

Mathieu Chevalier
CHEM04118507

Activité de synthèse
STM-5000

Composition isotopique du réservoir Eastmain-1 : Implications sur le temps de séjour moyen de l'eau



Coucher de soleil sur le réservoir Eastmain-1

Université du Québec À Montréal, Mai 2010

Table des matières :

Introduction	3
1. Mise en contexte	5
1.1 Le projet Eastmain-1.....	5
1.1.1 Aperçu global du projet.....	5
1.1.2 Objectifs du projet.....	5
1.2 Les isotopes stables.....	5
1.2.1 Connaissances de base.....	5
1.2.2 Techniques isotopiques : fonctionnement et applications.....	6
1.3 Le milieu d'échantillonnage.....	7
1.3.1 Situation géographique et géologique.....	7
1.3.2 Conditions environnementales.....	8
2. Méthodes et analyses	9
2.1 Échantillonnage.....	9
2.1.1 Sites d'échantillonnages.....	9
2.1.2 Techniques d'échantillonnage et d'entreposage.....	10
2.2 Analyse.....	11
2.2.1 But de l'étude et technique utilisée.....	11
2.2.2 Préparation des échantillons.....	11
2.2.3 Fonctionnement du spectromètre de masse et analyse des échantillons.....	12
2.2.4 Traitement des données brutes.....	15
3. Présentation des résultats et des hypothèses	17
3.1 Présentation des résultats corrigés (^2H et ^{18}O).....	17
3.1.1 Erreur de reproductibilité.....	17
3.1.2 Résultats corrigés.....	18
3.1.3 Droites météoriques.....	21
3.2 Présentation de nos hypothèses.....	21
4. Interprétation des données et discussion	23
4.1 Interprétation des données.....	23
4.1.1 Variation entre les baies et les rivières.....	23
4.1.2 Tour-1 variations jour Vs nuit.....	24
4.1.3 Évolution à travers les campagnes.....	25
4.1.3.1 Évolution des zones de baies.....	26
4.1.3.2 Évolution des zones de rivières.....	27
4.1.4 Court-circuitage de l'ancien lit de la rivière lors de fortes précipitations.....	28
4.1.5 Variation de l'évaporation dans les colonnes d'eau.....	29
4.1.5.1 Tour-1 de jour, zone de baie.....	29
4.1.5.2 Casey-7, zone de baie.....	30
4.1.5.3 Entrée-5, zone de rivière.....	31
4.2 Discussion.....	32
4.2.1 Synthèse et liens.....	32
4.2.2 Recommandations.....	33
Conclusion	34
Référence	35

Table des figures :

Figure 1 : Localisation géographique du réservoir Eastmain-1.....	7
Figure 2 : Carte géologique du Québec.....	8
Figure 3 : Sites d'échantillonnage, réservoir Eastmain-1.....	9
Figure 4 : Photo d'un spectromètre de masse du Géotop.....	12
Figure 5 : Schéma illustrant les composantes d'un spectromètre de masse.....	13
Figure 6 : Schéma de l'injection double.....	14
Figure 7 : Exemple de droite de calibration.....	16
Figure 8 : Droites météoriques.....	21
Figure 9 : Variations entre baies et rivières.....	23
Figure 10 : Comparaison des données du site tour-1 de jour et de nuit.....	24
Figure 11 : Évolution à travers les campagnes, toutes données.....	25
Figure 12 : Évolution des zones de baies a travers les campagnes.....	26
Figure 13 : Évolution des zones de rivières à travers les campagnes.....	27
Figure 14 : Localisation des stations météorologique d'Environnement Canada.....	28
Figure 15 : Évaporation dans la colonne d'eau, Tour-1 de jour.....	30
Figure 16 : Évaporation dans la colonne d'eau, Casey-7.....	30
Figure 17 : Évaporation dans la colonne d'eau, Entrée-5.....	31

Liste des tableaux :

Tableau 1 : Emplacements des sites d'échantillonnage.....	10
Tableau 2 : Erreur de reproductibilité.....	17
Tableau 3 : Résultats corrigés.....	18
Tableau 4 : Précipitations enregistrées avant et après les campagnes d'échantillonnages.....	29

Introduction

Depuis la découverte de l'électricité et de ses multiples utilités, l'homme en est quelque peu devenu l'esclave. À travers les années, de multiples sources d'électricité ont été découvertes comme, par exemple, la combustion du charbon, l'hydro-électrique ou encore l'énergie nucléaire. Or, depuis quelques années il est devenu évident qu'il nous faut préserver les ressources de notre planète et nous nous sommes donc efforcés de découvrir de nouvelles sources d'énergie comme les éoliennes, les hydroliennes, la géothermie et l'énergie solaire. Parmi toutes ces sources d'électricité, l'hydroélectricité est perçue comme une des plus efficaces, renouvelables et moins polluantes même si celle-ci nécessite l'inondation de vaste région et le déplacement de populations animales. Bien qu'elle soit généralement perçue comme une énergie verte, de nombreuses études restent à faire sur l'hydroélectricité, l'une d'entre-elles étant la comparaison entre les des gaz à effet de serre émis par le milieu tel qu'il était avant l'inondation et les gaz émis par le bassin post-inondation.

Le présent travail est effectué dans le cadre d'un plus vaste projet qui cherche à répondre à cette question. Le projet des émissions nettes de gaz à effets de serre (GES) au réservoir d'Eastmain-1, mis en place par Hydro-Québec Production et la Fondation Canadienne pour les Sciences du Climat et de l'Atmosphère (FCSCA), utilise 5 approches, ou volets, pour répondre à cette question : volet aquatique, volet terrestre, volet isotopes stables, volet Covariance d'Eddy et volet modélisation. Notre étude s'inclut dans le volet isotopes stables.

L'hypothèse centrale de notre rapport est que certaines zones du réservoir hydroélectrique Eastmain-1 ont un taux d'évaporation plus important que d'autres. Nous supposons que les zones plus profondes et plus isolées, que nous avons appelé les zones de baies, auront un plus haut taux d'évaporation que les zones se trouvant le long de l'ancien lit de la rivière, zones que nous avons nommé les zones rivières. Pour vérifier notre hypothèse nous allons utiliser les isotopes stables de l'hydrogène et de l'oxygène.

Les données utilisées proviennent d'échantillons recueillis par Annie Lalonde, étudiante graduée de maîtrise à l'UQAM, dont la thèse s'intitule *Étude isotopique sur le cycle du carbone dissous et la production de gaz à effet de serre lors de la création d'un réservoir hydroélectrique boréal (Eastmain-1, Nouveau-Québec)*. Nous avons soumis ces échantillons à des analyses d'isotopes stables pour l'oxygène et l'hydrogène afin de voir si les rapports entre ces isotopes nous permettent de constater des taux d'évaporations différents selon les zones du réservoir d'Eastmain-1.

Notre rapport est divisé en quatre parties :

- La première partie consiste en une mise en contexte du projet Eastmain-1, une présentation de base sur les isotopes stables et un survol géologique et géographique de la zone échantillonnée.
- La seconde partie présente les sites d'échantillonnages, les techniques d'échantillonnages et d'entreposage ainsi que la méthode d'analyse.
- La troisième partie est la présentation des résultats d'analyse ainsi que de nos hypothèses.
- Finalement, la quatrième partie consiste en l'interprétation de nos résultats et en une courte discussion.

1. MISE EN CONTEXTE

1.1 Le projet Eastmain-1

1.1.1 Aperçu global du projet

Voici une description tirée du site internet du projet Eastmain-1 : « Le projet des émissions nettes de gaz à effets de serre (GES) au réservoir d'Eastmain-1 consiste à déterminer les émissions qui seront émises au réservoir EM-1 comparativement à celles qui auraient été émises par les milieux naturels. ». La particularité de ce projet est que, pour la première fois, il a été possible de mesurer les émissions de GES avant la mise en eau du réservoir, ce qui permet de faire une étude comparative entre les terrains naturels et les terrains inondés. Il s'agit d'une vaste étude qui regroupe des experts en provenance d'universités, d'entreprises privées et d'agences gouvernementales.

1.1.2 Objectifs du projet

Le projet comporte cinq volets. Le volet aquatique, qui tente de quantifier les flux de CO₂ et de CH₄ ainsi que la quantité de carbone dans le réservoir EM-1 en comparaison à ce que l'on retrouve dans les lacs et rivières de la région. Le volet terrestre, dont l'objectif est de déterminer les flux de CO₂ et de CH₄ ainsi que la quantité de carbone que l'on retrouve dans la forêt en milieu naturel comparativement au milieu noyé. Le volet isotopes stables, dans le cadre duquel la présente étude se situe et qui tente de déterminer l'origine de la matière organique présente dans le réservoir. Le volet Covariance d'Eddy, qui cherche à mesurer à haute fréquence les flux de CO₂ à l'aide d'un système de corrélation d'Eddy. Et, en dernier lieu, le volet modélisation qui cherche à développer un modèle prévisionnel des émissions de GES du réservoir EM-1 pour les cent prochaines années.

À travers les résultats obtenus par ces cinq approches, les experts du groupe de recherche espèrent découvrir si l'inondation de terrains en région boréale mène à un bilan positif ou négatif de séquestration de GES comparativement aux mêmes terrains non-inondés. Ils espèrent également mieux comprendre la dynamique des GES en lien avec la création de réservoirs hydroélectriques dans cette même région.

1.2 Les isotopes stables

1.2.1 Connaissances de base

Dans le tableau périodique des éléments, ceux-ci sont classés selon le nombre de protons que l'on peut trouver dans leur noyau. Or, pour un élément donné, celui-ci peut avoir un nombre variable de neutrons. Des atomes qui possèdent le même nombre de protons et d'électrons, mais un nombre

différents de neutrons seront appelés des isotopes d'un élément. Il existe deux sortes d'isotopes, les isotopes stables et les isotopes instables. Un isotope instable est un isotope dont l'assemblage des protons et des neutrons dans le noyau ne parvient pas à garder sa cohésion. Puisque ce noyau de protons et de neutrons est instable, à plus ou moins long terme des protons seront éjectés transformant l'élément initial en un autre élément, on parle alors d'élément radioactif. À l'opposé, un isotope stable est un isotope dont l'agencement de protons et de neutrons dans le noyau est à l'équilibre et est donc non-radioactif. Chaque élément possède plusieurs isotopes stables, celui étant présenté dans le tableau périodique des éléments étant habituellement le plus abondant sur Terre. De nos jours, nous connaissons pour chaque isotope de chaque élément, la proportion que l'on retrouve dans la nature. Par exemple, nous savons que dans la nature les isotopes du carbone sont répartis de la façon suivante : ^{12}C : 98.9%, ^{13}C : 1.1%, les autres isotopes du carbone, comme le ^{14}C et le ^{11}C sont considérés comme étant présent à l'état de traces.

1.2.2 Techniques isotopiques : fonctionnement et applications

Comme mentionné précédemment, il est possible d'avoir plusieurs isotopes stables pour un même élément. Puisque ces différents isotopes du même élément se retrouvent dans la nature, ceux-ci interagissent dans les cycles chimiques et biologiques naturels. Or, comme leurs poids respectifs varient, les isotopes plus légers seront plus facilement transformés, leur moindre poids nécessitant moins d'énergie pour une même transformation. On appelle ce phénomène le fractionnement. Puisque selon la réaction et l'élément impliqué le fractionnement sera différent, il nous est possible de distinguer des « signatures isotopiques ». Prenons par exemple le carbone pour lequel il existe deux isotopes stables : le ^{12}C et le ^{13}C . Puisque le fractionnement diffère selon les réactions chimiques, le rapport de $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ne sera pas le même dans du maïs, un érable ou encore dans une plante aquatique, qui traitent chacun le carbone à l'aide d'une réaction chimique différente. Par des techniques isotopiques il est donc possible de retracer l'origine du carbone dans un système naturel donné.

Bien que la plupart des éléments possèdent plus d'un isotope stable, les éléments les plus régulièrement utilisés sont l'hydrogène ($^2\text{H}/^1\text{H}$), le carbone ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), l'azote ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$), l'oxygène ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) et le soufre ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$). Ces isotopes peuvent être utilisés dans de très nombreux domaines dont voici un rapide survol. Les isotopes du carbone et de l'azote servent souvent à mieux comprendre la chaîne alimentaire, autant chez les animaux que chez les humains. Dans le cas du projet Eastmain-1, le carbone sert d'une part de traceurs afin de connaître l'origine du CO_2 qui se trouve dans le réservoir, mais on s'en sert également pour estimer les flux de CO_2 à l'interface air/eau. La composition isotopique du soufre est majoritairement utilisée pour des études sur des bactéries ou encore sur des roches. En dernier lieu, les isotopes d'hydrogène et d'oxygène, qui sont ceux utilisés dans le présent travail, servent à comprendre les systèmes hydrologiques. Ces isotopes permettent d'estimer la source d'approvisionnement en eau, les processus d'évaporation dans les lacs et rivières, de calculer la recharge, d'estimer les temps de séjours et possède encore de nombreuses utilisations.

1.3 Le milieu d'échantillonnage

1.3.1 Situation géographique et géologique.

Le réservoir hydroélectrique Eastmain-1, dont la position est 52°10'N par 75°50'W, se situe dans la région de la Baie d'Hudson au Québec. Il s'agit d'une région boréale qui, avant l'inondation, était recouverte à 65% de forêt boréale, 21% de rivières et lacs et 14% de tourbières (Lalonde, 2009). Le réservoir en tant que tel recouvre une superficie de 603Km² et à une profondeur moyenne de 11,5m. L'inondation a été effectuée par le barrage de la rivière Eastmain et a duré du mois de novembre 2005 jusqu'au mois de mai 2006. Afin d'aider à la déforestation l'inondation a débutée juste avant la prise des glaces, de cette manière la base des troncs d'arbres se trouve piégée dans les glaces puis, avec la montée des eaux, les arbres sont déracinés sans l'aide de machinerie.



FIGURE 1 : LOCALISATION GÉOGRAPHIQUE DU RÉSERVOIR EASTMAIN-1
(Source : site internet du projet EM-1)

Le réservoir Eastmain-1, se situe dans la province géologique du Supérieur. Plus précisément, le site d'échantillonnage est dans la ceinture volcano-sédimentaire de la rivière Eastmain qui, elle-même, se trouve dans la ceinture de roches vertes et dans les roches méta-sédimentaires du bouclier canadien. La morphologie des terrains ainsi que les sédiments non consolidés proviennent de l'activité des glaces lors de la dernière grande glaciation. On peut trouver dans cette région de nombreuses unités stratigraphiques en lien avec la glaciation et la déglaciation comme des tills basaux, des moraines, des tills d'abrasion, ainsi que des dépôts d'abrasion fluvio-glaciaire et fluvio-lacustre (Brousseau, 2008).

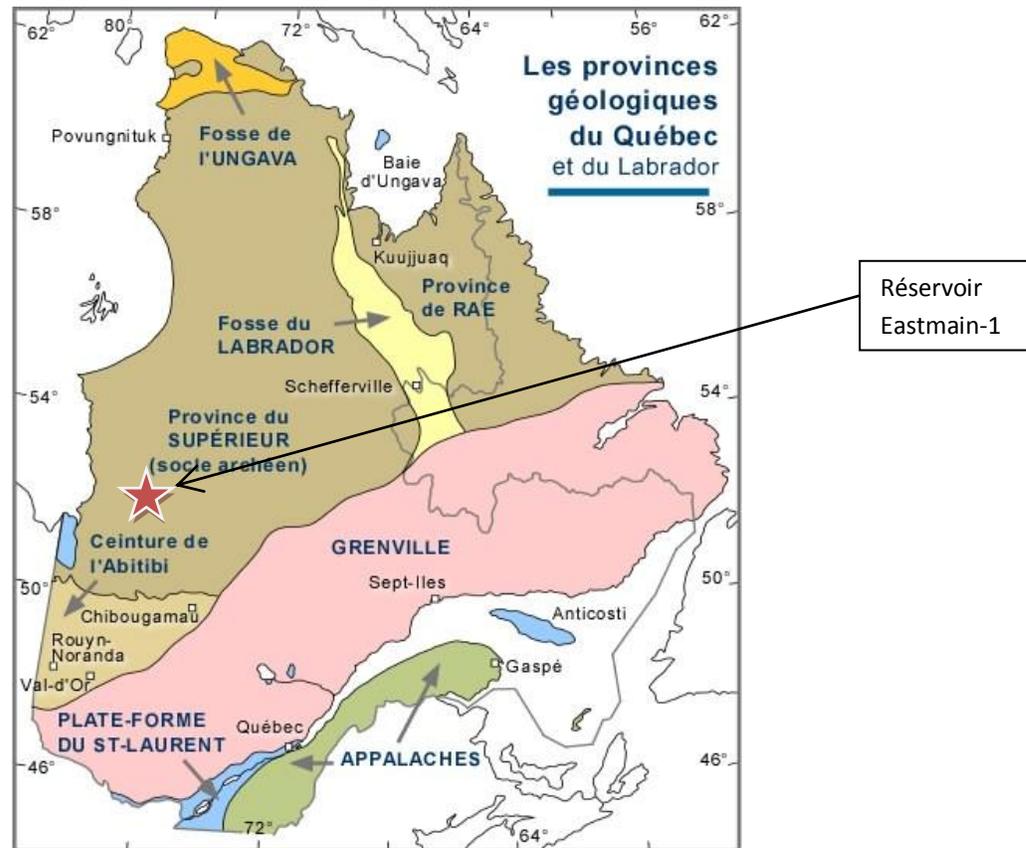


FIGURE 2 : CARTE GÉOLOGIQUE DU QUÉBEC
(Source: site de l'Université laval)

1.3.2 Conditions environnementales

Comme mentionné précédemment, le réservoir hydroélectrique de la rivière Eastmain se situe dans une région boréale. Le climat de cette région est caractérisé par une température moyenne annuelle de $-2,4^{\circ}\text{C}$ avec des températures pouvant osciller entre $22,4^{\circ}\text{C}$ et $-29,0^{\circ}\text{C}$. Les précipitations annuelles moyennes, basées sur les précipitations de 2003 à 2005, sont de $731,9\text{mm}$ (Environnement Canada). En annexe est fourni un tableau des précipitations pour les années 2006 et 2007, années des échantillonnages, à la station la plus près du réservoir.

2. Méthodes et Analyses

2.1 Échantillonnage

2.1.1 Sites d'échantillonnages

Les échantillons ont été récupérés lorsque le réservoir était libre de glace à travers cinq campagnes effectuées en juin 2006, août 2006, octobre 2006, juin 2007 et juillet 2007. Treize emplacements ont été échantillonnés, douze dans le réservoir et un dans un lac (*Lac-13*) en bordure du réservoir (Figure 2 et tableau1). Tous ces sites ont été échantillonnés en surface (0-5cm) et dans trois d'entre eux il y a également eu échantillonnage de la colonne d'eau. Lors de la première campagne les colonnes d'eaux ont été échantillonnées à 2, 4, 6, et 8 mètres de profondeur, puis dans les quatre campagnes subséquentes à 5, 10 et 15 mètres de profondeur. Aussi, lors des campagnes de juin et août 2006 un site (*Tour1*) à été échantillonné de nuit.

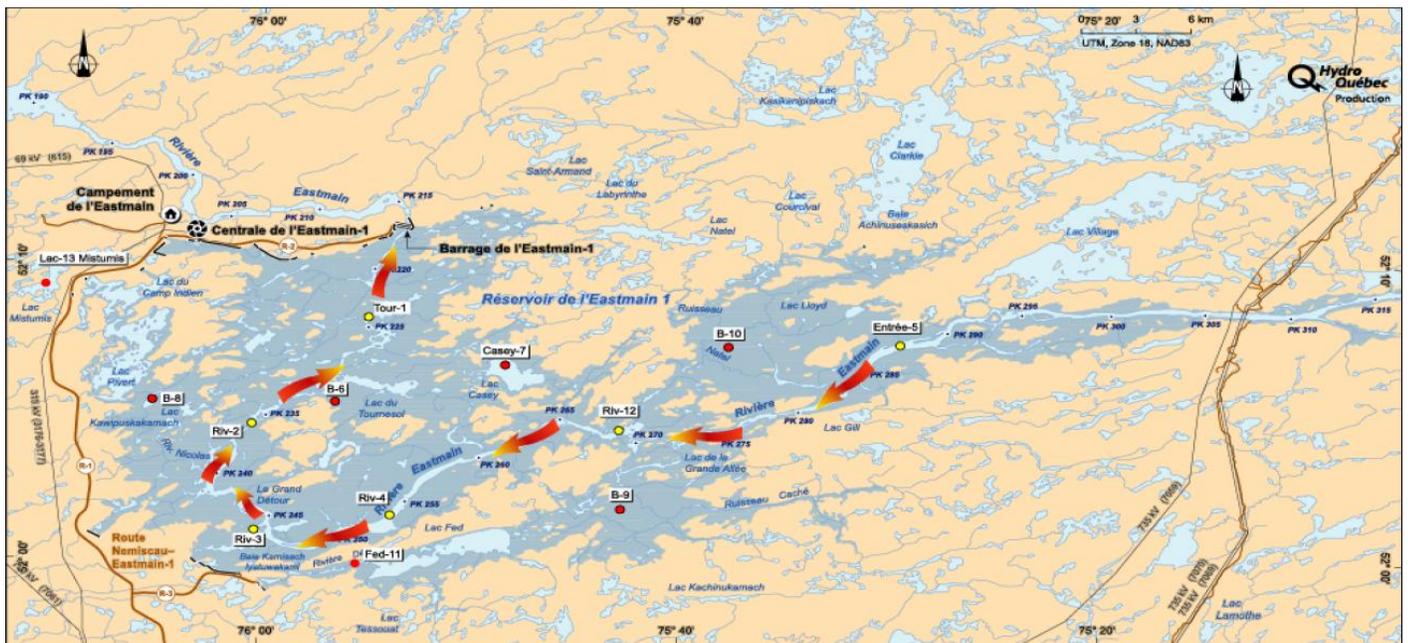


FIGURE 3 : SITES D'ÉCHANTILLONNAGE, RÉSERVOIR EASTMAIN-1
(Source: Hélie, 2009)

TABLEAU 1 : EMBLEMES DES SITES D'ÉCHANTILLONNAGE.

Sites d'échantillonnages	Latitude	Longitude
<i>Tour-1</i>	52° 07,979'	75° 55,603'
<i>Riv-2</i>	52° 04,470'	76° 00,400'
<i>Riv-3</i>	52° 00,405'	76° 01,038'
<i>Riv-4</i>	52° 01,570'	75° 54,370'
<i>Entrée-5</i>	52° 07,342'	75° 29,319'
<i>B-6</i>	52° 05,236'	75° 56,247'
<i>Casey-7</i>	52° 06,404'	75° 47,780'
<i>B-8</i>	52° 05,360'	75° 05,090'
<i>B-9</i>	52° 01,050'	75° 42,044'
<i>B-10</i>	52° 07,200'	75° 37,380'
<i>Fed-11</i>	51° 59,717'	75° 54,085'
<i>Riv-12</i>	52° 04,418'	75° 42,513'
<i>Lac-13</i>	52° 09,025'	76° 10,276'

Nous avons séparé les points d'échantillonnages en deux groupes, les zones de baies et les zones de rivières. Les zones de baies sont les points : B-6, B-8, B-9, B-10, Fed-11 et Casey-7. Tandis que les zones de rivières sont les points : Tour-1, Riv-2, Riv-3 Riv-4, Riv-12 et Entrée-5. Le Lac-13 est un lac naturel à proximité du réservoir qui a été utilisé dans le cadre de la maîtrise d'Annie Lalonde, mais qui ne nous est pas utile dans le présent travail.

2.1.2 Techniques d'échantillonnage et d'entreposage

Les sites d'échantillonnages ont été atteints par « freighter » (la traduction serait navire de charge). Les échantillons d'eau ont été collectés dans des bouteilles de verre brune et scellés avec des bouchons en Polyseal™ sur lesquels du chlorure mercurique (HgCl₂) avait été préalablement mis dans le but d'éviter la croissance de bactéries ou d'algues. Les échantillons ont alors été conservés à 4°C jusqu'à leur analyse pour le carbone, par la suite ils ont été conservés à température pièce.

Les échantillons de surface ont été recueillis en immergeant les bouteilles dans la partie superficielle de l'eau (0-5cm). L'échantillonnage des colonnes d'eau s'est fait grâce à une multisonde de modèle YSI™ 6000, afin de connaître la profondeur exacte, ainsi qu'à l'aide d'une bouteille Alpha de Wildco™ d'un volume de 6L. La bouteille Alpha de Wildco™ est une bouteille dont les deux extrémités sont ouvertes. Une fois la bouteille à la profondeur désirée, un messenger d'acier est envoyé le long du câble reliant la bouteille à l'embarcation afin de déloger l'élastique qui maintient les bouchons ouverts. Une fois l'élastique délogé, les bouchons se referment et l'eau est échantillonnée à la profondeur désirée.

2.2 Analyse

2.2.1 But de l'étude et technique utilisée

Comme mentionné précédemment, les différents isotopes d'un même élément subissent un fractionnement dû à leur différence de masse. Le passage de l'état liquide à l'état gazeux n'échappe pas à cette règle, ainsi lorsqu'il y a évaporation il y aura concentration en ^{18}O dans le réservoir initial et appauvrissement dans la quantité évaporée. Dans le cadre de notre étude, nous cherchons à savoir s'il y a une différence de taux d'évaporation entre les différentes zones du réservoir. Pour se faire il nous est nécessaire de connaître la quantité de ^{16}O et de ^{18}O dans les échantillons afin de voir si les quantités diffèrent selon le point d'échantillonnage. Or, il est extrêmement coûteux et difficile, voir même impossible, de mesurer la quantité absolue d'un isotope. Nous avons donc optés pour la technique IRMS (Isotope Ratio Mass Spectrometry), dont le fonctionnement sera décrit en détail dans la prochaine section. Pour l'instant, il est utile de savoir qu'à l'aide de cette technique, il est possible de trouver le rapport entre les isotopes d'un même élément et de comparer ce rapport à un étalon standard, reconnu internationalement, dont le contenu isotopique absolu a été mesuré. Par cette analyse, nous obtenons une valeur dont la notation est le delta (δ) et dont l'unité est le ‰. Voici un exemple de la notation delta pour l'oxygène :

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{([\text{O}^{18}]/[\text{O}^{16}])_{\text{échantillon}} - ([\text{O}^{18}]/[\text{O}^{16}])_{\text{standard}}}{([\text{O}^{18}]/[\text{O}^{16}])_{\text{standard}}} \times 1000$$

Dans le cas de l'eau l'étalon standard pour la mesure du ^{18}O et du ^2H est le SMOW (Standard Mean Ocean Water), valeur théorique du contenu isotopique de l'eau océanique et qui a été établie par Harmon Craig en 1961. Au cours de la même année, Craig a également démontré qu'il existe une relation linéaire entre les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^2\text{H}$ dans les eaux douces de surface et ce à l'échelle globale. Cette droite a été définie comme étant la Global Meteoric Water Line (GMWL) et représente la composition isotopique théorique moyenne de l'eau météorique.

2.2.2 Préparation des échantillons

L'analyse des échantillons d'eau a été effectuée dans les laboratoires de géochimie isotopiques du GÉOTOP à l'UQAM et s'est étalée sur une période de deux semaines. La préparation des échantillons pour l'analyse de l'oxygène et de l'hydrogène est identique à un détail près : l'ajout d'un catalyseur de platine pour l'analyse de l'hydrogène.

Étape 1 : Tout d'abord, chaque échantillon a été sous-échantillonné afin d'avoir un volume de 200 μL . Ce sous-échantillonnage a été effectué à l'aide d'une pipette mécanique dont le volume de prélèvement peut être réglé. Afin d'éviter toute contamination un embout de plastique différent a été utilisé pour chaque sous-échantillonnage.

Étape 2 : Ce volume d'eau a ensuite été déposé dans le fond d'une vialle de verre (sorte de petite éprouvette à fond plat) en prenant garde à ne pas en mettre sur les parois.

Étape 3 : Uniquement pour l'analyse de l'hydrogène, il y a ajout d'un catalyseur de platine dans les viales. Le catalyseur ressemble à un ressort avec une tige, parallèle à l'axe, qui se prolonge à chaque extrémité. Il est à noter que l'une des tiges est plus longue que l'autre et qu'il est important que celle-ci soit vers le bas.

Étape 4 : Il est nécessaire de refermer hermétiquement chacune des viales tout en permettant l'accès pour l'analyse. Pour se faire, nous disposons de bouchons en plastique réutilisables au milieu desquels existe une ouverture. Dans ces bouchons, nous devons insérer une membrane plastique (septum) qui joindra de manière hermétique le bouchon et la vialle et qui sera percée afin de permettre l'analyse.

Note : Afin de garantir l'exactitude de l'analyse, nous disposons de 10 viales références. Dans ces viales, nous avons déposé de l'eau MilliQ et de l'eau en provenance de la Baie de Baffin, eaux dont nous connaissons la composition isotopique. Les dix viales ont été disposées de la manière suivante : six au début de la série (trois MilliQ, trois Baffin), puis une de chaque au milieu et à la fin de la série. Aussi, il est nécessaire d'être très rigoureux dans nos manipulations car les viales d'échantillons ne sont pas identifiées, ainsi à la moindre erreur de classement il n'est plus possible de retrouver quelle vialle est associée à quel échantillon.

2.2.3 Fonctionnement du spectromètre de masse et analyse des échantillons

L'analyse des isotopes se fait grâce à plusieurs composantes divisées en trois sections. La première section est le système de préparation des échantillons, la seconde est le spectromètre de masse et la troisième est le système d'analyse. Nous allons voir ces composantes, ainsi que leurs fonctions, une à une afin d'avoir une meilleure compréhension du processus d'analyse. Voici d'abord une photo du spectromètre de masse suivi d'un schéma illustrant les différentes composantes :

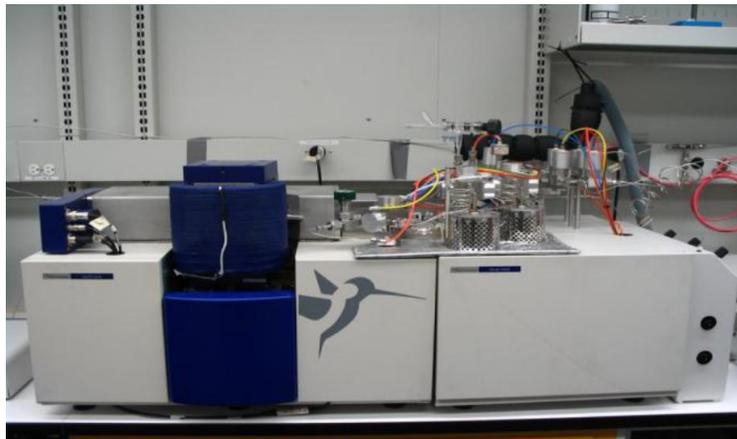


FIGURE 4: PHOTO D'UN SPECTROMÈTRE DE MASSE DU GÉOTOP
(Source : Fiche éducative, isotopes stables, site du projet EM-1)

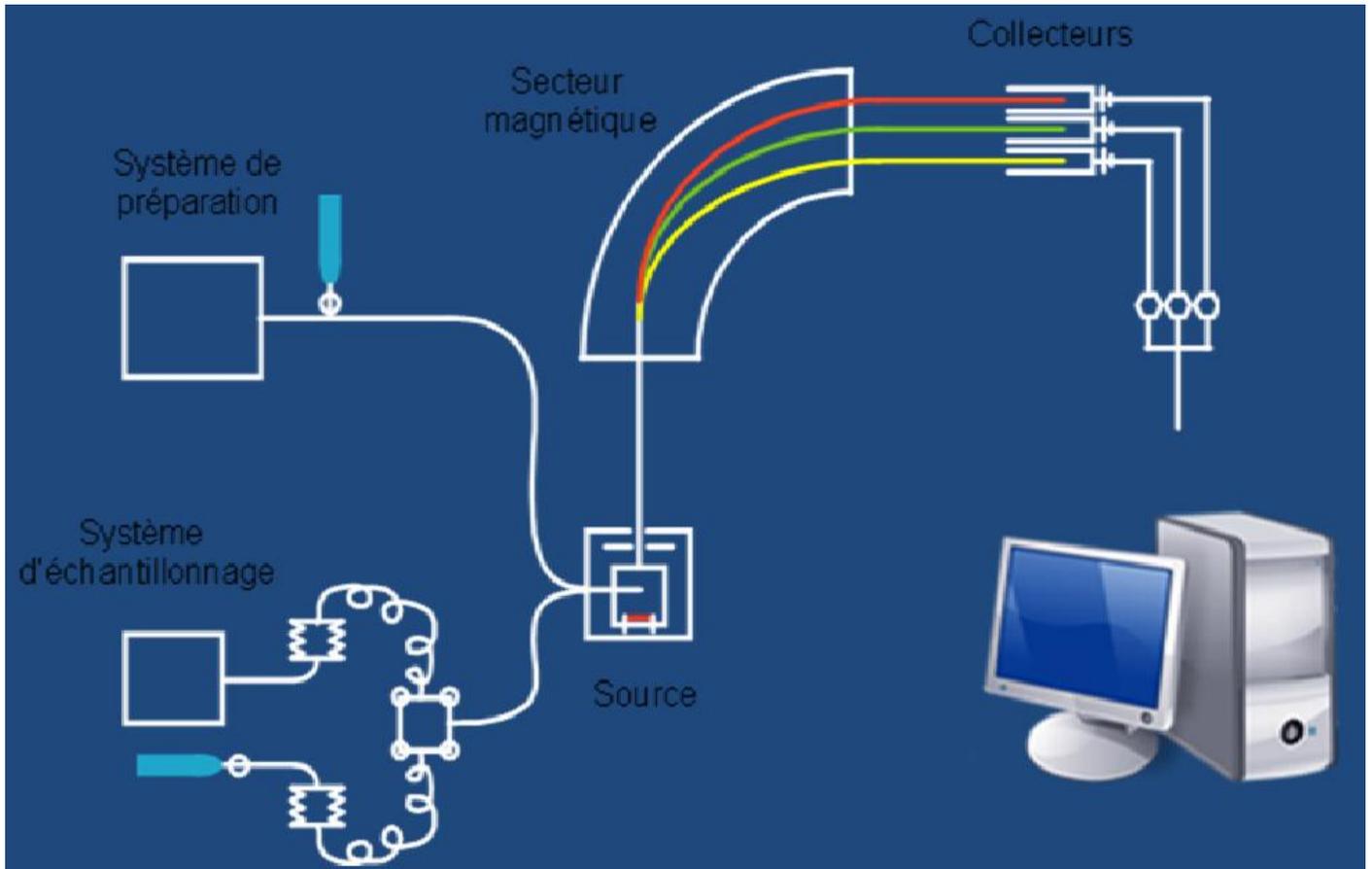


FIGURE 5 : SCHÉMA ILLUSTRANT LES COMPOSANTES D'UN SPECTROMÈTRE DE MASSE
 (Source : Fiche éducative, isotopes stables, site du projet EM-1)

La première section est composée du système d'échantillonnage et du système de préparation. Le système d'échantillonnage est composé d'un bac chauffé à 40°C et d'un bras mécanique muni d'une aiguille servant à percer les septums. Il est nécessaire de chauffer le bac car les variations de température d'une journée à l'autre sont susceptibles de fausser les résultats. En chauffant le bac à une température constante se trouvant en dehors des températures ambiantes normales, on évite ainsi d'avoir à calculer ce facteur lorsque l'on compare deux séries d'échantillons analysés lors de journées différentes. Le système de préparation, comme son nom l'indique, prépare les échantillons à l'analyse. La technique de préparation des échantillons varie selon l'isotope que l'on veut analyser. Suite au survol du fonctionnement d'un spectromètre de masse, nous expliquerons spécifiquement comment ont été préparés nos échantillons avant l'analyse pour l'oxygène et l'hydrogène.

Afin de faire passer nos échantillons du système de préparation au spectromètre de masse, il est à noter qu'il existe deux techniques d'injections : la technique à injection double et la technique en flux continu. La technique à injection double, qui est celle que nous avons utilisée pour l'analyse de l'oxygène, consiste à introduire alternativement un volume égal de gaz échantillon et de gaz référence. Pour ce faire, l'appareil doit donc posséder deux réservoirs qui s'alternent, voir figure 6. L'avantage de cette

technique est que le fractionnement au niveau de la source et lors du transport du gaz est identique pour l'échantillon et pour le gaz référence. Puisque le fractionnement est identique celui-ci peut être négligé lors du calcul des rapports isotopiques, ce qui rend cette technique particulièrement précise pour l'analyse des isotopes stables sous forme de gaz.

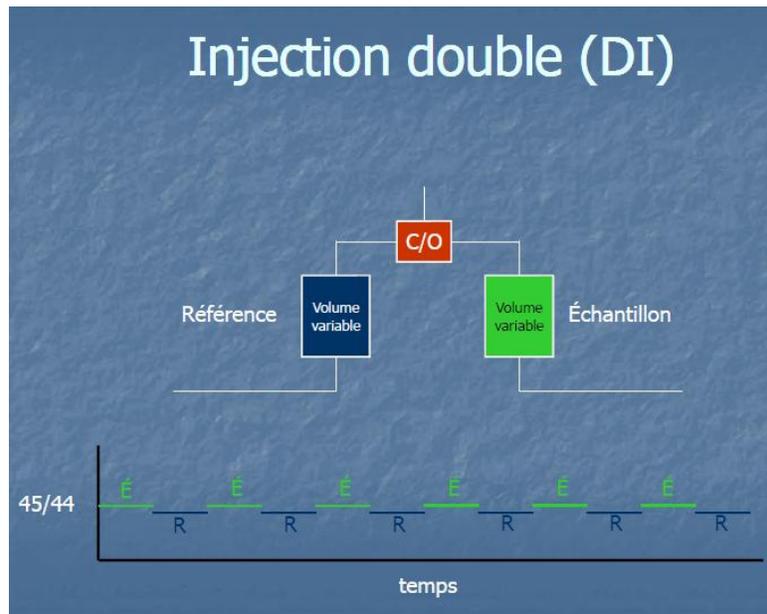


FIGURE 6 : SCHÉMA DE L'INJECTION DOUBLE
(Source : Hélie, 2008)

La seconde technique d'injection, que nous avons utilisée pour l'hydrogène, se fait en flux continu. Pour utiliser cette technique il est nécessaire d'avoir un gaz porteur, habituellement l'hélium. Celui-ci se trouve en pression constante à travers le système de préparation, tout d'abord pour expulser l'air et ensuite pour emmener les gaz produits vers le spectromètre de masse. Il est extrêmement important que la pression soit constante afin que les gaz produits arrivent au même moment au système d'analyse, il est également très important que la quantité de gaz produit soit la même d'une analyse à l'autre afin de pouvoir comparer les résultats.

La seconde section est le spectromètre de masse et est composée de la source, du secteur magnétique et des collecteurs. Lorsque les molécules de gaz arrivent dans la source, celles-ci se font arracher un électron, ce qui leur confère une charge électrique. Une fois les particules chargées, elles sont accélérées à l'aide de gradient de voltage et projetées vers le secteur magnétique. Le secteur magnétique est en fait un champ magnétique d'amplitude prédéfinie et induit à l'aide d'un aimant puissant. Puisque les molécules de gaz sont chargées électriquement lorsqu'elles traversent le champ magnétique, elles se trouvent déviées. Or, comme les différents isotopes ont des masses différentes, toutes les molécules ne seront pas déviées de manière égale. Les collecteurs se trouvant à l'autre extrémité du secteur magnétique reçoivent les particules qui ont été déviées et envoient ces informations à l'ordinateur pour que celui-ci les traite.

La dernière section du système est composée de l'ordinateur qui reçoit les données de collisions en provenance des collecteurs et qui interprète celles-ci. Ainsi, puisque la puissance du champ magnétique est connue et selon les degrés de déviation, l'ordinateur parvient à déduire la masse des molécules de gaz qui ont été déviées. Ensuite, grâce à ces données, l'ordinateur nous fournit les rapports entre les différents isotopes analysés.

Préparation des échantillons pour le ^{18}O :

À l'aide d'un bras mécanique, une aiguille vient percer le septum de chacune des vials et remplir celle-ci de gaz carbonique, le septum se refermant hermétiquement lors du retrait de l'aiguille. Il est alors nécessaire d'attendre un certain laps de temps afin qu'il y ait échange entre le CO_2 et l'eau présente dans la vial. Lorsque ce temps est écoulé, la proportion de ^{16}O et de ^{18}O sera la même dans le gaz que dans l'eau, il nous est alors possible de récupérer le gaz et de l'envoyer vers la source par injection double.

Préparation des échantillons pour le deutérium :

Une fois encore, le bras mécanique pourvu d'une aiguille vient percer le septum de chacune des vials contenant cette fois un catalyseur de platine en plus du $200\mu\text{L}$ d'échantillon d'eau. Cette fois, le gaz injecté dans les vials est un mélange d'hélium avec environ 2% d'hydrogène. Après un certain laps de temps nécessaire à l'échange d'hydrogène entre l'échantillon d'eau et le mélange gazeux, le gaz est récupéré et injecté dans le système par injection en flux continu.

2.2.4 Traitement des données brutes

Suite à l'analyse, l'ordinateur nous fournit des données brutes, en références au SMOW, que l'on doit corriger. Les données brutes sont corrigées à l'aide d'une droite de calibration construite à l'aide de deux eaux de référence: MilliQ ($\delta^{18}\text{O}=-6,85\text{‰}$; $\delta^2\text{H}=-20,57\text{‰}$) et Baffin ($\delta^{18}\text{O}=-52,5\text{‰}$; $\delta^2\text{H}=-158,0\text{‰}$). Cette droite de calibration, dont les axes sont $\delta_{\text{mesuré}}$ et δ_{vrai} , nous permet de calculer l'imprécision analytique de l'appareil, voir figure 7.

Il est parfois également possible de noter la présence d'un drift au cours de l'analyse, c'est-à-dire une dérive instrumentale en fonction du temps. Ce type de déviation est plus souvent remarqué lorsque la technique en flux continu est utilisée, donc lors de l'analyse du deutérium. Il faut alors noter la variation de la signature isotopique de nos standards dans le temps, on obtient ainsi un rapport de la dérive en fonction du temps et il nous est possible de corriger les données de nos échantillons.

Il est à noter que dans le cadre de notre étude, Jean-François Hélie a fait les corrections des données brutes. La précision analytique standard est de $\pm 0,05\text{‰}$ à 1σ pour le ^{18}O H_2O et de $\pm 1,5\text{‰}$ à 1σ pour le ^2H H_2O .

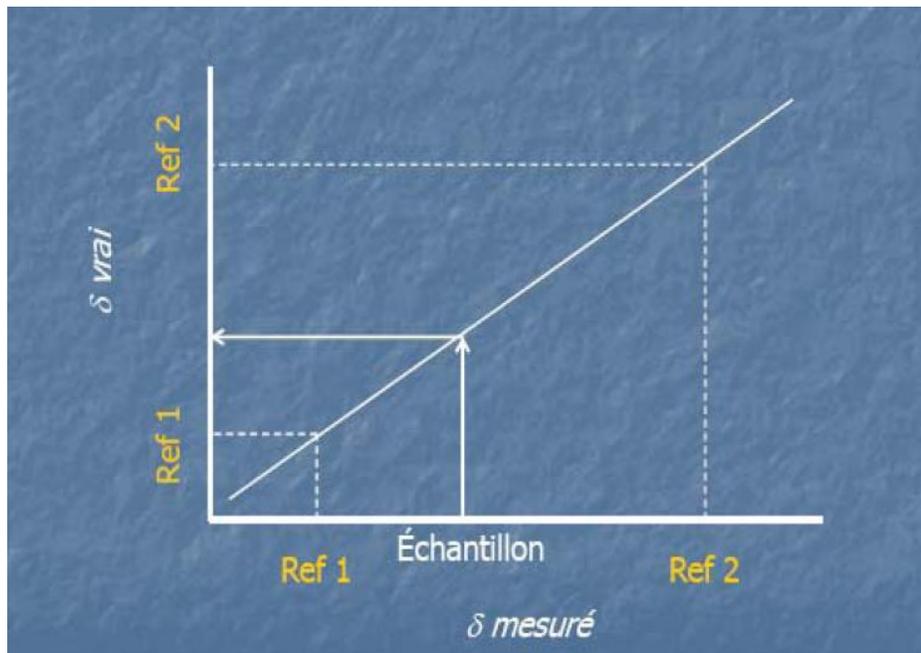


FIGURE 7 : EXEMPLE DE DROITE DE CALIBRATION
(Source : A. Vigneau, 2008)

3. Présentation des résultats et des hypothèses

3.1 Présentation des résultats corrigés (^2H et ^{18}O)

3.1.1 Erreur de reproductibilité

Comme nous n'avons pas fait de duplicatas de nos échantillons, il n'a pas été possible de calculer l'erreur de reproductibilité sur la totalité des échantillons. Par contre, Annie Lalonde ayant préalablement traité ces mêmes échantillons pour l'oxygène et le carbone, il nous a été possible de calculer l'erreur de reproductibilité, par rapport à l'oxygène, sur certains échantillons (tableau 2). Les $\delta^{18}\text{O}$ a et b sont les résultats obtenus par Annie Lalonde alors que le $\delta^{18}\text{O}$ 2010 est la valeur obtenue dans le cadre de notre étude.

TABLEAU 2 : ERREUR DE REPRODUCTIBILITÉ

Échantillon	$\delta^{18}\text{O}$ a	$\delta^{18}\text{O}$ b	$\delta^{18}\text{O}$ 2010	$\delta^{18}\text{O}$ moyen	Déviati on standard	Commentaire
Tour1 Jour C2	-14,68	-14,66	-14,70	-14,68	0,02	
Tour1 Nuit C2	-12,69	-12,75	-	-12,72	0,04	
R2 C2	-14,68	-14,67	-14,68	-14,68	0,00	
R3 C2	-14,61	-14,61	-14,59	-14,60	0,01	
R4 C2	-14,34	-14,39	-14,32	-14,35	0,04	
Entree5 C2	-12,86	-12,86	-12,89	-12,87	0,02	
B6 C2	-14,47	-14,49	-14,50	-14,49	0,02	
Casey7 C2	-13,34	-13,41	-13,28	-13,34	0,06	
B8 C2	-13,79	-13,82	-13,84	-13,81	0,02	
B9 C2	-13,83	-13,88	-13,78	-13,83	0,05	
B10 C2	-13,62	-13,65	-13,62	-13,63	0,02	
Point17 C2	-13,33	-13,35	-13,06	-13,25	0,16	à revoir
Lac13 C2	-12,06	-12,12	-12,13	-12,10	0,04	

Suite au calcul de la déviation standard, nous pouvons noter que pour tous nos échantillons sauf un, le point 17 de la deuxième campagne, nos données démontrent une déviation standard très faible. Aussi, puisque le point 17 semble avoir une valeur constante lors des analyses d'Annie Lalonde et que cette valeur est très différente dans notre analyse, nous supposons qu'il y a eu des fuites lors de l'entreposage entre les deux études.

3.1.2 Résultats corrigés

Les séquences d'analyses se sont bien déroulées, mis à part la vialle contenant l'échantillon C2 B-9 qui a été omise lors de l'analyse de l'hydrogène. Nous avons du intégrer cette vialle à une autre série d'analyses afin de connaître sa composition. C1, C2, C3, C4 et C5 représentent les campagnes d'échantillonnage 1, 2, 3,4 et 5.

TABLEAU 3 : RÉSULTATS CORRIGÉS

Échantillon	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
C1 tour1 nuit 0M	-14,10	-106,37
C1 tour1 nuit 2M	-13,89	-106,19
C1 tour1 nuit 4M	-13,01	-102,93
C1 tour1 nuit 6M	-10,79	-95,17
C1 tour1 nuit 8M	-14,13	-106,71
C1 tour1 nuit 10M	-14,48	-110,78
C1 tour1 nuit 12M	-14,35	-107,84
C1 Lac-13	-12,41	-94,63
C1 riv-2	-14,18	-105,66
C1 riv-3	-14,60	-109,96
C1 riv-4	-15,15	-113,85
C1 Fed-11	-14,48	-107,67
C1 P-10	-15,08	-112,70
C1 B-8	-13,80	-103,89
C1 B-9	-15,14	-111,23
C1 B-6	-14,72	-109,03
C1 Casey-7 0M	-14,79	-108,32
C1 Casey-7 2M	-14,67	-109,86
C1 Casey-7 3M	-13,86	-106,38
C1 Casey-7 4M	-14,75	-109,90
C1 tour1 jour 0M	-14,65	-108,51
C1 tour1 jour 2M	-12,68	-100,86
C1 tour1 jour 4M	-14,57	-106,65
C1 tour1 jour 6M	-13,59	-106,19
C1 tour1 jour 8M	-12,65	-99,75
C1 tour1 jour 10M	-11,91	-98,41
C1 Entree-5 0M	-14,51	-109,68
C1 Entree-5 1M	-13,26	-106,24
C1 Entree-5 2M	-14,24	-110,07
C1 Entree-5 3M	-14,58	-110,66
C1 Entree-5 4M	-13,87	-108,26
C2 Tour1	-14,70	-108,50

Échantillon	δ18O	δ2H
C2 Riv-2	-14,68	-108,14
C2 B-8	-13,84	-107,62
C2 B-9	-13,78	-100,41
C2 B-10	-13,62	-102,84
C2 Point-17	-13,06	-101,89
C2 Lac-13	-12,13	-92,07
C2 Riv-4	-14,32	-108,81
C2 Riv-3	-14,59	-109,02
C2 Fed-11	-14,09	-107,53
C2 B-6	-14,50	-108,81
C2 Entree-5 surf	-12,89	-99,55
C2 Entree-5 2m	-13,33	-101,87
C2 Entree-5 5m	-12,67	-99,92
C2 Entree-5 10m	-13,28	-102,28
C2 Tour1 0m	-14,65	-110,06
C2 Tour1 2m	-13,87	-106,24
C2 Tour1 6 m	-14,57	-110,09
C2 Tour1 10m	-14,61	-109,35
C2 Casey-7 surf	-13,28	-103,93
C2 Casey-7 2m	-14,33	-108,95
C2 Casey-7 4m	-13,97	-107,23
C2 Casey-7 6m	-14,10	-109,10
C2 Casey-7 8m	-14,18	-109,95
C2 Casey-7 10m	-14,41	-109,25
C2 tour1 nuit 5M	-13,24	-103,55
C2 tour1 nuit 15M	-14,60	-109,24
C3 Tour ile precipitation	-13,25	-93,45
C3 Gorges	-14,73	-102,33
C3 Turbines	-14,04	-108,15
C3 B-6	-12,86	-101,53
C3 Riv-12	-13,22	-101,66
C3 Fed-11	-13,32	-103,59
C3 Riv-3	-13,79	-104,81
C3 Riv-2	-13,96	-105,95
C3 Riv-4	-13,30	-100,90
C3 B-9	-13,31	-102,39
C3 B-8	-13,63	-103,39
C3 Tour1 surf	-13,88	-104,54
C3 Tour1 2m	-13,04	-103,33
C3 Tour1 5m	-14,04	-105,16

Activité de synthèse – Composition isotopique du réservoir Eastmain-1 :
Implications sur le temps de séjour moyen.

Échantillon	$\delta^{18}\text{O}$	$\delta^2\text{H}$
C3 Tour1 10m	-13,91	-106,72
C3 Entree-5 surf	-13,26	-101,22
C3 Entree-5 2m	-13,20	-101,97
C3 Entree-5 5m	-13,20	-100,65
C3 Entree-5 10m	-13,22	-101,14
C3 Casey-7 surf	-13,55	-104,10
C3 Casey-7 2m	-13,51	-103,16
C3 Casey-7 5m	-13,58	-104,76
C3 Casey-7 10m	-12,46	-100,39
C3 Tour 1 nuit surf	-12,73	-103,34
C3 Tour 1 nuit 2m	-14,27	-108,98
C4 Entree-5 0M	-15,12	-116,41
C4 Entree-5 2M	-15,28	-115,59
C4 Entree-5 5M	-15,14	-116,54
C4 Entree-5 10M	-15,70	-118,77
C4 riv-2	-15,37	-114,69
C4 riv-3	-15,39	-116,16
C4 riv-4	-15,31	-118,45
C4 Fed-11	-12,44	-104,37
C4 B-8	-12,57	-103,53
C4 B-6	-14,95	-114,15
C4 Centrale	-13,42	-105,90
C4 Lac-13	-11,80	-97,80
C4 tour1 jour 2M	-14,07	-109,31
C4 tour1 jour 5M	-11,21	-102,68
C5 B-6	-14,04	-110,80
C5 riv-4	-13,49	-110,98
Pluie 2006-08-09	-17,61	-132,07

3.1.3 Droites météoriques

Afin de pouvoir comparer les différents taux d'évaporation, il nous est nécessaire d'avoir une droite standard des compositions isotopiques de l'eau. Nous avons donc ajouté à chacun de nos graphiques la GMWL définie par Craig en 1961 ainsi qu'une seconde droite standard tirée du site de Bowen, Waterisotopes.org. Bowen et Wilkinson, en 2002, ont développés un algorithme qui, en se basant sur des données connues, peuvent estimer la composition isotopiques de l'eau météorique d'un endroit à partir de ses coordonnées et de son altitude. Malheureusement, toute la zone de la Baie James représente une sorte de trou noir où il n'existe aucune borne de mesure, c'est pourquoi nous avons décidé d'incorporer les deux droites au lieu de se fier uniquement à l'une ou l'autre.

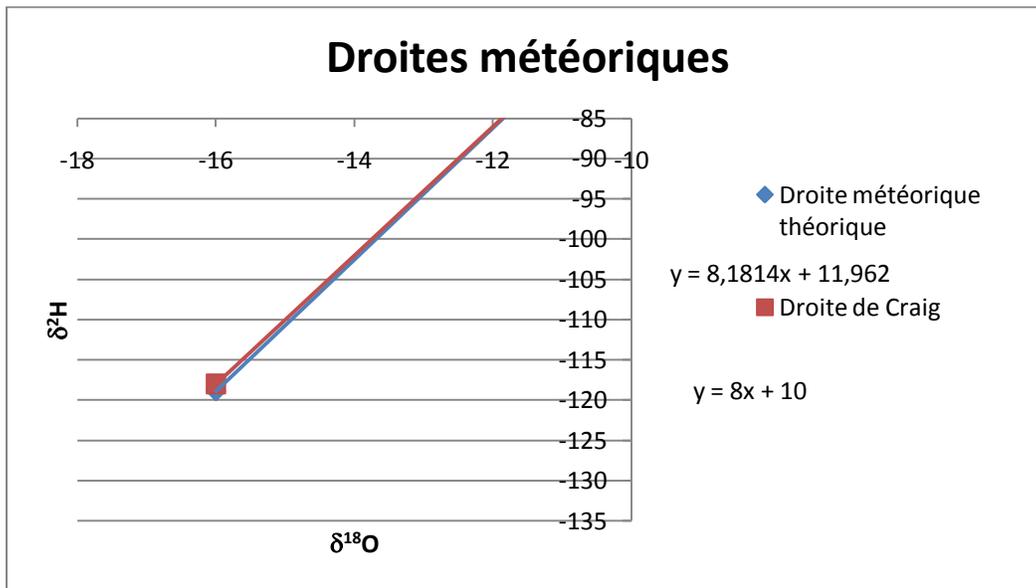


FIGURE 8 : DROITES MÉTÉORIQUES

3.2 Présentation de nos hypothèses

Le but central de notre travail est d'essayer de déterminer si le temps de séjour de l'eau dans le réservoir Eastmain-1 est le même en tout point ou bien si celui-ci varie. Notre hypothèse est que l'eau se trouvant dans les zones de baies aura un temps de séjour plus long que l'eau se trouvant dans les zones de rivières. Afin de déterminer si tel est le cas, nous allons tracer sur un graphique un nuage de points avec tous les échantillons provenant des zones de rivières, puis un second nuage de points avec tous les échantillons provenant des zones baies. Sur ce graphique, nous aurons préalablement tracé nos deux droites météoriques et nous pourrons alors déterminer s'il y a ou non une différence au niveau de la concentration en ^{18}O par rapport au deutérium.

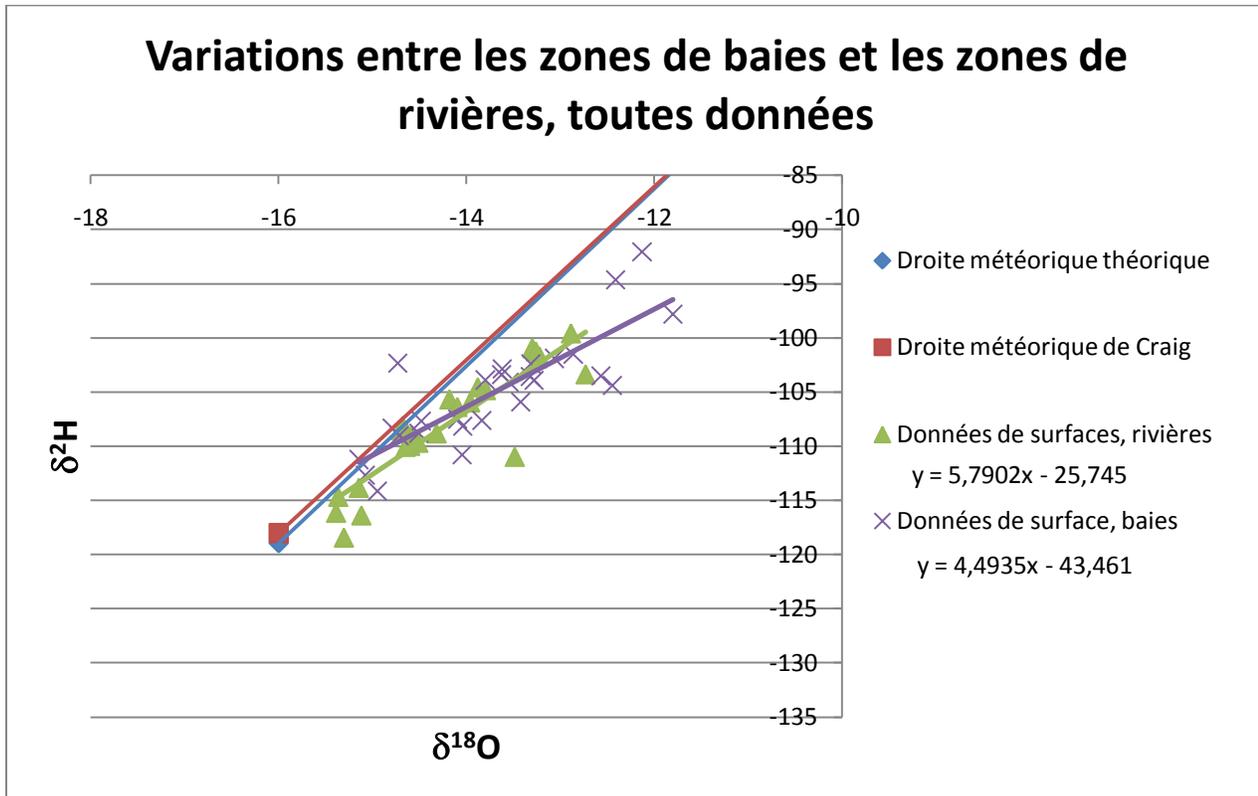
Si notre hypothèse primordiale se trouve vérifiée et que le temps de séjour de l'eau est effectivement plus long dans les zones de baies, nous tenterons de vérifier également les hypothèses suivantes :

- Tout d'abord, le point Tour-1 aillant été échantillonné de jour et de nuit, nous supposons qu'il n'y aura pas de différence entre les deux séries de données.
- Puisque le réservoir Eastmain-1 à été inondé de novembre 2005 à mai 2006 et que la première campagne d'échantillonnage à eu lieu dès juin 2006, nous supposons qu'il sera possible de voir une augmentation du $\delta^{18}\text{O}$ au fil des campagnes. Nous supposons également que cette évolution sera plus marquée dans les zones de baies que dans les zones de rivières.
- À certains points d'échantillonnage, la colonne d'eau à été échantillonnée. Nous supposons que l'eau en surface présentera une plus grande évaporation que l'eau en profondeur. Nous supposons également que la différence sera plus marquée dans les zones de baies que dans les zones de rivières puisqu'au niveau de celles-ci il y aura un meilleur mélange des eaux.
- Nous posons l'hypothèse que lors de mois fortement pluvieux l'eau traversant le réservoir pourrait emprunter un autre chemin que l'ancien lit de la rivière et ainsi créer un apport en ^{16}O dans les zones de baies autrement appauvries.

4. Interprétation des données et discussion.

4.1 Interprétation des données

4.1.1 Variations entre les baies et les rivières



L'étude de ce graphique vient confirmer l'hypothèse selon laquelle les zones de baies présenteraient une plus forte évaporation que les zones de rivières. Comme la droite de Craig et la droite météorique théorique représentent les valeurs normales de composition isotopique des précipitations, plus la droite de tendance du nuage de point forme un angle vers le bas avec cette droite, plus il y a un enrichissement en $\delta^{18}\text{O}$ et donc plus l'évaporation est marquée. En observant le graphique ci-dessus, on peut remarquer que la pente de la droite de tendance des zones baies ($\sim 4,49$) est significativement plus faible que la pente des zones rivières ($\sim 5,79$), ce qui nous indique une évaporation plus marquée dans les zones de baies que dans les zones de rivières. Aussi, ces deux valeurs sont en dessous de la valeur de la pente pour les droites météoriques (~ 8) ce qui est tout à fait normal puisque l'eau de la rivière s'évapore également et ne peut donc pas avoir la composition des précipitations.

4.1.2 Tour-1 variations jour Vs nuit

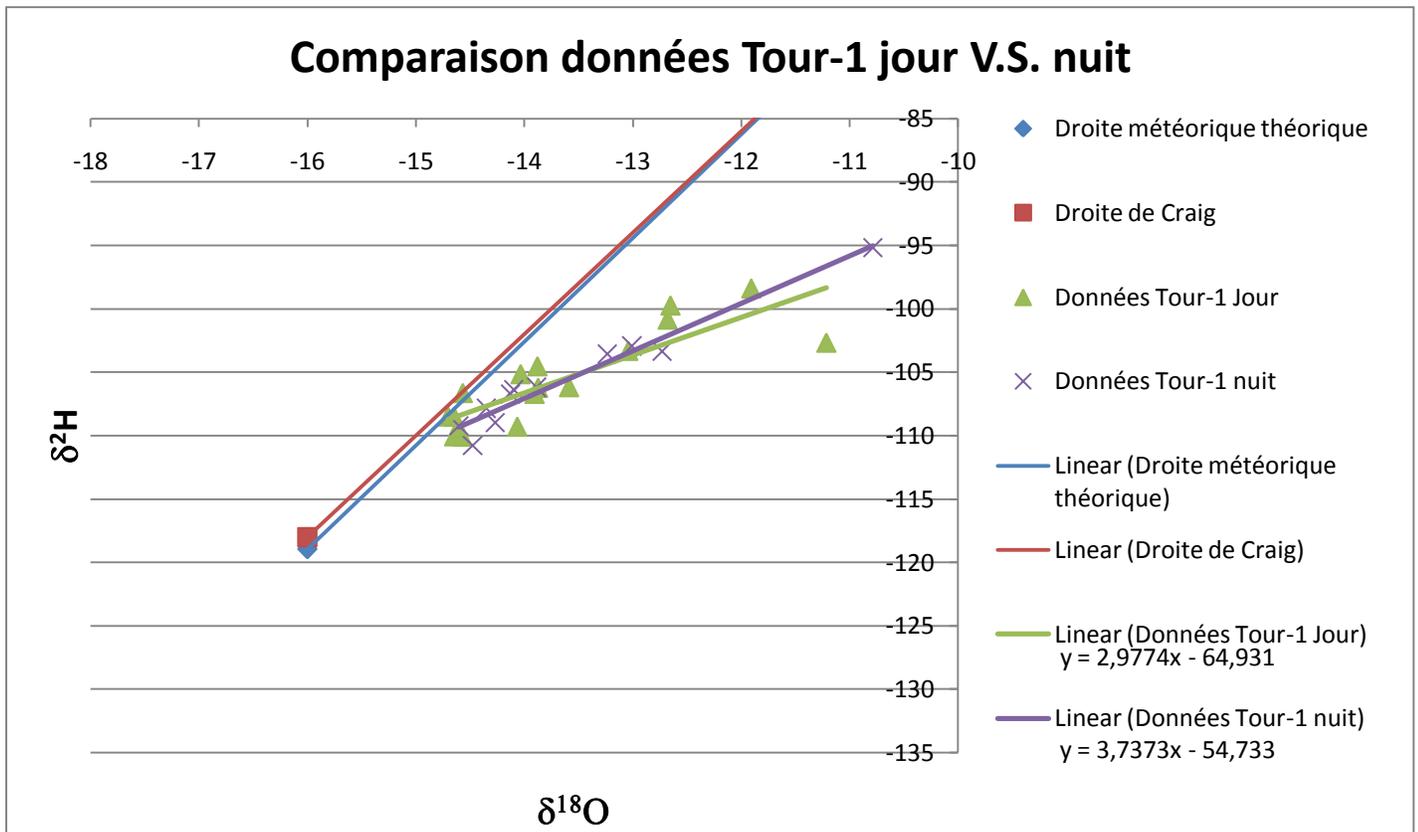


FIGURE 10 : COMPARAISON DES DONNÉES DU SITE TOUR-1 DE JOUR ET DE NUIT

Contrairement à ce que notre hypothèse nous portait à croire, il semblerait qu'il y ait une différence entre les données de jour et de nuit au point Tour-1. De plus, les échantillonnages de jour et de nuit ont habituellement été effectués à l'intérieur de la même période de 24h, ce qui ne permet pas d'expliquer la variation de nos données. Puisqu'aucune explication valable de notre connaissance ne nous permet d'expliquer cette différence, nous supposons que celle-ci est reliée à un manque de données. Aillant peu de données, une variation qui est probablement naturelle et de petite envergure nous semble ici très importante. Pour nos analyses dans le cadre de notre travail, nous avons donc optés pour n'utiliser que les données recueillies de jour, puisque c'est de jour que le reste de nos sites ont été échantillonnés, afin de ne pas biaiser nos résultats.

4.1.3 Évolution à travers les campagnes

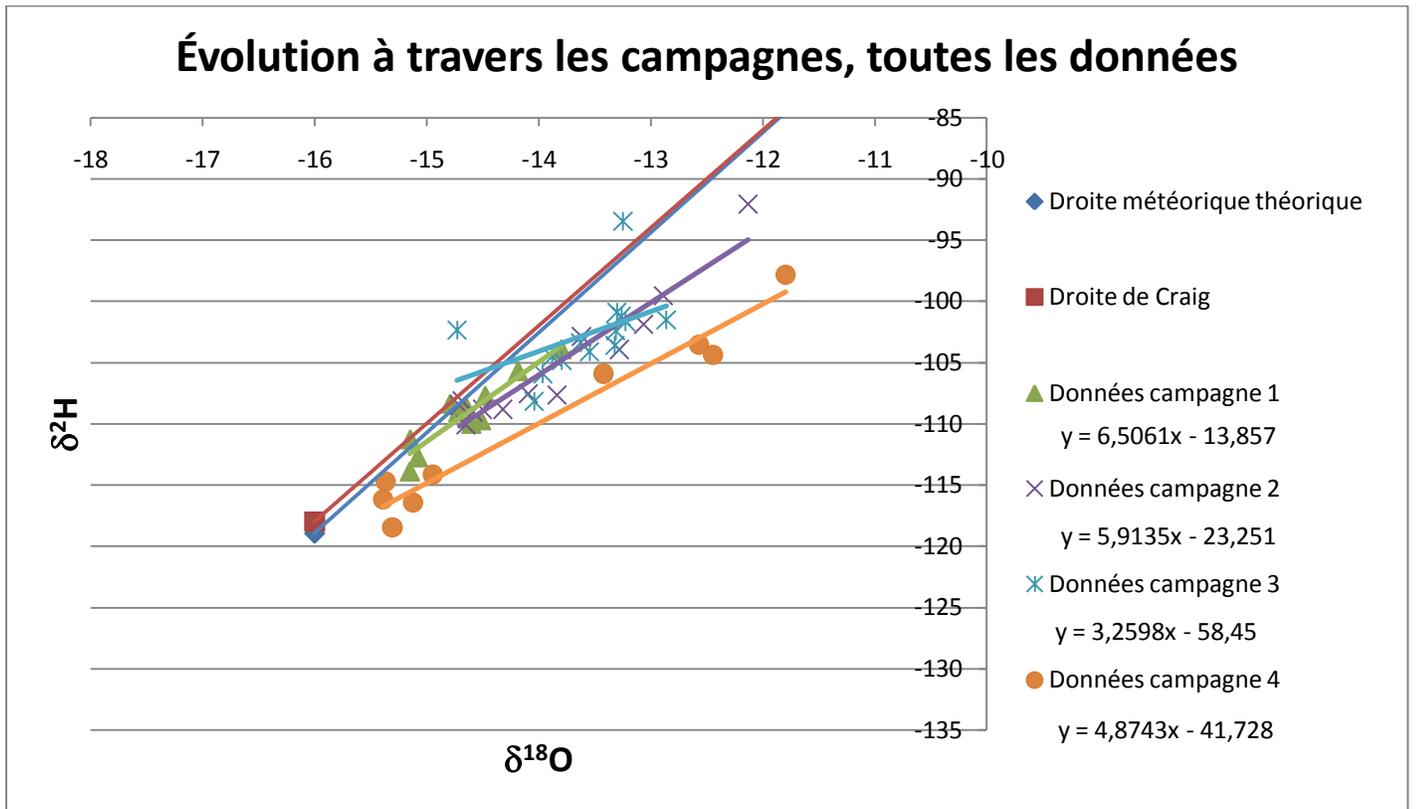


FIGURE 11: ÉVOLUTION À TRAVERS LES CAMPAGNES, TOUTES DONNÉES

Nous avons posés l'hypothèse qu'au fil des campagnes l'eau du réservoir serait de plus en plus enrichie en ^{18}O . En nous basant sur le graphique de l'évolution à travers les campagnes, il est difficile de trancher à savoir si l'hypothèse est vérifiée ou infirmée. Tout d'abord, il semble y avoir une légère augmentation du $\delta^{18}\text{O}$ à travers les campagnes 1, 2 et 3, quoique là encore les campagnes deux et trois semblent se superposer en grande partie. Quatre points de la campagne quatre présentent un $\delta^{18}\text{O}$ plus faible que pour la campagne un, ce qui vient contredire notre hypothèse d'un enrichissement au fil du temps. Aussi, si l'on observe les droites de tendances, il semble se passer quelque chose de particulier avec la composition isotopique des échantillons de la campagne trois. Habituellement, le point de rencontre entre une droite de tendance et la GMWL devrait nous donner la composition isotopique de l'eau initiale, avant évaporation. Or, alors que les droites de tendances des campagnes un, deux et quatre semblent pointer généralement dans la même direction, la droite de tendance de la campagne trois recoupe la GMWL en un tout autre point. Un autre point étonnant est que deux des échantillons de la campagne trois se retrouvent au dessus des droites météoriques. Un de ces échantillons est une donnée de précipitations recueillie au point Tour-1 et il est donc normal que sa composition isotopique se retrouve au dessus de la droite météorique. Par contre, l'autre point aillant été récupéré dans le réservoir, sa composition isotopique ne devrait pas se retrouver au dessus de la droite météorique. Les données de la campagne trois présentant des valeurs faibles de $\delta^{18}\text{O}$ et de $\delta^2\text{H}$ comparativement aux

autres campagnes, nous croyons que cette différence pourrait être reliée à des pluies abondantes et dont la composition isotopique serait particulièrement riche en ^{16}O . Puisque l'analyse de l'ensemble des données ne semble pas nous permettre de trancher à savoir s'il y a évolution ou non, nous avons décidé de séparer nos données en zones de rivières et en zones de baies fin de voir s'il est possible de mieux étudier nos données sous cet angle.

4.1.3.1 Évolution des zones de baies

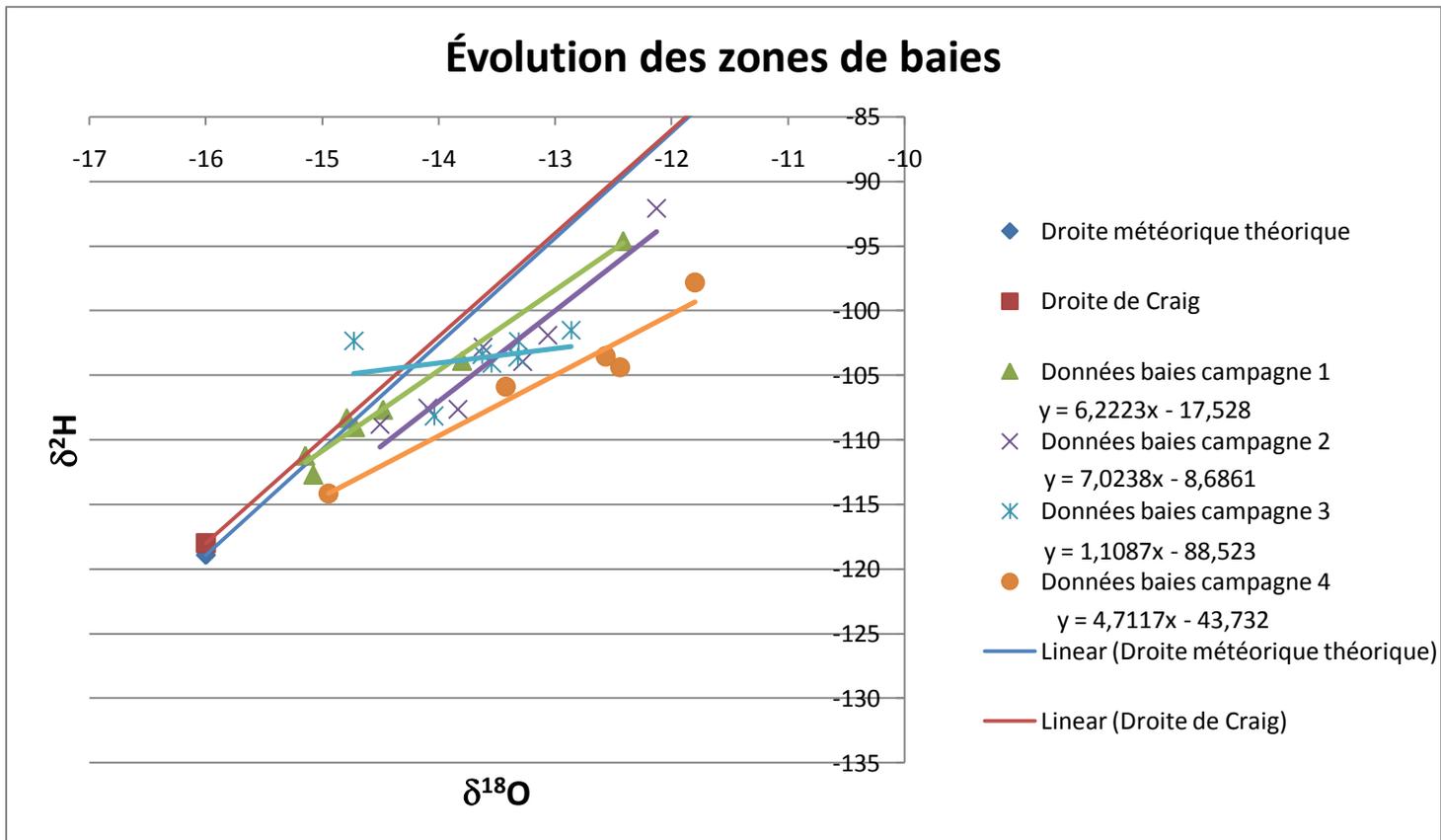


FIGURE 12: ÉVOLUTION DES ZONES DE BAIES A TRAVERS LES CAMPAGNES

Ce graphique ne nous permet pas une meilleure compréhension de l'évolution des compositions isotopiques. Il semble une fois encore exister un enrichissement au fil des campagnes un, deux et quatre, alors que la campagne trois est très différente. Comme sur le graphique précédent, la droite de tendance de la campagne trois semble recouper les droites météoriques en un tout autre point que les trois autres campagnes.

4.1.3.2 Évolution des zones de rivières

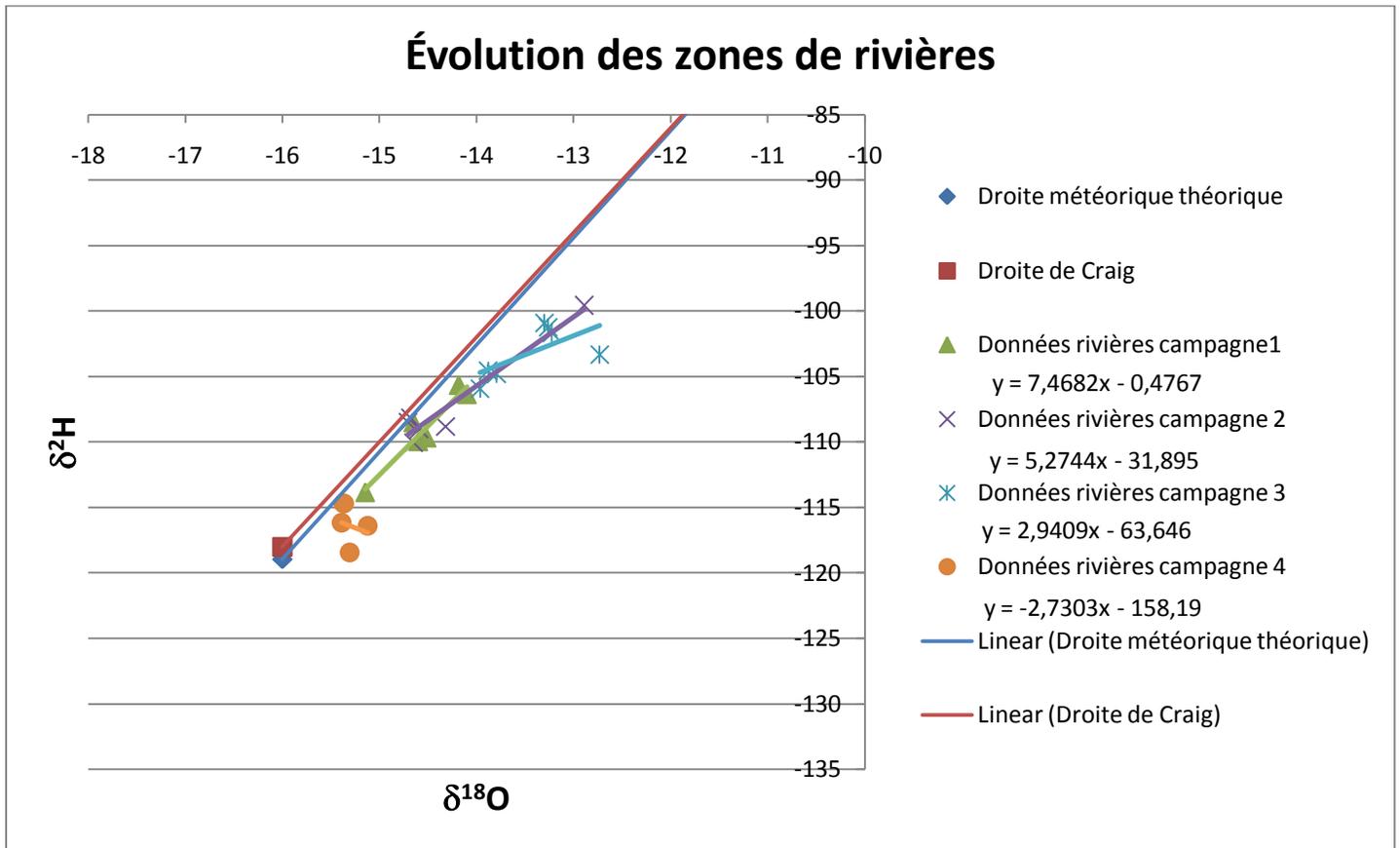


FIGURE 13: ÉVOLUTION DES ZONES DE RIVIÈRES À TRAVERS LES CAMPAGNES

Cette fois il semble y avoir une relation nette entre les campagnes 1, 2 et 3 alors que la campagne 4 présente une droite de tendance qui ne fait aucun sens à interpréter puisque sa pente est négative. Comme nous ne possédons que quatre points pour cette campagne, il est fort probable qu'ils ne soient pas assez nombreux pour nous permettre une interprétation. Sinon, les campagnes 1, 2 et 3 présentent une courbe presque idéale de l'effet de l'évaporation dans un lac dont le volume reste constant, c'est-à-dire dont la quantité d'eau qui entre est égale à la quantité qui en sort. Il ne nous est par contre pas possible d'affirmer qu'un tel effet existe puisque celui-ci n'est pas visible ni lors de l'étude de l'ensemble des données, ni lors de l'étude des zones de baies.

4.1.4 Court-circuitage de l'ancien lit de la rivière lors de fortes précipitations

Les données de précipitations que nous avons utilisées ont été enregistrées à la station météorologique 1 (voir figure 11), située aux coordonnées (53° 45' N, 73° 40' O).

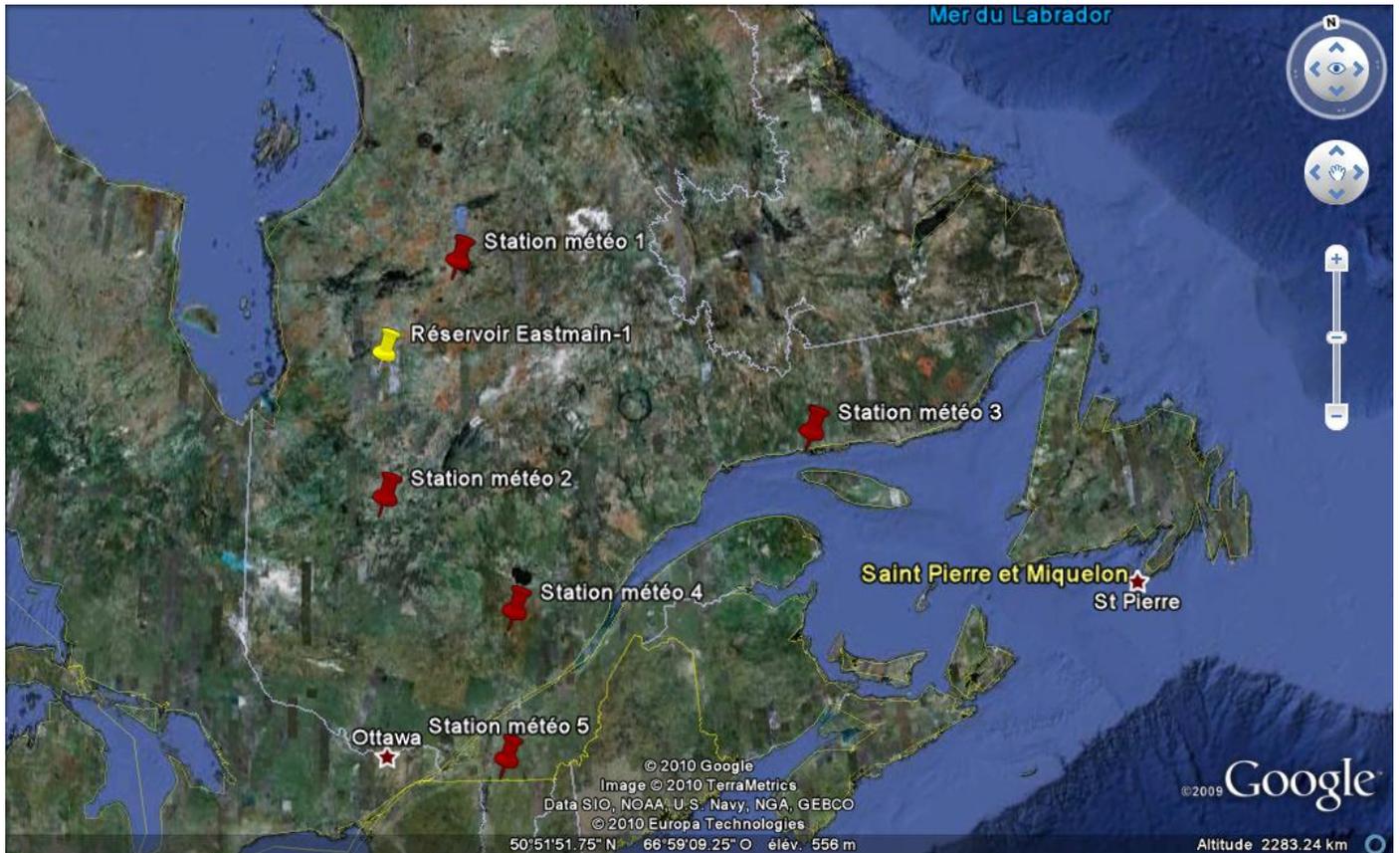


FIGURE 14: LOCALISATION DES STATIONS MÉTÉOROLOGIQUE D'ENVIRONNEMENT CANADA

(Source : Site d'environnement Canada, Programme Google Earth)

Ces données (voir tableau 4), nous indiquent que le seul moment où il est probable qu'il y eut de fortes précipitations dans la région se trouve entre la campagne 1 et la campagne 2. Malheureusement, comme nos données sur l'évolution des zones de rivières et de baies n'ont pas pu nous permettre d'interprétations, il ne nous est pas possible de voir s'il existe un court-circuit dans l'écoulement de l'eau qui est utilisé lorsque les niveaux sont plus élevés. Nous avons néanmoins inclus les informations liées aux précipitations dans notre travail car nous avons précédemment émis l'hypothèse que des pluies abondantes auraient pu créer le dérèglement que nous observons au niveau de la troisième campagne d'échantillonnage. Or, selon les données que nous avons dans le tableau 4, il n'y a pas de précipitations particulièrement abondantes entre les deuxième et troisième campagnes d'échantillonnages. Par contre, il est à noter que la station que nous avons choisi, bien qu'étant la plus proche, est tout de même située à environ 230km au Nord-est de nos sites d'échantillonnage. Qui plus est, la région de la Baie James est reconnue pour ses nombreux microclimats dus à l'abondance d'eau en surface et au relief accidenté. Il

est donc tout à fait probable que les données auxquelles nous avons accès ne représentent pas du tout la réalité du terrain échantillonné.

TABLEAU 4 : PRÉCIPITATIONS ENREGISTRÉES AVANT ET APRÈS LES CAMPAGNES D'ÉCHANTILLONNAGES
(Source : Site d'environnement Canada)

2006	en cm		2007	en cm	
janvier	3,93		janvier	3,69	
février	4,47		février	3,88	
mars	4,06		mars	4,51	
avril	2,41		avril	1,55	
mai	3,77		mai	4,53	
juin	6,98	<-Campagne 1	juin	8,57	<-Campagne 4
juillet	19,28		juillet	12,21	<-Campagne 5
août	14,62	<-Campagne 2	août	9,86	
septembre	4,84		septembre	25,96	
octobre	7,91	<-Campagne 3	octobre	7,41	
novembre	7,31		novembre	-	
décembre	4,86		décembre	-	

4.1.5 Variation de l'évaporation dans les colonnes d'eau

Des colonnes d'eau ont été échantillonnées à trois sites différents, deux sites dans des zones de baies et un site dans une zone rivière. Notre hypothèse était que l'évaporation serait plus marquée dans les niveaux se trouvant à proximité de la surface et que les niveaux plus profonds présenteraient moins d'évidence d'évaporation dans les zones de baies alors que dans les zones de rivières il y aurait mélange des eaux et donc aucune stratification.

4.1.5.1 Tour-1 de jour, zone de baie

Suite à l'observation du graphique (figure15), il semblerait que les données profondes présentent l'évaporation la plus marquée. En fait, nous observons l'inverse de ce que nous attendions, c'est-à-dire que les données de surface ont une composition plus près de celle des eaux météoritiques et plus l'on descend dans la colonne d'eau plus il y a un enrichissement en ^{18}O . Il pourrait être envisageable que l'eau de pluie, habituellement plus riche en ^{16}O et donc plus légère, flotterait sur l'eau plus lourde. Ceci expliquerait pourquoi l'eau superficielle est moins riche en ^{18}O que l'eau profonde. Aussi, comme nous nous trouvons dans une zone de baies, il y a peu de courants pour mélanger les eaux et nous notons ainsi une stratification des eaux.

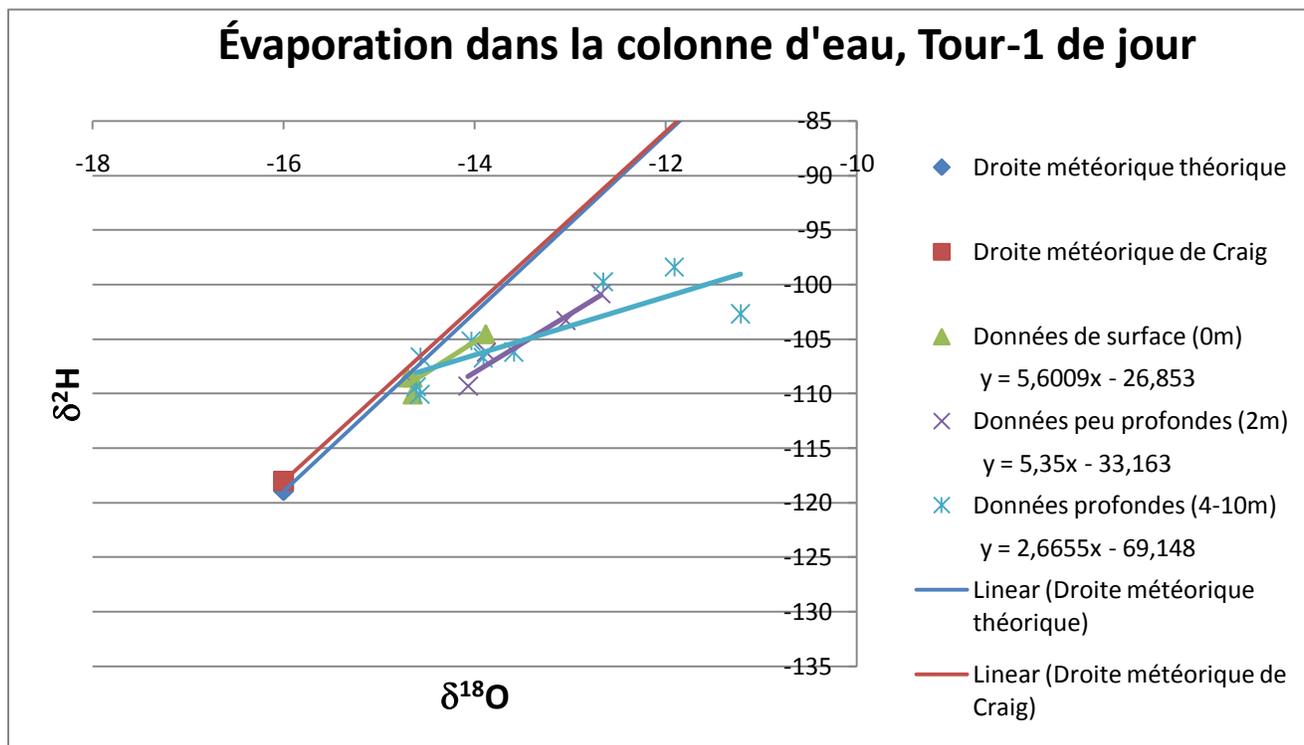


FIGURE 15 : ÉVAPORATION DANS LA COLONNE D'EAU, TOUR-1 DE JOUR

4.1.5.2 Casey-7, zone de baie

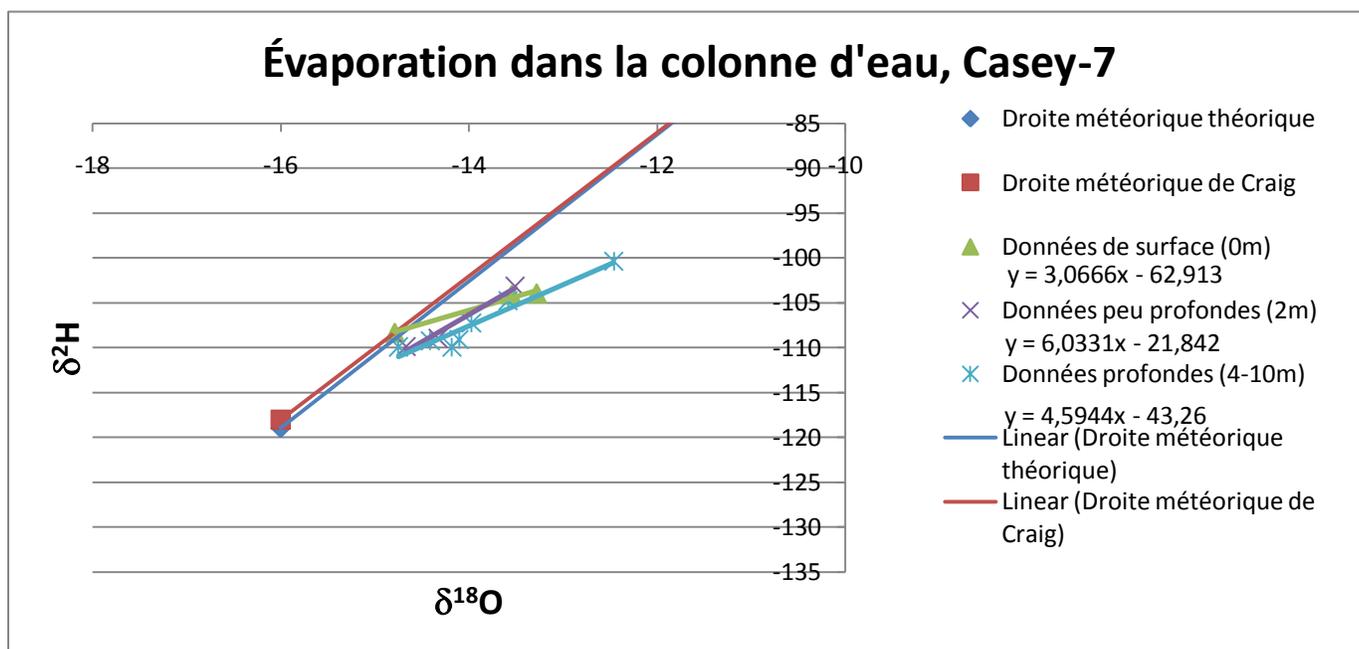


FIGURE 16: ÉVAPORATION DANS LA COLONNE D'EAU, CASEY-7

L'observation du graphique de la colonne d'eau de Casey-7 nous montre une couche supérieure où il y a beaucoup d'évaporation, suivi d'une couche intermédiaire où l'évaporation est assez faible et finalement une couche profonde où l'évaporation est une fois encore assez importante. L'interprétation d'un tel graphique est encore plus difficile que le graphique précédent. Nous pouvons supposer que, tout comme pour la zone précédente, l'eau de fond est isolée de la surface et ne reçoit pas de recharge en ^{16}O . Par contre, contrairement au cas précédent, ici l'évaporation en surface est trop importante pour permettre la présence d'une couche plus légère et nous observons par conséquent une couche où l'évaporation est encore plus marquée que dans la couche profonde.

4.5.1.3 Entrée-5, Zone de rivière

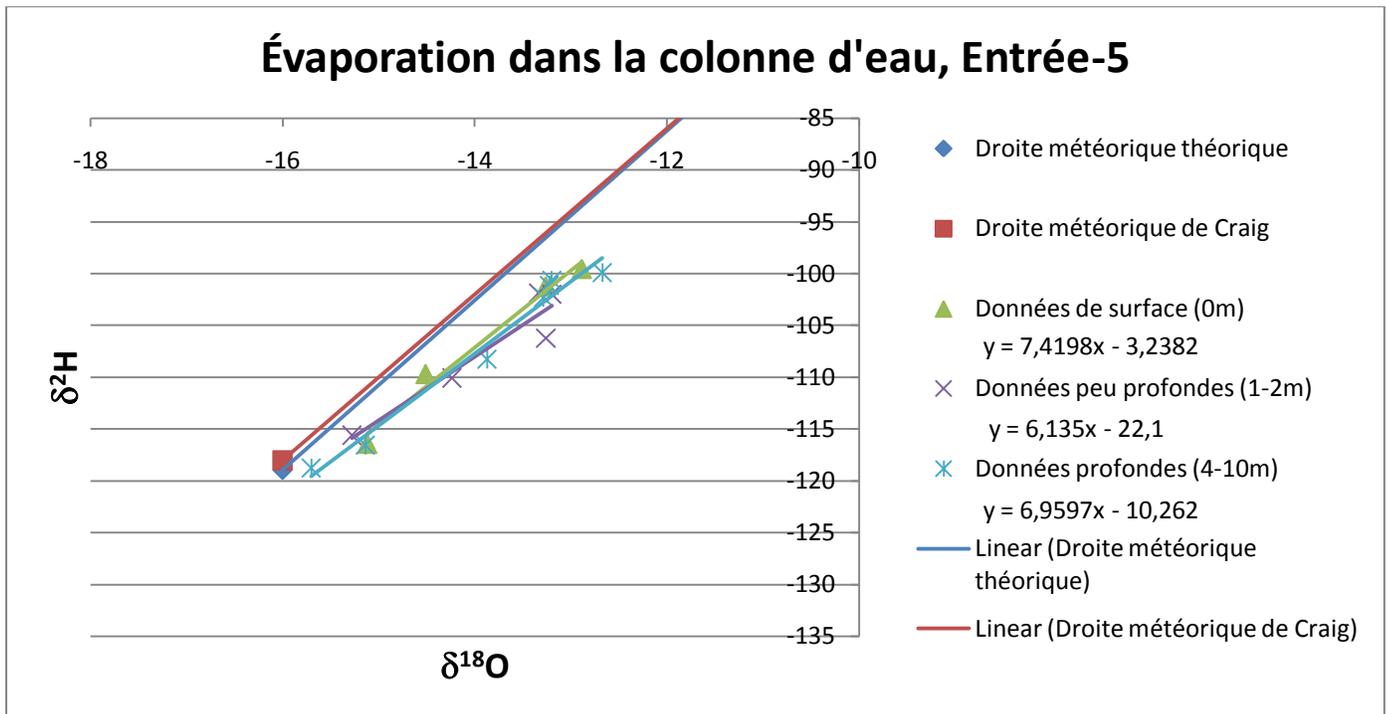


FIGURE 17: ÉVAPORATION DANS LA COLONNE D'EAU, ENTRÉE-5

Notre hypothèse pour les zones de rivières était que dans ces zones, il n'y aurait pas de différence à l'intérieur de la colonne d'eau due à un brassage constant de l'eau par le courant. Cette hypothèse est particulièrement applicable au site Entrée-5 qui est l'entrée du réservoir Eastmain-1. Aussi, comme nous l'avons supposé, il n'y a pas de séparation marquée entre les signatures isotopiques des différents niveaux de la colonne d'eau.

4.2 Discussion

4.2.1 Synthèse et liens

Tout d'abord, notre hypothèse de base s'est trouvée confirmée, nous avons effectivement pu noter une différence évidente entre les droites de tendances des régions de baies et des régions de rivières. Cette différence nette entre les pentes nous permet de dire que les taux d'évaporations diffèrent entre les zones de baies et de rivières et nous avons donc pu procéder et émettre de nouvelles hypothèses.

Nous avons tout d'abord commencé par comparer les données recueillies de jour et de nuit au site Tour-1 et nous avons étonnamment retrouvé des valeurs différentes entre le jour et la nuit. Puisque les données ont été recueillies à l'intérieur de la même période de 24h à chaque reprise, il serait difficile de croire que l'eau ait eu une mobilité assez importante pour expliquer les changements que nous avons observés. Il est aussi à noter que comme nous ne détenions que deux mesures de surface pour les échantillonnages de nuit, nous avons dû prendre les mesures dans la colonne d'eau au complet, de jour comme de nuit, pour parvenir à faire une comparaison. Après mûre réflexion, nous croyons que le fait de comparer les colonnes d'eau pourrait être la cause de cette apparente différence et puisque nous ne possédons pas assez de mesure en surface pour comparer les échantillonnages de jour et de nuit il ne nous est pas possible de comparer ces données dans le cadre de notre étude.

Nous avons ensuite tenté d'observer s'il y avait une différence dans la composition isotopique des échantillons au fil des campagnes d'échantillonnage. Bien qu'il semble y avoir une tendance vers un enrichissement en ^{18}O au fil du temps, il ne nous est pas possible de conclure qu'un tel enrichissement se produit réellement. Dans les échantillons de la campagne trois, deux se trouvent au dessus des droites météoritiques, ce qui signifie que ces échantillons ont un enrichissement en ^{16}O et devraient être des échantillons de précipitations. Nous croyons que la présence de ces échantillons vient influencer la droite de tendance à la hausse et fausser nos résultats. Qui plus est, selon les données météorologiques que nous avons pu recueillir, il ne devrait pas y avoir de précipitations particulièrement abondantes aux environs de la troisième campagne d'échantillonnage. Pour l'instant, nous préférons donc ne pas nous prononcer sur la possibilité d'un enrichissement de ^{18}O à travers les campagnes d'échantillonnage.

Nous avons tout de même tenté de séparer les zones de baies et de rivières afin de voir si, une fois étudiées séparément, il nous serait possible de noter un enrichissement. Malheureusement, dans les zones de baies, la campagne trois présente le même genre d'incohérence que dans la comparaison globale, nous empêchant ainsi de poursuivre notre interprétation. Étonnamment, chez les zones de rivières, la campagne trois semble se comporter normalement, mais cette fois la campagne quatre ne possède pas assez de points et donne une droite de tendance improbable (celle-ci à une pente négative). De tout ceci, nous pouvons seulement conclure que chez les zones de rivières, il semble y avoir une augmentation du ^{18}O à travers les trois premières campagnes, et que cette augmentation ne peut être confirmée par d'autres observations dont nous disposons.

Nous avons également émis l'hypothèse que lors d'épisodes de précipitations abondantes et soutenues, il pourrait y avoir un court-circuit à l'intérieur du réservoir. C'est-à-dire qu'avec l'augmentation du niveau d'eau le courant principal pourrait possiblement emprunter un autre chemin que l'ancien chenal de la rivière. Malheureusement, comme nous venons tout juste de le mentionner, nous n'avons pas pu remarquer de relation constante entre l'écoulement du temps et l'enrichissement en ^{18}O , nous empêchant en même temps de remarquer s'il y a un appauvrissement en ^{18}O dans certaines zones de baies suite à de fortes précipitations. Aussi, selon les données que nous avons pu recueillir, si un événement de court-circuit avait eu lieu cet événement se serait produit entre les campagnes un et deux. Or, ces deux campagnes sont celles qui semblent pointer vers un enrichissement constant du ^{18}O dans les zones de baies. Nous ne pouvons donc pas nous prononcer sur l'existence ou l'absence d'un court-circuit du courant d'écoulement principal relié à l'abondance des pluies.

Nos observations des taux d'évaporations à l'intérieur des colonnes d'eaux nous ont donnés des résultats forts inattendus. Alors que nous nous attendions à ce que l'eau dans les zones de baies soit stratifiée avec une forte évaporation en surface et très peu d'évaporation en profondeur, nous avons observés l'inverse. Dans une des colonnes d'eau (tour-1), l'eau de surface semble ne subir que très peu d'évaporation alors que l'eau plus profonde semble enrichie en ^{18}O . Dans la seconde colonne d'eau (Casey-7), nous avons observés un phénomène encore plus étrange. Alors que l'eau profonde présente encore un enrichissement en ^{18}O , l'eau de surface cette fois semble subir de l'évaporation assez importante. Mais encore plus étonnant, il existe une couche intermédiaire où l'évaporation ne semble pas particulièrement importante. Nous avouons ne pas comprendre ce phénomène, la seule théorie qui nous vient en tête serait que l'eau enrichie en ^{18}O se trouvant plus lourde, aurait tendance à migrer vers le bas, expliquant la présence d'une couche d'eau profonde enrichie. Dans la colonne d'eau Entrée-5, la seule colonne d'eau échantillonnée dans une zone rivière, nos observations confirment très exactement notre hypothèse selon laquelle le courant forcerait un mélange des eaux empêchant qu'il y ait stratification.

4.2.2 Recommandations

Comme nous avons pu constater une différence entre les échantillons recueillis de jour et de nuit à la station Tour-1, il serait intéressant d'aller chercher plus d'échantillons afin d'approfondir notre analyse et ainsi comprendre pourquoi dans le cadre de notre étude il semble exister une telle différence. Aussi, si nous voulons voir s'il y a bel et bien un enrichissement en ^{18}O dans le réservoir au fil du temps, il serait nécessaire de continuer l'échantillonnage sur une période plus étendue et de recueillir le même nombre d'échantillons d'une campagne à l'autre afin de permettre un suivi plus constant. Nos recommandations sont donc de continuer l'échantillonnage de manière constante et régulière si une étude plus approfondie est désirée.

Conclusion

Le but principal de cette activité de synthèse était de nous initier et de nous familiariser avec le milieu de la recherche dans le domaine des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, plus particulièrement dans le domaine de la géochimie isotopique. Ce travail fut une expérience enrichissante, nous permettant de voir comment se déroule concrètement le traitement de données ainsi que leur interprétation. Grâce à lui, nous avons pu constater que même si parfois on s'attend à démontrer une certaine hypothèse, il est possible que nos données nous indiquent l'inverse de nos attentes et il faut alors réussir à comprendre et expliquer pourquoi une telle différence existe.

Nous avons donc traité environ 120 échantillons, récupérés par Annie Lalonde dans le cadre de sa maîtrise et ce à travers cinq campagnes d'échantillonnage. Nous avons par la suite apposé ces données traitées sur des graphiques de $\delta^2\text{H}$ en fonction de $\delta^{18}\text{O}$ et les avons comparés à deux droites météoriques.

De ces comparaisons nous avons pu vérifier notre hypothèse centrale et nous savons désormais de manière assez certaine qu'il existe une différence entre les taux d'évaporations des zones de baies et des zones de rivières du réservoir Eastmain-1. Par contre, très peu des « sous-hypothèses » que nous avons émises ont pu être vérifiées. Nous avons également fait face à quelques énigmes dont nous ne connaissons toujours pas la réponse, comme par exemple la différence entre les données de jour et de nuit à la station Tour-1, ou encore la raison pour laquelle les données de la troisième campagne d'échantillonnage ne concordent pas avec le reste des données.

Cette activité de synthèse fut amusante et enrichissante, nous permettant d'approfondir un domaine qui n'est que rapidement abordé dans le cadre du bac. Nous avons également appris qu'il n'est pas toujours aisé d'interpréter des données et qu'il faut faire attention à ce que l'on déclare à partir de ces données.

En conclusion, faire mon activité de synthèse dans le domaine de la géochimie isotopique fut une excellente idée, cela m'a permis de découvrir un domaine qui m'était totalement étranger et qui m'intéresse beaucoup à présent.

Référence :

- Brosseau, Daniel. 2008. «Caractérisation des dépôts meubles et reconstitution paléogéographique quaternaire de la région du réservoir Eastmain-1, Baie James, Québec». Mémoire de maîtrise, Montréal, Université du Québec À Montréal, 125 p.
- Clark, Ian D. et Peter Fritz. 1997. *Environmental isotopes in hydrogeology*. Boca Raton, Florida : Lewis Publishers, 328 p.
- Hélie, Jean-François. 2009. «Carbon sources in the Eastmain-1 reservoir; insights from stable carbon isotopes». En ligne. 21p. <http://www.eastmain1.org/files/pdf/publicationscientifiques/presentations2009/workshop20090416/Jean-Francois_Helie.pdf> Consulté le 20 mai 2010.
- Hélie, Jean-François. 2008. «Méthodes analytiques en spectrométrie de masse des isotopes stables et légers». En ligne. 79p. <http://gizmo.geotop.uqam.ca/hillaireMC/Methodes_de_laboratoire.pdf> Consulté le 20 mai 2010.
- Lalonde, Annie. 2009. «Étude isotopique sur le cycle du carbone dissous et la production de gaz à effet de serre lors de la création d'un réservoir hydroélectrique boréal (Eastmain-1, Nouveau-Québec)». Mémoire de maîtrise, Montréal, Université du Québec À Montréal, 65 p.
- Vigneau, Agnès. 2008. «Étude régionale des isotopes stables des eaux souterraines du Maroc en lien avec les précipitations». Activité de synthèse, Montréal, Université du Québec À Montréal, 38 p.

Sites consultés :

- Bowen, Gabriel. 2009. *Waterisotopes.org*. En ligne.
< <http://wateriso.eas.purdue.edu/waterisotopes/index.html>>. Consulté le 14 mai 2010.
- Environnement Canada. 2010 (8 avril). «NATChem». In *Environnement Canada*. En ligne.
< <http://www.on.ec.gc.ca/natchem/Login/login.aspx?lang=French>>. Consulté le 17 mai 2010.
- Projet EM-1. 2010. *Projet EM-1 : Recherche sur les émissions nettes de gaz à effet de serre de réservoir*. En ligne. < <http://www.eastmain1.org/fr/index.html>>. Consulté à de multiples reprises entre mars et mai 2010.
- Université Laval. s.d. «5.2 Le précambrien et son histoire». In *Département de géologie et de génie géologique*. En ligne. <<http://www2.ggl.ulaval.ca/personnel/bourque/s5/5.2.precambrien.histoire.html>>. Consulté le 15 avril 2010.
- University of Ottawa. 2010. *G.G. Hatch Stable Isotope Laboratory*. En ligne.
< <http://www.isotope.uottawa.ca/techniques/water.html> >. Consulté le 23 mai 2010.