016 | 0.0003     | *      |            | *      |            |
| Blanc              | 2008 | 8      |            | 0.006  | 0.002      | 0.0061 | 0.0017     | 0.04   | 0.01       | 0.0023 | 0.0003     | *      |            | *      |            |
| Seuil de détection |      |        |            | 0.002  |            | 0.0002 |            | 0.01   |            | 0.0005 |            | 0.002  |            | 0.03   |            |

\* sous le seuil de détection

**Tableau 9 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (6).**

| Lac                | Date | Date   | Profondeur | Mg     | Écart-type | Mn     | Écart-type | Na     | Écart-type | P      | Écart-type | S      | Écart-type | Zn     | Écart-type |
|--------------------|------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|------------|
|                    | (an) | (mois) | (m)        | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   | (mg/L) | $\sigma$   |
| Ebron              | 2007 | 7      | surface    | 1.21   | 0.01       | 0.0071 | 0.0001     | 1.25   | 0.01       | *      |            | 1.45   | 0.01       | *      |            |
| Ebron              | 2007 | 8      | surface    | 1.33   | 0.01       | 0.0038 | 0.0001     | 1.34   | 0.02       | *      |            | 1.65   | 0.02       | *      |            |
| Ebron              | 2008 | 6      | surface    | 1.06   | <0.01      | 0.0034 | 0.0013     | 1.04   | <0.01      | *      |            | 1.50   | <0.01      | *      |            |
| Ebron              | 2008 | 7      | surface    | 1.50   | 0.01       | 0.0040 | 0.0004     | 1.37   | 0.01       | *      |            | 1.75   | <0.01      | *      |            |
| Ebron              | 2008 | 8      | surface    | 1.52   | 0.01       | 0.0065 | 0.0004     | 1.44   | 0.01       | *      |            | 1.56   | 0.01       | *      |            |
| Pics               | 2007 | 7      | surface    | 1.72   | <0.01      | 0.0009 | 0.0001     | 1.12   | <0.01      | *      |            | 0.74   | 0.01       | *      |            |
| Pics               | 2007 | 8      | surface    | 1.70   | 0.02       | 0.0012 | <0.0001    | 1.15   | 0.01       | *      |            | 0.73   | 0.01       | *      |            |
| Pics               | 2008 | 6      | surface    | 1.20   | 0.01       | 0.0009 | 0.0004     | 0.88   | 0.01       | *      |            | 0.66   | 0.01       | *      |            |
| Pics               | 2008 | 7      | surface    | 1.78   | 0.01       | 0.0003 | <0.0001    | 1.10   | 0.01       | *      |            | 0.82   | <0.01      | *      |            |
| Pics               | 2008 | 8      | surface    | 2.19   | 0.01       | 0.0013 | 0.0002     | 1.24   | 0.03       | *      |            | 0.85   | 0.01       | *      |            |
| X                  | 2007 | 7      | surface    | 6.49   | 0.04       | 0.0012 | 0.0005     | 1.98   | 0.01       | *      |            | 1.99   | 0.01       | *      |            |
| X                  | 2007 | 8      | surface    | 6.90   | 0.02       | 0.0020 | <0.0001    | 2.07   | 0.02       | *      |            | 1.87   | <0.01      | *      |            |
| X                  | 2008 | 6      | surface    | 6.37   | 0.08       | 0.0016 | 0.0002     | 1.77   | 0.02       | *      |            | 1.79   | 0.03       | *      |            |
| X                  | 2008 | 7      | surface    | 6.86   | 0.05       | 0.0020 | 0.0005     | 1.92   | 0.01       | *      |            | 1.94   | 0.02       | *      |            |
| X                  | 2008 | 8      | surface    | 7.39   | 0.06       | 0.0032 | 0.0011     | 2.10   | 0.01       | *      |            | 2.10   | 0.03       | *      |            |
| Z                  | 2007 | 7      | surface    | 8.66   | 0.06       | 0.0012 | 0.0004     | 2.29   | 0.01       | *      |            | 1.63   | 0.01       | *      |            |
| Z                  | 2007 | 8      | surface    | 8.63   | 0.01       | 0.0010 | <0.0001    | 2.23   | 0.01       | *      |            | 1.50   | 0.01       | *      |            |
| Z                  | 2008 | 6      | surface    | 8.90   | 0.01       | 0.0013 | 0.0003     | 2.11   | <0.01      | *      |            | 1.88   | 0.01       | *      |            |
| Z                  | 2008 | 7      | surface    | 9.23   | 0.06       | 0.0013 | 0.0001     | 2.18   | 0.01       | *      |            | 1.76   | 0.02       | *      |            |
| Z                  | 2008 | 8      | surface    | 9.40   | 0.04       | 0.0013 | 0.0004     | 2.26   | 0.03       | *      |            | 1.74   | 0.01       | *      |            |
| Z                  | 2007 | 7      | 5.5        | 10.85  | 0.06       | 0.2077 | 0.0028     | 3.29   | 0.03       | *      |            | 2.10   | 0.02       | *      |            |
| Z                  | 2007 | 8      | 5.5        | 11.95  | 0.11       | 0.8094 | 0.0337     | 3.85   | 0.06       | *      |            | 1.96   | 0.02       | *      |            |
| Z                  | 2008 | 6      | 5          | 11.99  | 0.12       | 0.1748 | 0.0158     | 3.50   | 0.03       | *      |            | 2.40   | 0.03       | *      |            |
| Z                  | 2008 | 7      | 5          | 11.40  | 0.07       | 0.1300 | 0.0049     | 3.17   | 0.04       | *      |            | 2.31   | 0.01       | *      |            |
| Z                  | 2008 | 8      | 5          | 11.68  | 0.07       | 0.4331 | 0.0082     | 3.41   | 0.03       | *      |            | 2.32   | 0.01       | *      |            |
| Seuil de détection |      |        |            | 0.001  |            | 0.0001 |            | 0.02   |            | 0.007  |            | 0.02   |            | 0.001  |            |

\* sous le seuil de détection

**Tableau 10 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (7).**

| Lac                | Date<br>(an) | Date<br>(mois) | Profondeur<br>(m) | Mg<br>(mg/L) | Écart-type<br>$\sigma$ | Mn<br>(mg/L) | Écart-type<br>$\sigma$ | Na<br>(mg/L) | Écart-type<br>$\sigma$ | P<br>(mg/L) | Écart-type<br>$\sigma$ | S<br>(mg/L) | Écart-type<br>$\sigma$ | Zn<br>(mg/L) | Écart-type<br>$\sigma$ |
|--------------------|--------------|----------------|-------------------|--------------|------------------------|--------------|------------------------|--------------|------------------------|-------------|------------------------|-------------|------------------------|--------------|------------------------|
| 2ME                | 2007         | 7              | surface           | 5.12         | 0.04                   | 0.0011       | 0.0001                 | 3.58         | 0.03                   | *           |                        | 2.80        | 0.03                   | *            |                        |
| 2ME                | 2007         | 8              | surface           | 5.03         | 0.02                   | 0.0009       | <0.0001                | 3.11         | <0.01                  | *           |                        | 2.52        | 0.02                   | *            |                        |
| 2ME                | 2008         | 6              | surface           | 3.57         | 0.04                   | 0.0004       | 0.0001                 | 2.20         | 0.01                   | *           |                        | 1.93        | 0.01                   | *            |                        |
| 2ME                | 2008         | 7              | surface           | 5.13         | 0.03                   | 0.0015       | 0.0001                 | 3.25         | 0.01                   | *           |                        | 2.72        | 0.01                   | *            |                        |
| 2ME                | 2008         | 8              | surface           | 5.62         | 0.05                   | 0.0013       | 0.0002                 | 3.60         | 0.03                   | *           |                        | 3.32        | 0.04                   | *            |                        |
| Foin               | 2007         | 7              | surface           | 4.95         | 0.06                   | 0.0027       | 0.0002                 | 2.94         | 0.04                   | *           |                        | 2.83        | 0.03                   | *            |                        |
| Foin               | 2007         | 8              | surface           | 4.34         | <0.01                  | 0.0022       | <0.0001                | 2.68         | 0.01                   | *           |                        | 2.37        | 0.01                   | *            |                        |
| Foin               | 2008         | 6              | surface           | 3.13         | 0.02                   | 0.0007       | 0.0001                 | 2.07         | 0.01                   | *           |                        | 1.85        | 0.01                   | *            |                        |
| Foin               | 2008         | 7              | surface           | 4.81         | 0.03                   | 0.0024       | 0.0005                 | 2.69         | 0.02                   | *           |                        | 2.69        | 0.01                   | *            |                        |
| Foin               | 2008         | 8              | surface           | 5.53         | 0.04                   | 0.0018       | 0.0009                 | 3.05         | 0.02                   | *           |                        | 3.04        | 0.03                   | *            |                        |
| Blanc              | 2007         | 7              |                   | *            |                        | *            |                        | *            |                        | *           |                        | *           |                        | *            |                        |
| Blanc              | 2007         | 8              |                   | *            |                        | *            |                        | *            |                        | *           |                        | *           |                        | 0.001        | <0.001                 |
| Blanc              | 2008         | 6              |                   | *            |                        | 0.0006       | <0.0001                | *            |                        | *           |                        | *           |                        | 0.005        | <0.001                 |
| Blanc              | 2008         | 7              |                   | *            |                        | 0.0002       | <0.0001                | *            |                        | *           |                        | *           |                        | *            |                        |
| Blanc              | 2008         | 8              |                   | 0.003        | 0.001                  | 0.0007       | 0.0002                 | *            |                        | *           |                        | *           |                        | *            |                        |
| Seuil de détection |              |                |                   | 0.001        |                        | 0.0001       |                        | 0.02         |                        | 0.007       |                        | 0.02        |                        | 0.001        |                        |

\* sous le seuil de détection

**Tableau 11 : Résultats des paramètres physiques, biologiques et chimiques (8).**

### 7.3. Annexe 3 : Exemple de distribution entre les phases dissoute et particulaire (août 2008)

| Lac   | Al<br>(%) | Ba<br>(%) | Ca<br>(%) | Cu<br>(%) | Fe<br>(%) | K<br>(%) | Mg<br>(%) | Mn<br>(%) | Na<br>(%) | P<br>(%) | S<br>(%) | Zn<br>(%) |
|-------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|----------|-----------|
| Ebron | 8         | 0         | 0         | 1         | 6         | 1        | 0         | 7         | 0         | *        | 0        | *         |
| Pics  | 4         | 0         | 0         | 7         | 8         | 0        | 0         | 19        | 0         | *        | 0        | *         |
| X     | 0         | 0         | 0         | 10        | 11        | 0        | 0         | 22        | 0         | *        | 0        | *         |
| Z     | 2         | 0         | 0         | *         | 7         | 0        | 0         | 37        | 0         | *        | 0        | *         |
| 2ME   | 17        | 2         | 1         | *         | 17        | 0        | 1         | 16        | 1         | *        | 2        | *         |
| Foin  | 4         | 0         | 0         | 16        | 12        | 4        | 0         | 21        | 0         | *        | 0        | *         |

\* sous le seuil de détection

**Tableau 12 : Fraction particulaire (%) pour l'échantillonnage d'août 2008**