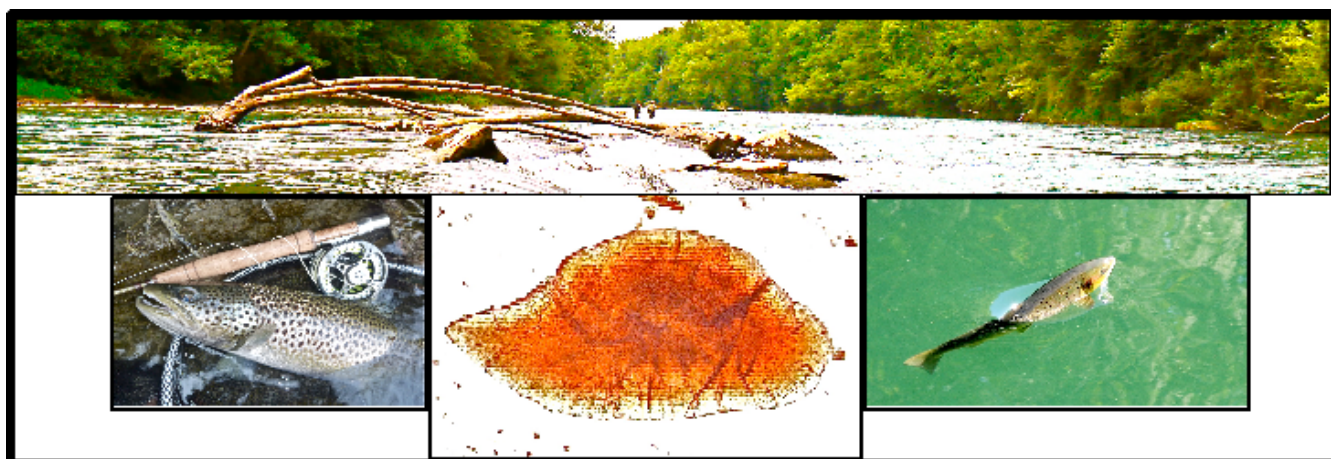


Université de Pau et des Pays de l'Adour
Licence Biologie des Organismes, 3ème année

L'OTOLITHE, UNE SOURCE D'INFORMATIONS EXCEPTIONNELLE POUR RETRACER L'HISTOIRE DE VIE DES POISSONS TÉLÉOSTÉENS



LABORATOIRE DE CHIMIE ANALYTIQUE, BIO-INORGANIQUE
Technopôle hélioparc Pau Pyrénées
2 avenue du Président Angot
64 000 Pau France

Responsable scientifique :
Gilles BAREILLE Chargé de recherche au CNRS
gilles.bareille@univ-pau.fr

Présenté par SAINT-PE Keoni
Stage de 3ème année, du 4 Mars au 7 Juin 2013



Le présent rapport constitue un exercice pédagogique qui ne peut en aucun cas engager la responsabilité de l'Entreprise ou du Laboratoire d'accueil

Remerciements

Je remercie tout particulièrement les personnes qui m'ont permis d'accéder à ce stage :

M. AMARA Mohamed, président de l'université de Pau et Pays de l'Adour, pour avoir validé ma demande de stage et permis d'intégrer l'IPREM de Pau au Laboratoire LCABIE.

M. BAREILLE Gilles, mon maitre de stage, pour m'avoir accepté en tant que stagiaire et transmis sa passion pour ses travaux de recherche. Je le remercie aussi pour avoir pris le temps de m'encadrer tout au long de ce stage afin qu'il se déroule dans de très bonnes conditions.

Je remercie également les personnes ayant mis à disposition le matériel nécessaire au déroulement de mon stage, notamment :

M. PEYCHERAN Christophe qui m'a permis d'utiliser les machines nécessaires à l'analyse des eaux et des otolithes.

M. PEUD'HOMME Hugues, pour avoir effectué certaines analyses des eaux que nous avons préparées.

Enfin, je tiens à remercier l'ensemble des étudiants et personnels du laboratoire pour l'ambiance agréable qui a régné tout au long de mon stage.

Toutes ces personnes ont contribué, par leur disponibilité et leur bonne humeur, à rendre mon stage enrichissant et motivant.

Avant propos : Présentation de la structure d'accueil

Mon stage s'est déroulé au sein du Laboratoire de Chimie Analytique Bio-Inorganique et Environnement (LCABIE). Ce laboratoire fait partie de l'Institut des Sciences Analytiques et de Physico-chimie pour l'Environnement et les Matériaux (IPREM), relié à l'Université de Pau et des Pays de l'Adour dans les cadres de l'enseignement et de la recherche.

L'Université de Pau et Pays de l'Adour (UPPA)

L'Université de Pau et des Pays de l'Adour est un établissement supérieur français fondé en 1972. Basée à Pau (64) avec des antennes à Bayonne, Anglet, Tarbes et à Mont-de-Marsan, elle dépend de l'académie de Bordeaux. Cette université compte actuellement 23 unités de recherche reconnues par le ministère :

- 7 unités mixtes avec le CNRS, 2 unités mixtes avec le CNRS et associées à TOTAL, 1 unité mixte avec l'INRA et 13 équipes d'accueil.
- 4 fédérations de recherche reconnues par le ministère, dont 1 en collaboration avec le CNRS.
- 3 équipes - communes avec l'INRIA.

L'Institut Des Sciences Analytiques et de Physico-chimie pour l'Environnement et les Matériaux (IPREM) (Figure1)

Cet institut regroupe 4 équipes de recherche dont les compétences s'articulent autour du développement de connaissances fondamentales en physico-chimie, chimie analytique et microbiologie, en relation avec des applications concernant la structure du vivant, la gestion de l'environnement et les propriétés fonctionnelles de différentes classes de matériaux. On distingue l'Equipe Chimie Physique, Physique Chimie des Polymères, Environnement et Microbiologie et le Laboratoire de Chimie Analytique Bio-Inorganique et Environnement.

Le Laboratoire de Chimie Analytique Bio- Inorganique et Environnement (LCABIE)

Les principales activités du laboratoire sont la recherche et le développement d'instrumentations et de méthodes analytiques pour l'analyse de traces, la détermination des rapports isotopiques et de la spéciation (détection, identification et quantification des formes chimiques de métaux et des métalloïdes) en milieux environnemental et biologique. La majorité des sujets de recherches s'articule autour des deux grandes thématiques :

- Métaux, Métalloïdes et Biomolécules : Spéciation dans le vivant
- Ecodynamique des Métaux et Métalloïdes : spéciation dans l'environnement



Figure 1 : Vue extérieure de l'IPREM

SOMMAIRE

Introduction	1
 I. Généralités sur l'otolithe.....	3
1.1. L'otolithe, une archive biologique et environnementale.....	3
1.2. Formation.....	3
1.3. Utilisations de l'otolithe.....	4
 II. Matériels et méthodes.....	6
2.1. Analyses d'eau du bassin versant de l'Adour.....	6
2.1.1 Echantillonnage et préparation.....	6
2.1.2 Fonctionnement de l'ICP.....	6
2.1.3 Analyse des données.....	7
2.1.4 Généralités sur les eaux du bassin de l'Adour.....	8
2.2 Analyse d'otolithes.....	9
2.2.1 Prélèvement et préparation.....	9
2.2.2 Analyse laser et obtention d'un profil.....	10
 III. Résultats et discussion.....	11
3.1 Evolution de la signature des cours d'eau.....	11
3.1.1 Evolution de la signature géochimique en fonction du temps.....	11
3.1.2 Evolution de la signature géochimique en fonction du débit.....	12
3.1.3 Conclusions quant à cette évolution.....	14
3.2 Mise en évidence d'une différence d'incorporation entre Truite et Saumon Atlantique.....	14
3.3. Exemple concret d'application de l'utilisation de l'otolithe : cas d'une Truite de mer de la Nive.....	16
 Conclusion.....	18
Bilan personnel.....	19

LISTES DES SIGLES ET GLOSSAIRE

- Anadrome : Se dit des poissons vivant en mer mais se reproduisant en rivière.
(Exemple : le Saumon, l'Alose).
- Ba : Baryum
- Benthique : Relatif au fond de la mer, vivant sur ou près du substrat.
- Blanc : Echantillon de concentration nulle
- Ca : Calcium
- Catadrome : Se dit des poissons vivant en rivière mais se reproduisant en mer.
(Exemple : l'anguille).
- CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique.
- Endolymph : Liquide contenu dans l'oreille interne des poissons.
- ICP-AES : Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry.
- ICP-MS : Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer.
- IPREM : Institut Pluridisciplinaire de Recherche sur l'Environnement et Matériaux.
- LCABIE : Laboratoire de Chimie Analytique Bio-Inorganique et - Environnement
- Mn : Manganèse
- Mg : Magnésium
- Otolithe : Concrétion calcaire de l'oreille interne considéré comme la « boîte noire » des poissons osseux.
- Pélagique : Partie des océans comprenant la colonne d'eau (autres que les côtes ou les fonds marin) qui se distingue de la zone benthique.
- Si : Silicium
- Sr : Strontium
- Zn : Zinc

INTRODUCTION



Le développement récent des activités anthropiques a considérablement affecté les milieux aquatiques. La pollution, la surexploitation des ressources, la fragmentation et la destruction des milieux ont entraîné un appauvrissement significatif de la biodiversité dans ces écosystèmes. Il est donc nécessaire de gérer convenablement les ressources piscicoles, sans quoi certaines espèces seront condamnées à disparaître. Afin de pérenniser ces ressources, il est nécessaire de mettre en place des mesures visant notamment à améliorer la qualité des habitats, à protéger les milieux, et à faciliter l'accès aux zones de reproduction. Pour mettre en place de tels plans de gestion, il est essentiel de bien connaître le cycle de vie des espèces concernées afin d'adopter des mesures appropriées et cohérentes. Les outils permettant d'étudier le cycle de vie, notamment des poissons migrateurs anadromes (Saumon, Alose, Truite de mer...) et catadromes (Anguille) sont nombreux. Cependant, il est très difficile de connaître avec précision les déplacements des individus dans un bassin hydrographique. Depuis une vingtaine d'années environ, la microchimie de l'otolithe a montré qu'elle avait un potentiel intéressant pour aborder ces questions. Cette pièce de calcaire contenue dans l'oreille interne des poissons téléostéens incorpore divers éléments traces et mineurs (Sr, Ba, Zn, Mg, Li, Cu, Pb, Rb, ...) au cours de sa formation. L'incorporation s'y fait dans certains cas dans des proportions qui sont liées aux concentrations de ces éléments dans le milieu traversé. Cependant, le métabolisme du poisson peut jouer un rôle très important dans d'autres cas. L'étude de la composition chimique de l'otolithe permet donc d'obtenir des informations précises sur l'histoire de vie des poissons, notamment sur les zones de grossissement, les zones de fraie, et les déplacements au sein d'un bassin versant. L'otolithe est ainsi un outil dont l'analyse permet de mettre en évidence des événements précis concernant la biologie comportementale des poissons

et de les relier à l'environnement dans lequel ils ont évolué.

Au sein du Laboratoire de Chimie Analytique Bio-Inorganique et Environnement, les chercheurs de l'Institut des sciences analytiques et de Physico-chimie pour l'Environnement et les Matériaux (IPREM) de Pau se sont engagés depuis 2006 à étudier l'otolithe. Ces recherches sont possibles grâce à un parc instrumental de pointe, avec des instruments permettant de développer des projets d'études sur des otolithes d'espèces diverses dont la truite, l'aloise, l'anguille, le saumon, le mulot, le mérou, et bien d'autres. Certains de ces travaux concernent des environnements locaux, notamment le bassin versant de l'Adour, et d'autres des environnements plus éloignés en collaboration avec d'autres instituts de recherche tels l'IFREMER, l'IRSTEA, l'Université de Marseille et de Perpignan. A travers tous ces projets, le laboratoire essaie de déterminer comment la géochimie des otolithes peut apporter des informations utiles et appliquées à l'histoire de vie des poissons pour améliorer les plans de gestion. Pour cela, le laboratoire travaille à la fois sur la caractérisation des signatures chimiques des milieux aquatiques et les facteurs qui les conditionnent, et sur la signification des signaux enregistrés dans les otolithes (processus métaboliques et reflet du milieu ambiant) et leurs applications en terme de comportement migratoire et écologique des poissons.

Dans le cadre de mon stage, j'ai participé à plusieurs activités intervenant dans cette thématique : préparation d'échantillons d'eaux et analyse des éléments traces par spectrométrie d'émission atomique (ICP-AES), extraction et préparation d'otolithes de saumons en vue de leur analyse par ablation laser spectrométrie de masse (LA-ICP-MS), traitement des données brutes et analyse des données ont été mes principales activités lors de ce stage de 14 semaines.

Après avoir abordé certaines généralités sur l'otolithe, nous nous pencherons sur le matériel et les méthodes utilisés pour répondre à la problématique. Enfin, nous traiterons des résultats obtenus : évolution de la signature géochimique des cours d'eau sur la période échantillonnée, comparaison de l'incorporation dans l'otolithe entre Truites et Saumons atlantiques, et exemple d'application sur une truite de mer.

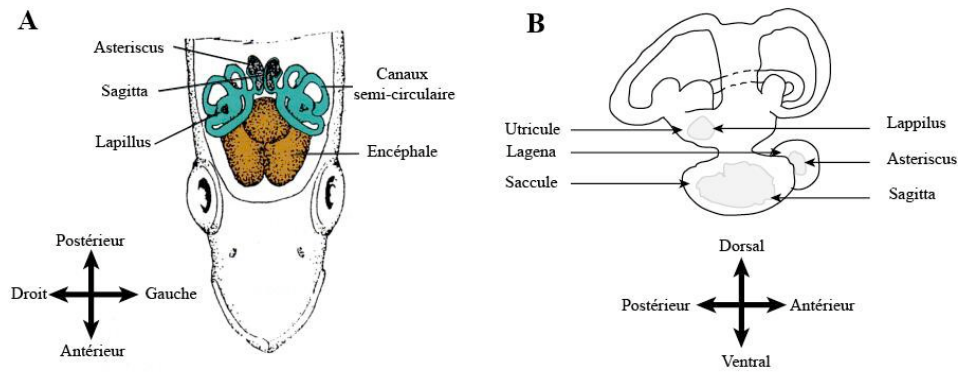


Figure 2 : Situation des otolithes dans l'oreille interne

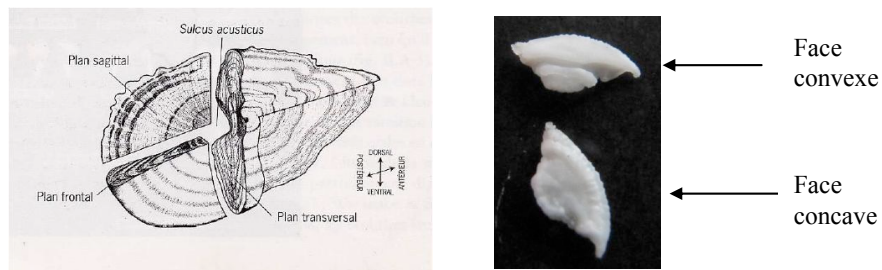


Figure 3 : Schéma d'une otolithe sagitta

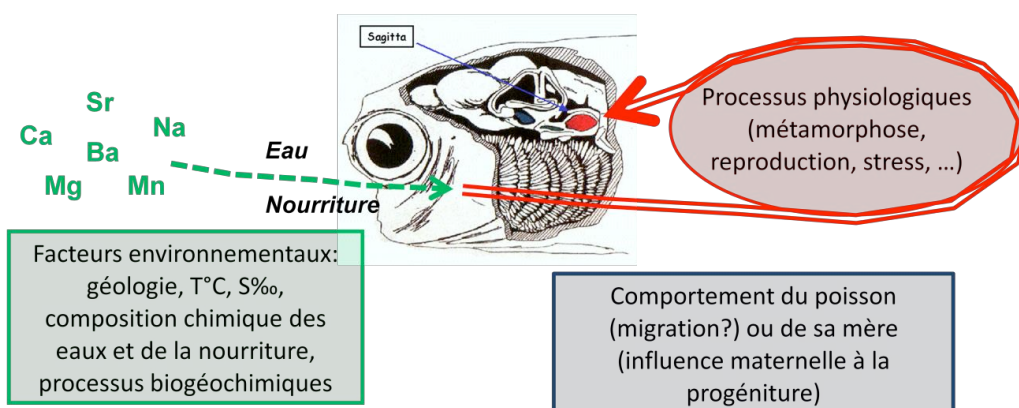


Figure 4 : Facteurs à l'origine de l'incorporation dans l'otolithe

I. Généralités sur l'Otolithe

Le mot otolithe vient du grec « oto » qui désigne l'oreille et « lithos » qui signifie pierre. C'est donc une formation minérale trouvée dans la cavité de l'oreille interne (Figure 2A) des poissons osseux (téléostéens).

1. L'otolithe, une archive biologique et environnementale

On distingue 3 paires d'otolithes par poisson : sagitta, lapillus et asteriscus (Figure 2B). Elles font partie du système sensoriel qui permet de positionner le poisson en fonction des variations de la gravité ou encore de l'accélération dans la masse d'eau.

La structure de l'otolithe est spécifique à l'espèce et sa taille n'est pas toujours proportionnelle à celle du poisson. En otolithométrie et en géochimie de l'otolithe, on utilise la sagitta (Figure 3), la plus grosse des otolithes (généralement de 1 à 4 mm selon l'âge et l'espèce de poissons étudiée).

On distingue 3 plans d'orientations sur cette otolithe : sagittal, frontal, transversal. L'otolithe est composé d'une face convexe et d'une face concave.

L'étude de l'otolithe est intéressante au niveau de la connaissance des déplacements des poissons car elle enregistre les signatures géochimiques des eaux traversées.

2. Formation

L'otolithe est constituée à 99% de cristaux de carbonate de calcium (CaCO_3) essentiellement sous forme d'aragonite déposée de façon régulière sur une matrice organique (Lochet, 2006). Au moins 31 éléments entrent dans sa composition (Tabouret, 2009). On y retrouve du Calcium, Potassium, Sodium, Manganèse, Strontium, Baryum etc.

La plupart des éléments inorganiques proviendraient de l'eau, à raison de 80 à 90% mais une part non négligeable provient aussi de la nourriture (Figure 4). De ce fait, la signature en éléments retrouvée dans les otolithes est propre à chaque environnement

du moins pour certains éléments.

Avant d'atteindre l'otolithe, ces éléments devront franchir plusieurs barrières. Présents dans l'eau, les éléments chimiques pénètrent dans les poissons par les branchies ou par la nourriture. Ils rejoignent l'endolymphe (produit dans lequel baignent les otolithes dans l'oreille interne) par transport cellulaire dans le plasma sanguin. Les éléments peuvent alors cristalliser avec le CaCO_3 formant ainsi l'otolithe.

Au cours de ce déplacement à travers le poisson, les éléments passent donc plusieurs barrières biologiques dans lesquelles ils sont susceptibles de subir des transformations sous l'effet de processus physiologiques. D'autre part, la quantité d'un élément dans l'otolithe dépend du rapport de concentration [élément] / [calcium] dans le milieu plutôt que de sa seule concentration. Ce rapport mesuré dans les otolithes est d'ailleurs en général très inférieur à celui observé dans le milieu où vit le poisson, à cause des effets des barrières biologiques.

Pour certains éléments comme le Sr et le Ba, il a été démontré que la concentration dans l'otolithe est proportionnelle à celle dans l'eau. Cette proportionnalité permet donc de relier une otolithe à un milieu spécifique.

3. Utilisations de l'otolithe

L'otolithométrie s'est développée après la découverte des marques d'accroissement journalières par Pannella en 1971. En effet, l'étude des otolithes permet l'estimation de l'âge, des paramètres de croissance, et de la dynamique de croissance durant les différentes phases de vie. L'étude de la dynamique des populations a par la suite été possible grâce à la microanalyse chimique (étude des concentrations en éléments traces) qui permet de reconstituer les environnements de vie (Campana 2005).

L'otolithe permet notamment de reconstituer l'origine des saumons de retour. Afin de pouvoir utiliser la géochimie de l'otolithe pour reconstituer l'histoire de vie des saumons adultes qui reviennent en eau douce pour pondre dans les rivières du bassin de l'Adour, il fallait vérifier que les différentes signatures identifiées dans les rivières sont retrouvées dans les otolithes des saumons juvéniles grandissant dans ces rivières. Cela a été fait entre 2009 et 2012 lors du doctorat de J. Martin (*Développement de la*

microchimie élémentaire et isotopique ($^{87}\text{Sr} : ^{86}\text{Sr}$) des otolithes de saumons Atlantique : évaluation du potentiel pour un appui à la gestion piscicole dans le bassin de l'Adour, 2012). Il a pu ainsi être démontré dans le bassin de l'Adour que l'absorption du Sr/Ca et Ba/Ca n'est pas directe chez le saumon comme on pouvait si attendre. Bien que la proportionnalité entre l'otolithe et l'eau existe pour ces deux variables, le franchissement des barrières physiologiques avant l'otolithe conduit à une valeur du rapport Sr/Ca dans les otolithes d'environ 4 fois plus faible que celle dans l'eau où vit le saumon. Pour le Ba /Ca elle est de l'ordre de 40 fois plus faible que dans l'eau.

A partir de ces relations il est alors possible de remonter à la rivière de provenance d'un poisson à partir de la valeur des différents rapports mesurés dans les otolithes d'adultes au niveau de la zone correspondant à la partie juvénile de ce poisson.

Concernant les truites, l'otolithe devrait permettre d'avoir une idée sur les différentes rivières fréquentées durant la vie du poisson. Mais cette corrélation n'avait pas été faite pour le bassin de l'Adour. Dans le cadre de ce stage, nous avons réalisé cette validation otolithe/eau pour les truites pour les rapports Sr/Ca, Ba/Ca et isotopie du Sr. Nous avons également comparé le taux d'incorporation des truites et des saumons pour ces éléments. De la même manière que pour le saumon, il est possible, à partir des concentrations en ces éléments dans l'otolithe, de déterminer à quelles rivières appartiennent les signaux enregistrés dans les truites.

	Etalon 5	Etalon 4	Etalon 3	Etalon 2	Etalon 1	Blanc
Solution Multi	20mL	20mL	20mL	20mL	20mL	20mL
Ca (50 mg/L)	50 mg/l	20 mg/l	10 mg/l	5 mg/l	1 mg/l	0
Na, Si, Mg (10mg/L)	5 mg/l	2 mg/l	1 mg/l	0,5 mg/l	0,1 mg/l	0
K (1 mg/L)	1 mg/l	0,4 mg/l	0,2 mg/l	0,1 mg/l	0,02 mg/l	0
Sr (0,5 mg/L)	0,5 mg/l	0,2 mg/l	0,1 mg/l	0,05 mg/l	0,01 mg/l	0
Ba (0,1 mg/L)	0,1 mg/l	0,04 mg/l	0,02 mg/l	0,01 mg/l	0,002 mg/l	0
Sol multi Elts	20 mL	8mL	4mL	2mL	0,4mL	0
HNO3 2% (mL)	0 mL	12mL	16mL	18mL	19,6mL	20mL

Tableau 1 : Concentrations des solutions étalons utilisées pour l'analyse d'eaux

Eléments	Ca	Mg	Si	Na	K	Sr	Ba	Ba
Raies utilisées correspondantes (nm)	422,673	383,827	251,611	589,592	766,490	421,552	493,408	614,172

Tableau 2 : Raies utilisées par l'ICP-AES pour la détection des éléments

II. Matériels et méthodes

1. Analyses d'eaux du bassin versant de l'Adour spectrométrie de masse (ICP-MS, ICP-AES)

1) Echantillonnage et préparation

L'analyse de l'eau est une étape des plus importantes. En effet, il est essentiel de vérifier qu'il existe des signatures chimiques différentes entre différentes rivières, et que ces signatures sont stables dans le temps.

Après échantillonnage et filtration, les eaux sont acidifiées et stockées dans des tubes de 50ml en chambre froide afin d'éviter un éventuel développement bactérien.

On prépare ensuite une solution multi éléments (Ca, Mg, Si, Na, K, Sr, Ba) à partir de laquelle on préparera une série d'étalons de plus en plus concentrés (Tableau 1), qui permettra de construire une courbe d'étalonnage. Celle-ci servira ensuite à l'analyse des éléments présents dans les échantillons. Les étalons sont réalisés à partir d'acide nitrique (2%) car la réaction réalisée lors de l'analyse doit se faire en milieu acide. Nous avons donc préparé 5 étalons de concentrations différentes et un blanc (contenant exclusivement de l'acide nitrique). Pour cela, à partir des solutions mères de chaque élément de concentration égale à 1000 ppm nous avons préparé 100ml de solution multi éléments contenant les concentrations suivantes (tableau ci-dessous) pour chaque élément.

2) Analyse à l'ICP (Inductively Coupled Plasma)

- Analyse ICP-AES (Spectrophotométrie d'émission atomique)

Pour l'analyse des eaux nous avons dans un premier temps utilisé un ICP-AES (Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry). Cet appareil utilise un plasma à haute température (jusqu'à 6000K) qui ionise des éléments dissous dans l'eau et mesure l'émission atomique (lumière émise). La température élevée permet de rompre toutes les liaisons entre les éléments chimiques. Un atome possède un grand nombre de niveaux d'énergie possibles. La transition entre différents niveaux due à une excitation (ionisation) génère un photon lors du retour de l'atome à l'état fondamental.

Le photon émis génère une longueur d'onde caractéristique de l'élément, c'est elle que l'on mesure (Tableau 2).

Ainsi la lumière émise par l'élément recherché est alors détectée et mesurée, et son intensité est comparée à celle émise par le même élément contenu dans un échantillon de concentration connue, analysé dans les mêmes conditions. Cette technique permet d'analyser la quasi-totalité des éléments majeurs et mineurs dans un laps de temps relativement court. Dans le cadre de ce stage nous avons essentiellement recherché les éléments Ba, Ca, K, Mg, Na, Si, Sr.

- Analyse ICP-MS (Spectrophotométrie de masse)

Ces eaux ont ensuite été analysées de la même manière mais avec un ICP-MS (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) pour les éléments traces et mineurs (Sr, Ba). Ici, les éléments ionisés sont séparés grâce à des champs électriques et magnétiques (appelés quadripoles), et viennent taper sur un récepteur permettant de mesurer combien d'ions par unité de temps sont passés (on parle de "nombre de coups"). Cette unité est alors transformée en unités de concentration par des calculs.

L'avantage de l'ICP-MS est de pouvoir mesurer avec une précision bien plus importante qu'avec l'ICP-AES, et surtout les éléments présents en très faible quantité ("éléments traces", de l'ordre du ppb). Cependant, pour les éléments présents en grande quantité ("éléments majeurs", notamment le Calcium), cet appareil va saturer rapidement, alors que l'ICP-AES les mesure sans problème.

Ainsi, les données utilisées pour nos travaux sont :

- Les données issues de l'ICP-AES pour les éléments présents en grande quantité
- Les données issues de l'ICP-MS pour les éléments mineurs et traces.

3) Analyse des données

L'appareil de mesure ICP est couplé à un système d'acquisition informatique.

Pour l'ICP-AES : après avoir laissé chauffer l'appareil au moins une heure, il faut passer la calibration avant chaque mesure et réaliser un calage des pics de raies pour chaque élément afin d'être certain que la longueur d'onde mesurée est bien calée sur

celle de l'élément. La calibration est réalisée dans les mêmes conditions que les échantillons ce qui permet de vérifier l'état de l'analyse.

Pour l'ICP-MS, il existe aussi une optimisation à effectuer, et il est nécessaire de caler les masses, mais cette étape étant assez complexe, elle ne sera pas développée dans ce rapport.

Au cours de l'analyse nous avons intercalé au milieu de nos échantillons des solutions de rivières dont la concentration est connue et certifiée (SLRS-5 River Water Reference Material for Trace Metals) qui nous permettent de vérifier le bon fonctionnement de l'appareil d'analyse et la pertinence de nos échantillons au cours de l'analyse.

Les résultats sont ensuite transmis sur le logiciel de calcul Excel.

Après analyse, les résultats obtenus donnent l'intensité correspondant aux raies des éléments cherchés pour chaque échantillon. Dans un premier temps nous avons trié les échantillons par éléments chimiques. A partir des intensités mesurées dans les étalons et corrigés en fonction du blanc, ainsi que de la concentration réelle dans l'étalon, on trace une courbe d'étalonnage sur laquelle on calcule le coefficient directeur. On obtient alors la concentration des échantillons

4) Généralités sur les eaux du bassin versant de l'Adour

La signature chimique lue sur les otolithes étant liée à la teneur en calcium des eaux, il est nécessaire de rapporter les mesures de concentration de Strontium et du Baryum sur le Calcium. Rappelons que si la quantité de calcium dans l'eau est faible mais que la quantité de strontium est élevée, le rapport Sr/Ca sera fort, donc une signature Sr/Ca forte sera enregistrée dans l'otolithe.

Dans le cadre de mon stage, nous avons réalisé des études uniquement sur les rapports Sr/Ca, Ba/Ca et Sr/Ba car ces éléments donnent des résultats que l'on peut très bien expliquer et relier avec le milieu.

La moyenne de chaque rapport pour chaque rivière donne une valeur reflétant la signature de la rivière. La confrontation des différents cours d'eau du bassin versant de l'Adour permet de déterminer les rivières se démarquant les unes des autres. Montrons à présent qu'il est possible d'identifier n'importe quelle rivière du bassin versant de

l'Adour par confrontation des différents rapports. Le problème que l'on peut rencontrer est que des rivières ont la même signature si l'on utilise un seul rapport élémentaire.

Ainsi par exemple, lorsque l'on classe les rivières en fonction de leurs concentrations en Strontium, on obtient les groupes suivants :

- Groupe 1 : Gave d'Aspe
- Groupe 2 : Nivelle, Gave d'Oloron, Lourdios, Saison, Grande Nive
- Groupe 3 : Verts, Laurhibar
- Groupe 4 : Gave d'Ossau, Ouzom, Gave de Pau, Nive Béhérobey
- Groupe 5 : Nive d'Arnéguy

A l'aide du rapport Ba/Ca il est alors possible de différencier les rivières issues d'un même groupe.

Enfin dans les cas d'extrême similitude malgré l'étude des deux rapports Sr/Ca et Ba/Ca, on peut réaliser une analyse de l'isotopie du strontium (grâce au rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) qui permet de départager plus finement presque toutes les rivières. Pour cela, l'appareil utilisé est un ICP-MS multicollecteur.

2. Analyse des otolithes de truites et saumons du bassin de l'Adour

1) Prélèvement des otolithes

Dans un premier temps, il s'agit de disséquer la boîte crânienne dans sa partie supérieure afin de ne pas endommager l'oreille interne. Une fois le cerveau retiré, on distingue les deux otolithes sagitta, logées dans la cavité de l'oreille interne. Après extraction à l'aide d'une pince à épiler, les otolithes sont plongés dans de l'eau distillée et abondamment rincées puis séchées (Figure 5A).

Pour leur analyse laser, les otolithes sont incluses dans un bloc de résine Araldite® 20-20, propre en éléments traces à analyser. L'Araldite est constituée d'une résine époxy et d'un agent polymérisant. Lorsque les deux éléments sont mis en contact (on met 100g d'époxy pour 30g de durcisseur), il se forme un polyépoxyde qui permet de protéger l'otolithe. Une fois l'otolithe incluse dans le bloc de résine séché pendant 48

5A

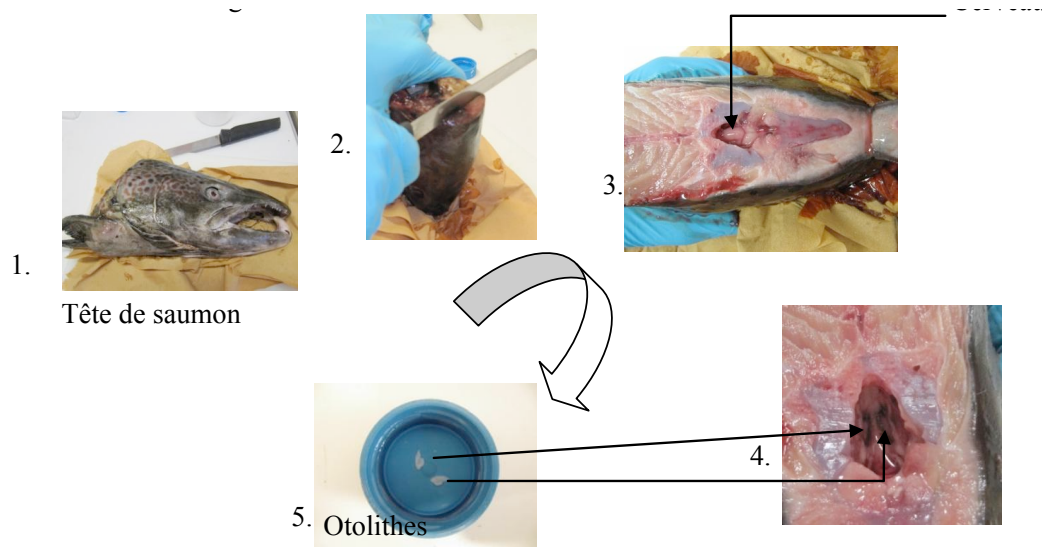


Figure 5A : prélèvement des otolithes

heures, on ponce ce dernier (à l'aide d'une ponceuse munie d'un disque de papier silice arrosé par de l'eau distillée) afin d'obtenir une lame fine qu'il sera possible d'observer au microscope, et d'analyser par ablation laser (Figures 5B et 6).

2) Analyse par ablation laser ICP-MS et obtention d'un profil (Figure 7)

Dans un premier temps, on place la lame de résine contenant l'otolithe poncée dans la chambre du laser (Figure 8). Un logiciel permet de positionner le transect effectué par le laser sur l'otolithe, et de choisir la largeur du faisceau et définir la longueur de la zone à ablater. Le laser est ensuite focalisé sur la zone du transect.

La matière ablatée par le laser est transportée dans une durite grâce à un flux d'Hélium, vers le spectromètre de masse ICP-MS (Figure 9). Celui-ci comporte un plasma qui va brûler cette matière et la décomposer en atomes. Ensuite, comme décrit pour la partie "analyse d'eaux", le spectromètre de masse va mesurer la quantité de chaque élément, et les enregistrer grâce à un système informatique (Figure 10).

Ici, il est nécessaire de rapporter les mesures effectuées au Calcium. Le Calcium est l'élément principal composant la matrice de l'otolithe. La surface de l'otolithe n'étant pas parfaitement plate, on n'ablate pas exactement le volume d'otolithe prévu par le transect: lorsque la quantité de chaque élément est mesurée, on ne peut donc pas simplement la diviser par le volume théorique ablaté pour obtenir sa concentration. Cependant, la quantité de Calcium ablaté correspond au volume réel (en plus des autres éléments présents) ablaté car il constitue la matrice de l'otolithe. On obtient donc les concentrations en rapportant les valeurs mesurées sur le spectromètre de masse au Calcium.

Le transect part généralement du centre de l'otolithe vers le bord. Le dépôt des éléments sur l'otolithe se faisant du centre vers le bord en cercles concentriques, on obtient un profil qui va retranscrire graphiquement l'évolution de la microchimie de l'état juvénile jusqu'à la fin de vie du poisson.

5B

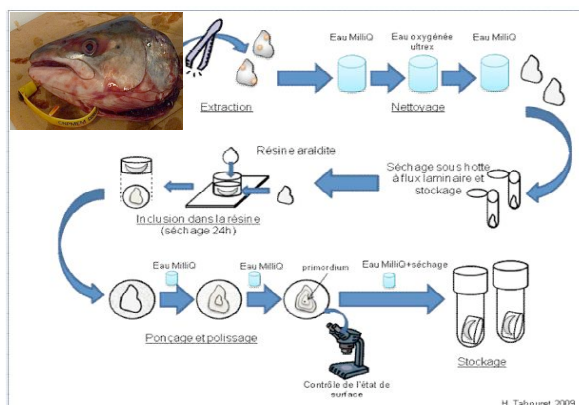


Figure 5 : Extraction et préparation des otolithes d'un saumon du gave d'Oloron

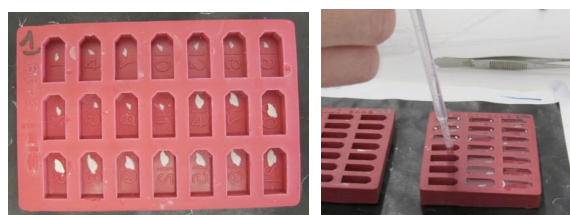


Figure 6 : Inclusion des otolithes dans la résine Araldite 20-20

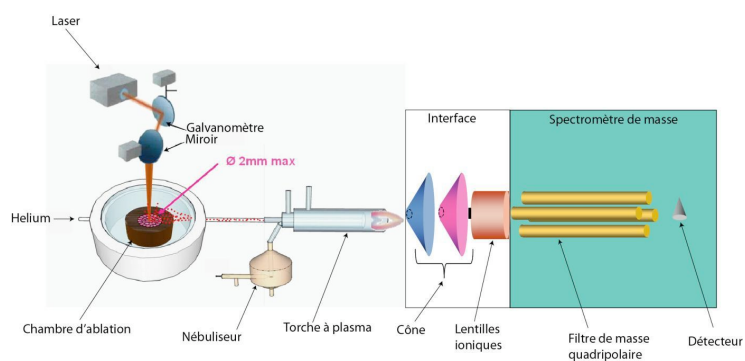


Figure 7 : Schéma du fonctionnement de l'ICP-MS couplé au laser



Figure 8 : Laser destiné à l'ablation sur l'otolithe



Figure 9 : ICP-MS

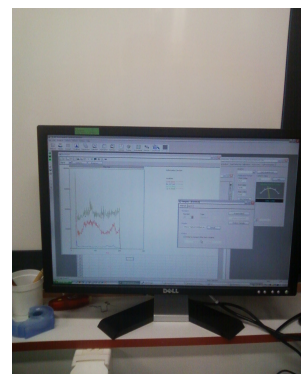


Figure 10 : Enregistrement des données issues de l'ICP

III. Résultats et discussions

1. Evolution de la signature géochimique des cours d'eau

Rappelons que la signature géochimique des cours d'eaux est extrêmement importante lors d'une étude sur les otolithes car lorsque le poisson traverse une masse d'eau, la concentration en éléments traces se déposant sur l'otolithe est liée à leur concentration dans l'eau. C'est pourquoi il est nécessaire, pour que le profil enregistré dans l'otolithe puisse être relié à des environnements, que la signature d'une rivière reste stable dans le temps.

Nous présenterons ici l'évolution de la géochimie du gave d'Oloron, qui naît de la confluence des gaves d'Aspe et d'Ossau à Oloron Sainte-Marie (64). Cette évolution sera dans un premier temps présentée selon le suivi qui y a été fait depuis 2009, afin de déterminer s'il existe des changements géochimiques d'une année à l'autre. Nous tenterons ensuite de corrélérer la signature géochimique de cette rivière aux débits lors de l'échantillonnage, afin de déterminer si divers éléments, notamment du climat (pluie, fonte des neiges, étiage...) agissent sur la signature géochimique de cette rivière. De plus, l'eau du gave d'Oloron dépend des débits des gaves d'Aspe et d'Ossau. En effet, leurs débits pouvant varier l'un par rapport à l'autre, la signature dans le gave d'Oloron dépendra de la proportion de chacun au niveau de la confluence.

1) Evolution de la signature géochimique en fonction du temps

Le suivi de la signature géochimique du gave d'Oloron a débuté le 25 Octobre 2009. Le dernier échantillon dont nous disposons, a été prélevé dans le cadre de mon stage le 11 Mars 2013. Au niveau du site étudié (Sablière de Ledeuix), nous disposons en tout des résultats de 16 échantillonnages réalisés sur les années 2009, 2010, 2011 et 2013. Les résultats de ce suivi sont rapportés sur la Figure 11 pour le gave d'Oloron. Les résultats concernant les gaves d'Aspe et d'Ossau sont reportés en annexe 1.

Lorsque l'on observe la signature géochimique des eaux en fonction de la date de prélèvement, entre 2009 et 2013, on remarque une certaine stabilité de celle-ci au cours du temps.

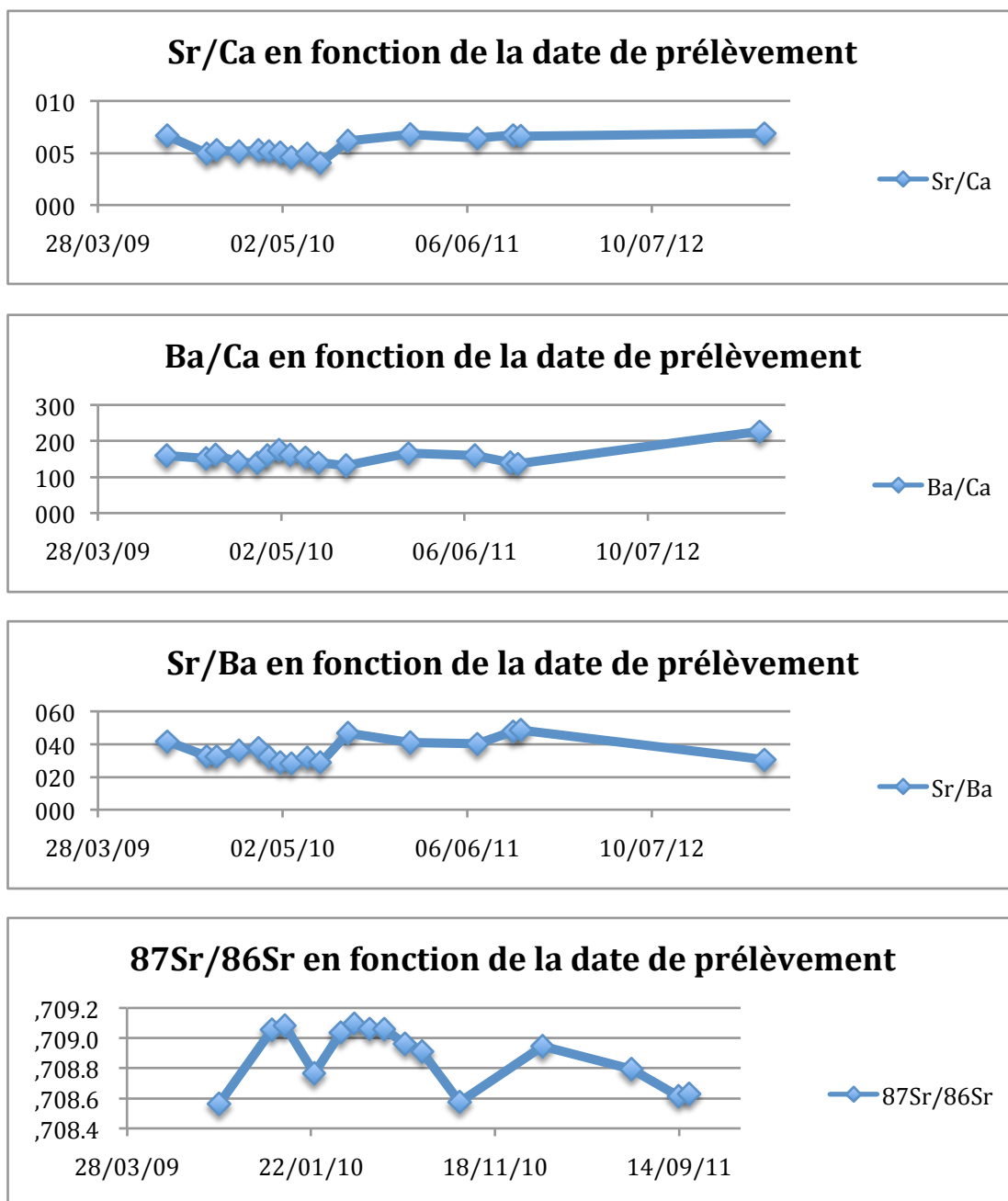


Figure 11 : Rapports élémentaires et isotopique des eaux du gave d'Oloron en fonction de la date de prélèvement

Si l'on prend l'exemple gave d'Oloron, la moyenne du rapport Sr/Ca est de 5,76 avec un écart type de 0,92. Pour le rapport Ba/Ca, la moyenne est de 157, avec un écart type de 22,3. Le rapport entre Strontium et Barium a pour moyenne 36,6 avec un écart type de 7. Enfin, le rapport isotopique du Strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) est lui aussi relativement stable dans le temps, avec une moyenne de 0,7089 et un écart type de 0,0002.

De la même manière, les gaves d'Aspe et d'Ossau présentent une certaine stabilité d'une année à l'autre.

Les écarts types étant relativement faibles par rapport aux moyennes, on peut affirmer qu'il existe une certaine stabilité de la signature géochimique sur cette rivière. Cependant, ces écarts types ne sont pas nuls. On remarque notamment que le dernier point échantillonné (mars 2013) a des valeurs légèrement différentes des autres pour les rapports élémentaires et isotopique. Cela peut s'expliquer par les conditions très particulières dans lesquelles il a été effectué, c'est à dire très fortes pluies et fonte des neiges, donc un débit très important (environ $80 \text{ m}^3/\text{s}$) avec des ruissellements divers et très importants. Il est donc évident que la signature puisse différer de celles obtenues dans des conditions normales. En effet, lorsqu'il s'agit de pluie ou de fonte des neiges, les éléments de la roche ne sont pas dissous de la même manière ni dans les mêmes quantités. De plus, comme énoncé précédemment, le gave d'Oloron a une signature qui dépend des débits relatifs du gave d'Aspe et du gave d'Ossau. C'est pourquoi il est aussi nécessaire de déterminer quelles relations il peut exister entre l'évolution de la signature géochimique des rivières et leur débit.

2) Evolution de la signature géochimique en fonction du débit

Les différents rapports élémentaires et isotopiques des eaux du gave d'Oloron sont présentés en fonction du débit lors du prélèvement sur la figure 12. Pour les gaves d'Aspe et d'Ossau, ils sont reportés en annexe 2. Les débits sont disponibles sur le site hydo.eaufrance.fr, qui donne les débits pour chaque jour.

- Concernant le Strontium, on remarque que plus le débit est important, plus le rapport Sr/Ca est faible. Sur les graphiques représentant ce rapport en fonction du débit, le modèle "puissance décroissante" semble le plus approprié, avec des coefficients de corrélation de 0,4 pour le gave d'Ossau et 0,6 pour le gave d'Aspe et 0,8 pour le gave

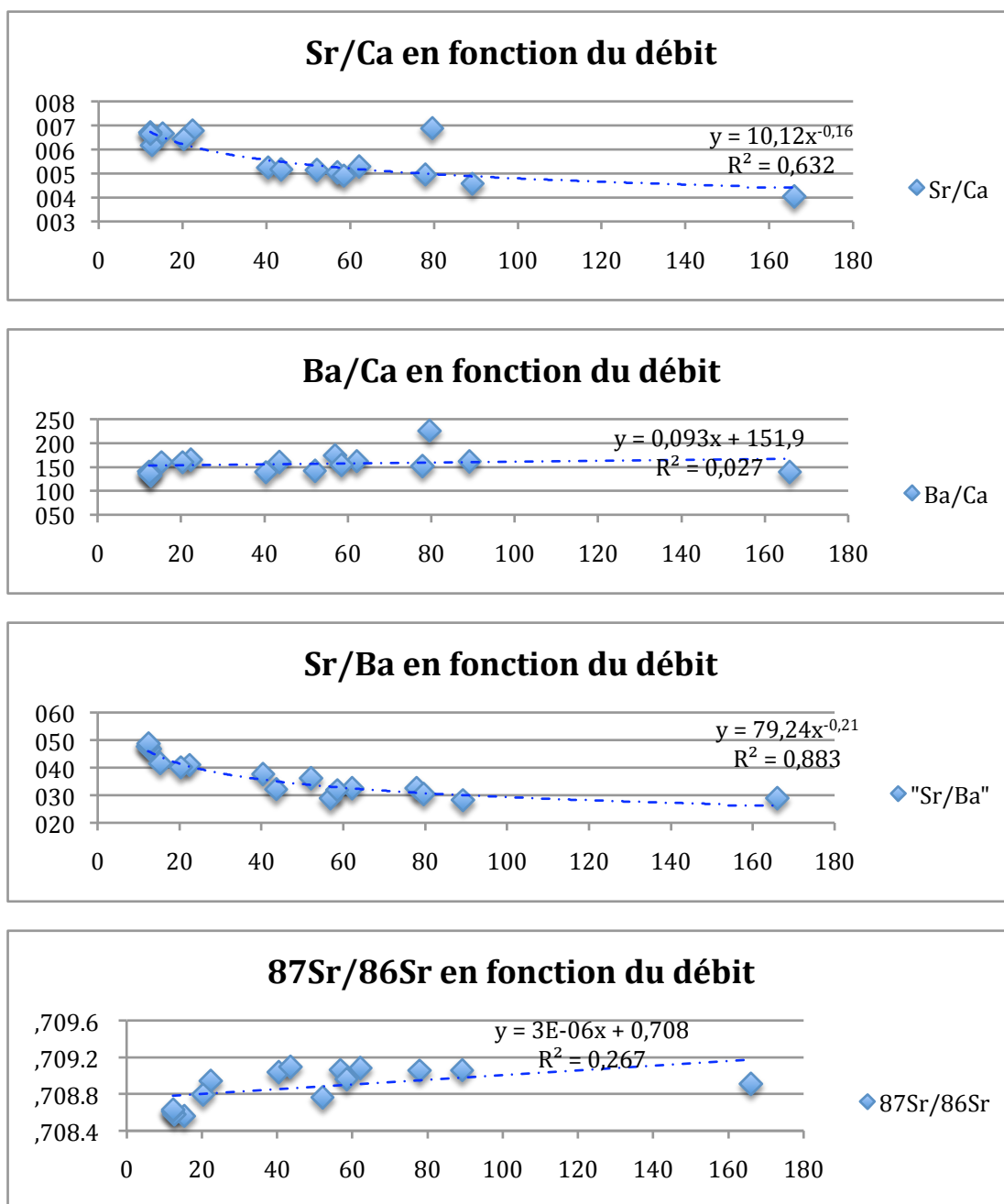


Figure 12 : Rapports élémentaires et isotopique des eaux du gave d'Oloron en fonction du débit

d'Oloron.

- Le Barium quant à lui ne présente pas de variations significatives en fonction du débit. Il reste constant. Le coefficient de corrélation entre Ba/Ca et le débit est très proche de zéro (0,015 pour le gave d'Ossau, 0,026 pour le gave d'Aspe et 0,027 pour le gave d'Oloron).

- Le Strontium présentant une variation alors que le Baryum reste stable selon le débit, le rapport Sr/Ba varie de la même manière que le Strontium : il décroît en fonction du débit selon une relation puissance décroissante.

- Enfin, le rapport isotopique du Strontium, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, augmente suivant un modèle linéaire croissant en fonction du débit.

Ces variations de signature sont de causes diverses et complexes. En effet, les variations de débit peuvent provenir de différents éléments (ruissellement de pluie, niveau des nappes phréatiques, fonte des neiges...). Ainsi pour une rivière, la proportion du débit provenant de chacune de ces sources va influencer la signature géochimique de ses eaux, et selon l'altitude, la localisation des pluies, ces proportions sont variables.

Ce phénomène lié aux proportions en débit qu'emmènent les différents affluents est aussi rencontré à l'échelle du gave d'Oloron, les deux affluents principaux étant les gaves d'Aspe et d'Ossau. En effet, selon le débit des gaves d'Aspe et d'Ossau, et à moindre mesure selon leur signature respective, la signature géochimique du gave d'Oloron subit de légères variations. Il s'agit ici de variations saisonnières.

Ainsi lorsque le gave d'Aspe a par exemple un débit faible par rapport au gave d'Ossau, le rapport Sr/Ca, qui est plus faible dans le gave d'Ossau (autour de 3, contre 7 pour le gave d'Aspe), ce rapport sera plus faible dans le gave d'Oloron que si le gave d'Aspe a un débit très fort par rapport au gave d'Ossau. A cela viennent s'ajouter de nombreux phénomènes d'infiltration, liés à des écoulements d'eaux divers, des affluents souterrains, ainsi que d'autres modifications de la signature liées à la présence d'affluents mineurs ou d'apports anthropiques.

3) Conclusions quant à cette évolution

Malgré certaines variations saisonnières de la signature géochimique des rivières, les concentrations des éléments utilisés pour l'étude des otolithes restent les mêmes au cours du temps. Les variations observées n'altèrent pas les différences entre rivières.

A cause de ces variations saisonnières, il est nécessaire, pour continuer le suivi à long terme, d'effectuer les prélèvements dans les mêmes conditions d'une année à l'autre. Il sera judicieux d'effectuer ces mesures lors de la période d'étiage car cette période est généralement plus longue que la période de hautes eaux, donc la signature de la rivière ayant le plus de temps pour être incorporée dans l'otolithe correspond à ces valeurs d'étiage. De plus, le ruissellement de surface lié aux pluies et à la fonte des neiges ne vient pas perturber cette signature. Dans les conditions d'étiage, la signature de la rivière sera donc plus stable car les proportions des différentes sources de modification de sa signature auront moins d'importance.

2. Mise en évidence d'une différence d'incorporation entre Truite et Saumon Atlantique

Afin d'assigner une otolithe à une rivière pour connaître l'origine d'un poisson, ou ses déplacements entre différentes rivières, il est nécessaire de savoir comment celui-ci incorpore les différents éléments dans l'otolithe selon leur concentration dans l'eau. L'analyse d'otolithes nous a permis de mettre en évidence que cette incorporation varie selon l'espèce. De plus, cette incorporation d'éléments est généralement proportionnelle à la concentration de ces éléments dans l'eau. Lorsque l'on fait une régression linéaire des rapports Sr/Ca, Ba/Ca, et Sr/Ba en fonction de ces rapports dans l'eau, on confirme la proportionnalité entre les deux variables (coefficients de corrélation très proches de 1 pour le strontium et le baryum ramené au calcium. En ce qui concerne le rapport isotopique du strontium, la concentration dans l'otolithe correspond à celle dans l'eau car il n'y pas de fractionnement biologique.

Afin d'être certain de mesurer la partie de l'otolithe correspondant à la rivière de capture du poisson, on prend uniquement les valeurs mesurées sur la fin du profil. On considère donc que le poisson a terminé sa croissance dans la rivière où il a été échantillonné, en y restant assez longtemps pour que la signature de cette rivière

apparaisse sur l'otolithe, c'est à dire au moins quelques semaines.

Concernant le strontium (Figure 13), le rapport Sr/Ca augmente plus rapidement selon ce rapport dans l'eau chez la truite que chez le saumon. Cela signifie que pour une quantité donnée de strontium dans l'eau, la truite en incorpore plus que le saumon dans ses otolithes. Comme on peut l'observer sur le graphique de la Figure 13, le rapport Sr/Ca dans l'otolithe de la truite est d'environ 28% de celui dans l'eau, contre 25% chez le saumon.

Contrairement au strontium, le baryum quant à lui (Figure 14), est incorporé en plus grande quantité dans l'otolithe chez le saumon que chez la truite pour une quantité donnée dans l'eau. Ainsi, le saumon incorpore 0,24% du rapport Ba/Ca de l'eau, contre 0,15% chez la truite.

Par conséquent, le rapport Sr/Ba (Figure 15) est plus important dans l'otolithe de la truite que celle du saumon pour une valeur donnée dans l'eau, et par rapport au Sr/Ca, la différence entre les deux espèces est amplifiée.

Enfin, le rapport isotopique du Strontium $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Figure 16) est le même dans l'eau et dans l'otolithe, à la fois chez le saumon et chez la truite ce qui est normal en raison de l'absence de fractionnement biologique pour ce rapport isotopique. Cela est dû au fait que les barrières physiologiques entre l'eau et l'otolithe ne fractionnent pas les différents isotopes.

L'obtention de ces graphiques est indispensable à l'assignation d'un poisson à une rivière. Lorsque l'on mesure les concentrations des éléments à analyser dans l'otolithe, il suffira alors d'utiliser l'équation de la droite pour retrouver la rivière à laquelle elles correspondent. Dans la pratique, cela n'est pas toujours possible car certaines rivières possèdent des signatures très proches et il est très difficile de les différencier même en utilisant le rapport isotopique du Strontium.

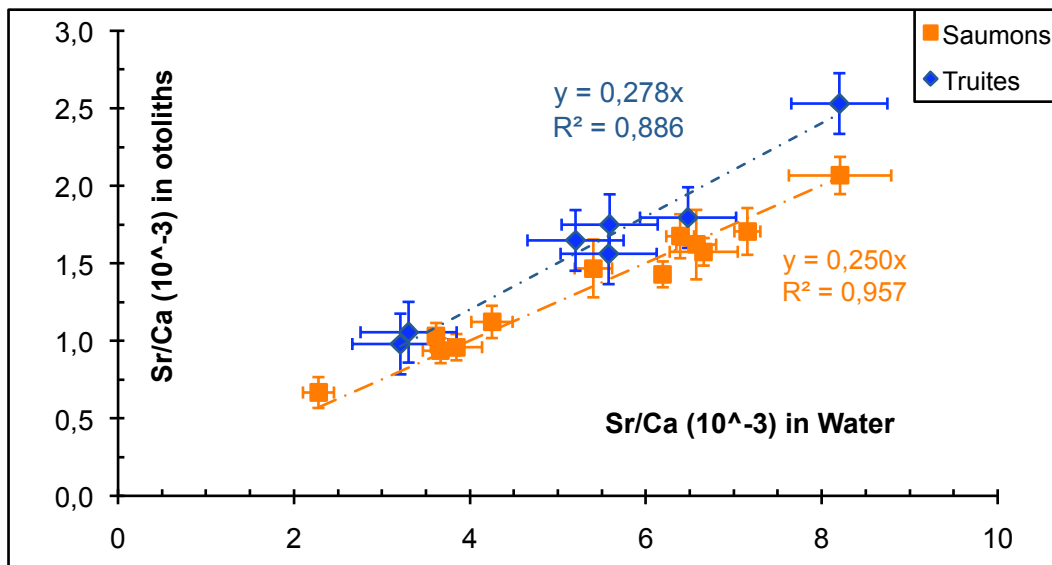


Figure 13 : Rapport Sr/Ca dans l'otolithe en fonction de ce rapport dans l'eau, chez la truite et chez le saumon

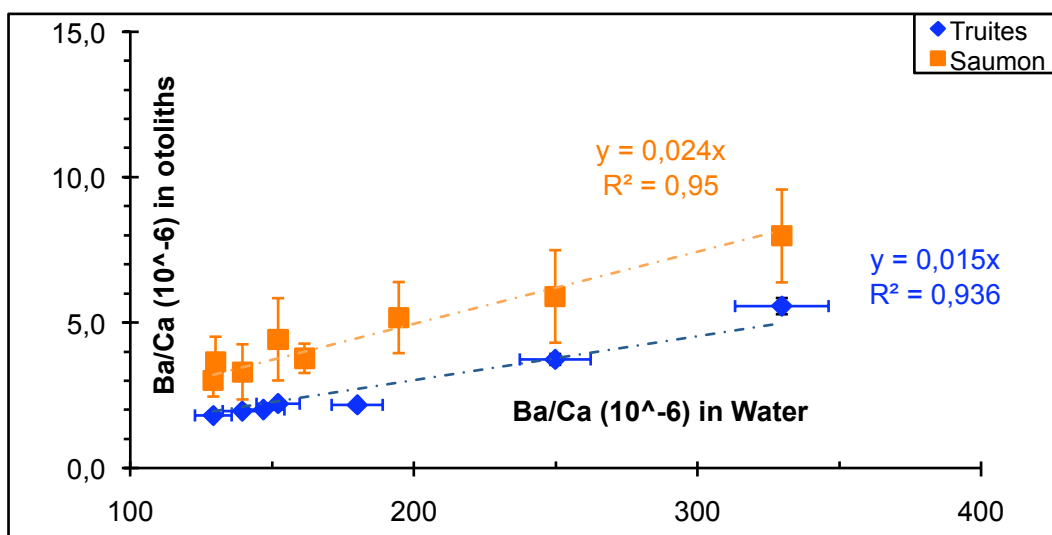


Figure 14 : Rapport Ba/Ca dans l'otolithe en fonction de ce rapport dans l'eau, chez la truite et chez le saumon

3. Exemple concret d'application de l'utilisation de l'otolithe : cas d'une Truite de mer de la Nive

Les applications de l'étude de l'otolithe sont multiples. Il peut s'agir de détermination de l'âge, de la vitesse de croissance, des conditions dans le milieu de vie etc...

Ici nous traiterons uniquement de l'otolithe en tant qu'outil pour déterminer les déplacements des poissons entre différents environnements. Dans un premier temps, nous nous pencherons sur le cas d'une truite de mer récupérée dans la Nive.

Lorsque l'on se penche sur le cas de cette truite pêchée dans la Nive, on remarque que le rapport Sr/Ca (Figure 17) est constant sur le début du transect, et proche de 0,5. Rappelons que 28% de ce rapport dans l'eau est retrouvé dans l'otolithe. Par un produit en croix, on retrouve alors le rapport dans la rivière où a vécu le poisson au stade juvénile qui était de $(100 \times 0,5) / 28 = 1,78$. Cette valeur relativement basse pour ce rapport peut parfaitement correspondre à celle que l'on retrouve dans la Nive (généralement autour de 2). Même s'il existe d'autres rivières dont le rapport Sr/Ca correspond, l'hypothèse la plus probable pour ce poisson pris dans la Nive est qu'il se soit développé dans la Nive avant sa capture. Le gave de Marcadau par exemple, possède une signature en Strontium très similaire, mais il est très peu probable que ce poisson pris dans la Nive se soit développé dans les Hautes Pyrénées, bien que les phénomènes d'errance existent après le passage en mer.

A partir de 2500 microns du transect laser, on remarque deux pics de Strontium : les valeurs élevées du rapport Sr/Ca (autour de 7) correspondent à l'incorporation en milieu marin : ce poisson est une truite de mer, qui après le retour en rivière de son premier passage en mer, est retourné une seconde fois en mer, pour finalement revenir dans la Nive, où elle a été capturée. L'analyse des profils d'autres truites de mer montrent que ce phénomène est très peu fréquent. On peut parfois le retrouver chez le saumon, certains individus ne meurent pas après la fraie et peuvent retourner (une ou plusieurs fois) en mer pour revenir pondre l'année suivante.

Concernant le rapport Ba/Ca (Figure 18), on remarque un premier pic en zone centrale (0 à 1000 microns). Ce phénomène n'est pas lié à l'environnement. La zone centrale de

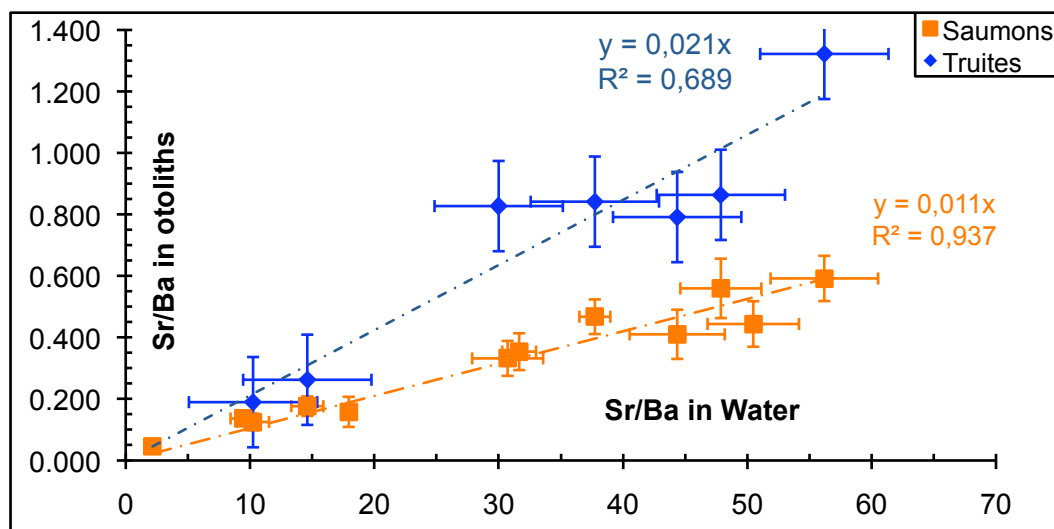


Figure 15 : Rapport Sr/Ba dans l'otolithe en fonction de ce rapport dans l'eau, chez la truite et chez le saumon

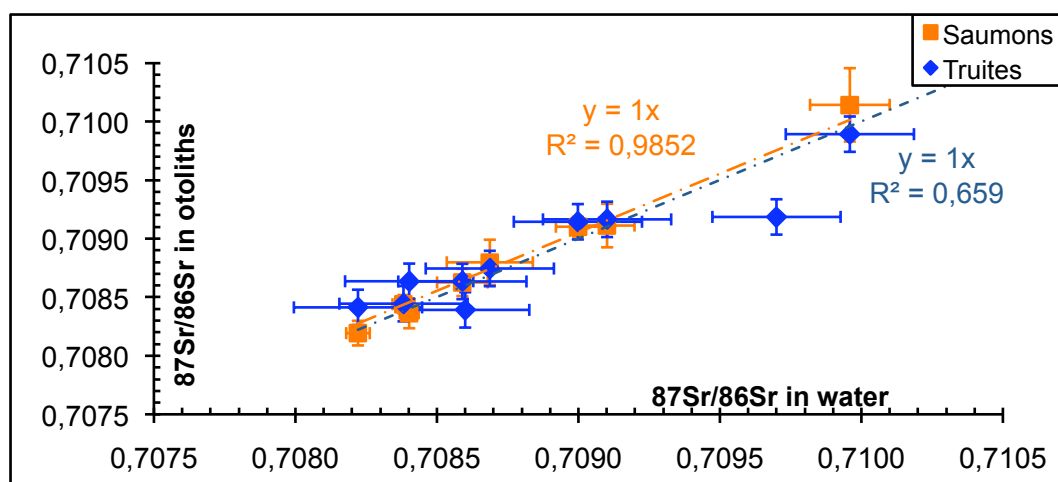


Figure 16 : Rapport ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr dans l'otolithe en fonction de ce rapport dans l'eau, chez la truite et chez le saumon

l'otolithe correspondant à l'incorporation lors des phases juvéniles, il s'agit en fait de l'influence maternelle : on retrouve la signature du sac vitellin car l'alevin se nourrit uniquement dessus, ce sac provient de la mère. Il y a donc un fort effet sur l'incorporation de Baryum dans l'otolithe lié à la physiologie. Ensuite de 1 à 2,5mm de transect, il est d'environ 10 ; un tel rapport coïncide avec celui correspondant à la Nive. Enfin, à partir de 2,5mm, le Barium connaît deux chutes (où il est quasi-absent), correspondant aux deux pics de Strontium, c'est à dire aux deux passages en mer.

Pour le rapport $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ (Figure 19), On remarque, comme pour le Baryum, un pic lié à l'influence maternelle sur le début du profil (jusqu'à 500 microns). Ce rapport se stabilise alors jusqu'au bord de l'otolithe : les passages en mer ne sont pas révélés par l'étude du rapport isotopique du Strontium car celui-ci est très proche dans la mer et dans la Nive, c'est à dire autour de 0,709.

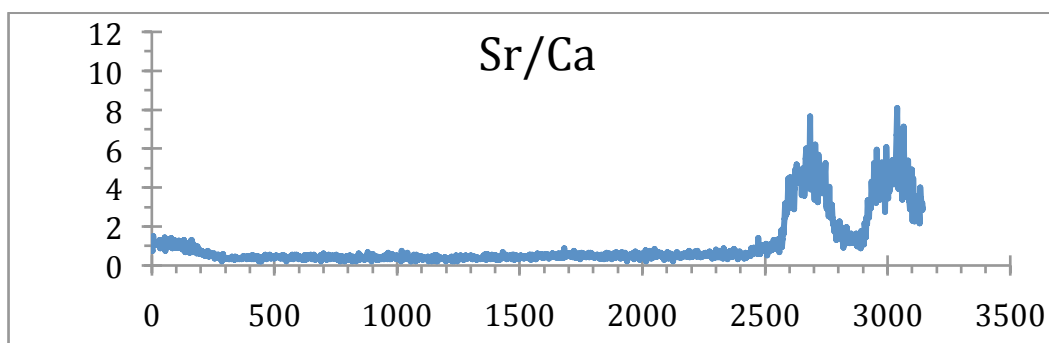


Figure 17 : Rapport Sr/Ca dans l'otolithe de la truite de mer

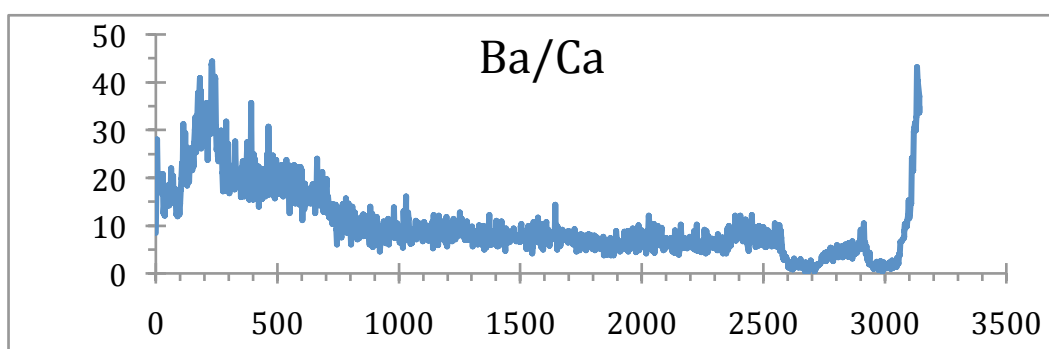


Figure 18 : Rapport Ba/Ca dans l'otolithe de la truite de mer

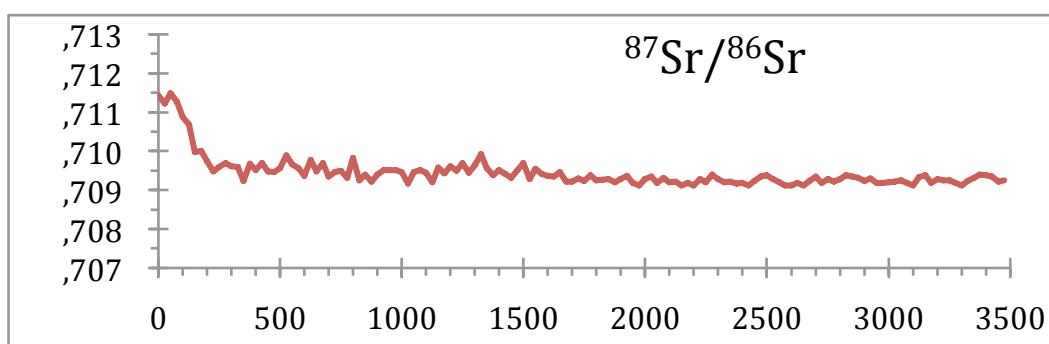


Figure 19 : Rapport isotopique du Strontium dans l'otolithe de la truite de mer

Conclusion

L'otolithe est un outil permettant de renseigner sur l'histoire de vie des poissons téléostéens. Elle est grâce à cela utilisée à des fins environnementales, notamment dans la gestion des ressources piscicoles.

En pratique, l'otolithe permet de relier un individu à un environnement, cependant, afin de pouvoir utiliser cet outil, il est nécessaire que la géochimie de l'eau reste stable pour chaque rivière car la concentration en éléments traces de l'otolithe dépend de leur concentration dans l'eau. De plus, les éléments étudiés sont incorporés différemment selon l'espèce car les mécanismes physiologiques ne sont pas les mêmes selon qu'il s'agisse d'une truite ou d'un saumon par exemple. Ainsi, pour un poisson, il est possible grâce aux analyses microchimiques de l'eau et de l'otolithe, de déterminer son histoire de vie : connaître avec une certaine précision les conditions lors de sa naissance (notamment la provenance de sa mère), les déplacements qu'il a effectués d'un cours d'eau à un autre, et enfin quelles sont les zones de grossissement et de fraie, donc éventuellement les zones pour lesquelles il est nécessaire de faciliter l'accès, ou qu'il faut protéger en priorité. De plus, il est possible de déterminer l'âge grâce aux cernes annuelles, il est donc possible de savoir combien de temps un poisson a passé dans un environnement. Cet aspect se révèle très important, notamment lorsque l'on étudie les saumons de retour : on peut notamment savoir combien de temps ils ont mis pour dévaler et combien de temps passé en mer. L'otolithe est donc une source très importante de renseignements sur les comportements migratoires.

Les ressources piscicoles étant, notamment dans le bassin versant de l'Adour, en net déclin, il est nécessaire de mettre en place des mesures de pérennisation afin d'éviter la disparition de certaines espèces. La géochimie de l'otolithe permet de renseigner sur les histoires de vie d'individus. Connaître les déplacements, les zones de reproduction, de grossissement des poissons, sont des données très importantes et indispensables pour appliquer des mesures de gestion cohérentes.

Enfin, l'otolithe, pour être utilisée, nécessite le sacrifice du poisson. Or, dans certains cas, notamment pour des cours d'eau à faible densité comme le gave d'Oloron, il serait

préférable de pouvoir utiliser un outil permettant de ne pas tuer le poisson. L'étude des rayons de nageoire est envisageable.

Bilan personnel

Ce stage a été pour moi une expérience très enrichissante. Notamment en tant que passionné de pêche à la truite sur les Gaves pyrénéens, je me suis senti très concerné et passionné par la thématique développée lors de ces trois mois. En effet, je suis conscient qu'il est nécessaire de mettre en place des mesures de protection appropriées pour ces rivières, et la découverte pour moi de l'otolithe en tant qu'outil de chimie analytique appliqué à la gestion de l'environnement m'a beaucoup intéressé.

De plus, ce stage m'a permis de découvrir le monde de la recherche dans de très bonnes conditions. J'ai notamment pu mettre en pratique ce que j'ai appris lors de ma formation, en particulier ce qui concerne les manipulations, les dilutions d'eaux, l'utilisation du matériel (microscopes, ICP...). J'ai aussi été très intéressé par le fait que ce métier nécessite une approche sur le terrain, notamment dans le cadre d'échantillonnages d'eau, de rencontres avec les pêcheurs professionnels de l'Adour, et avec les pêcheurs amateurs qui se font généralement un plaisir de nous offrir les otolithes de leurs captures (en particulier saumons et truites mais aussi d'aloses). D'un point de vue professionnel, j'ai aussi pu découvrir en quoi consistait le métier de chercheur, et voir comment ce métier s'insère dans une logique de collaboration avec des projets conduits par d'autres organismes (Agence de l'eau, Onema, Irstea, fédérations de pêche etc...).

Le bilan de ce stage est pour moi très positif, et je compte continuer à participer aux projets sur lesquels j'ai travaillé, notamment en mobilisant les pêcheurs amateurs pour qu'ils réservent les têtes de leurs captures à ces travaux, et en prélevant de l'eau ainsi que des truites et des aloses lors de mes futures parties de pêche sur les rivières concernées.

Références bibliographiques

Publications :

MARTIN J. *Développement de la microchimie élémentaire et isotopique (^{87}Sr : ^{86}Sr) des otolithes de saumons Atlantique : évaluation du potentiel pour un appui à la gestion piscicole dans le bassin de l'Adour*. Thèse de Doctorat, UPPA, 2012

- LOCHET A. *Devalaison des juveniles de tactiques gagnantes chez la grande Alose *Alosa alosa* et l'Alose feinte *Alosa fallax**. Thèse présentée à l'université de Bordeaux 1. (2006).

- TABOURET H. *Recherche des marqueurs d'exposition aux contaminants et de fréquentation des habitats chez l'anguille *Anguilla anguilla* de l'estuaire de l'Adour : de la réponse moléculaire à la microchimie de l'otolithe*. Thèse de Doctorat, spécialité Environnement et Matériaux, Université de Pau et des Pays de l'Adour, Pau, France, 334pp.

- PANELLA G, *Fish otolith: daily growth layers and periodical patterns*. Science 173:1125- 1125,(1971).

- CAMPANA Se, *Otolith science entering the 21st century*. Mar freshw Res 56:485-495, (2005).

- BROWN, R.J, SEVERIN, K.P. 2009. *Otolith chemistry analyses indicate that water Sr:Ca is the primary factor influencing otolith Sr:Ca for freshwater and diadromous fish but not for marine fish*. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 66, 1790-1808.

Ressources internet :

- CONSERVATOIRE NATIONAL du saumon sauvage, Le cycle de vie du saumon, <http://www.saumon-sauvage.org/le-cycle-de-vie-du-saumon>

- VISSUZAINNE Laurent, Des milliers d'alevins de saumons dans le gave, Journal La République des Pyrénées, 16/04/2010
<http://www.larepubliquedespyrenees.fr/2010/04/16/des-milliers-d-alevins-de-saumons-dans-le-gave,131728.php>

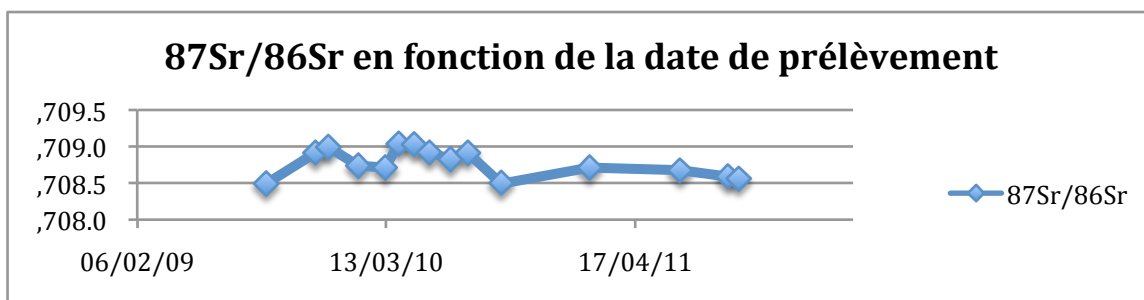
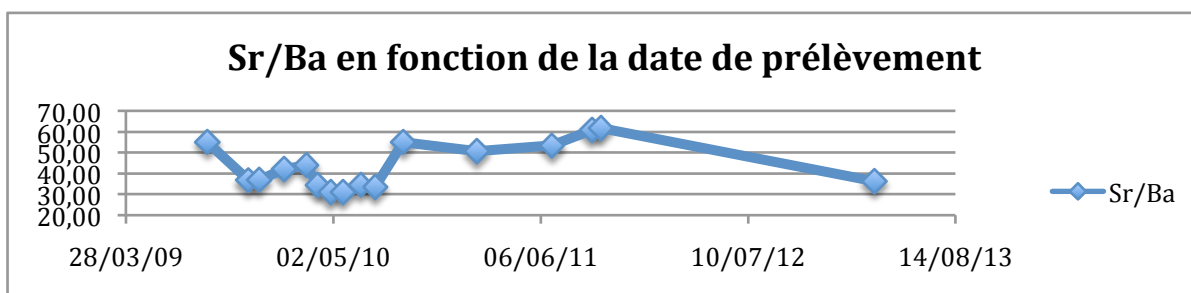
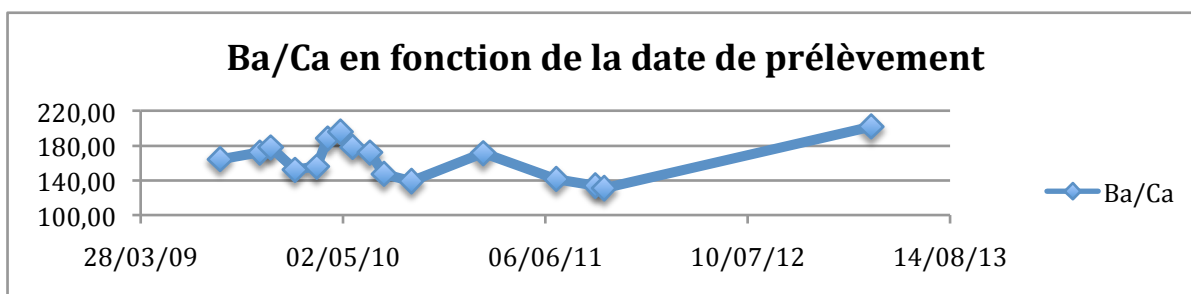
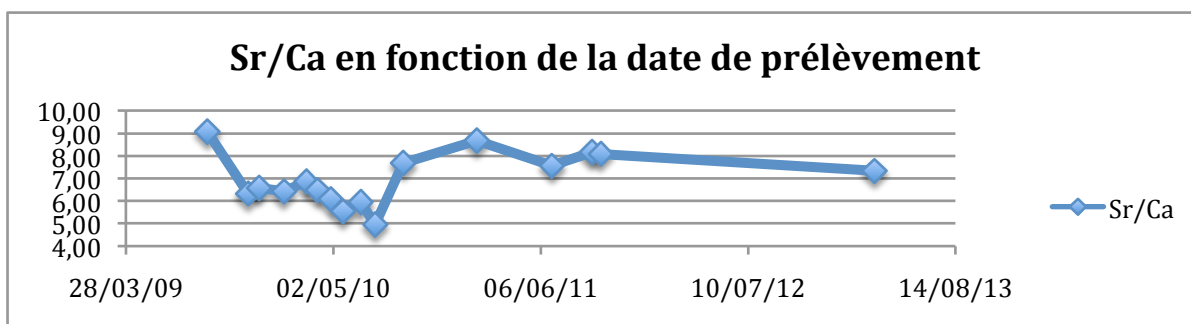
- INSTITUTION Adour, Le bassin Versant de l'Adour, Etude monographique des fleuves et grandes rivières de France, Décembre 2003.
<http://www.eptb.asso.fr/documentation-1/etude-monographique/adour.pdf>

- PETITE CAMARGUE ALSACIENNE, Cycle de vie naturelle du saumon atlantique, http://www.petitecamarguealsacienne.com/web/index.php?option=com_content&view=article&id=9&Itemid=16&lang=fr

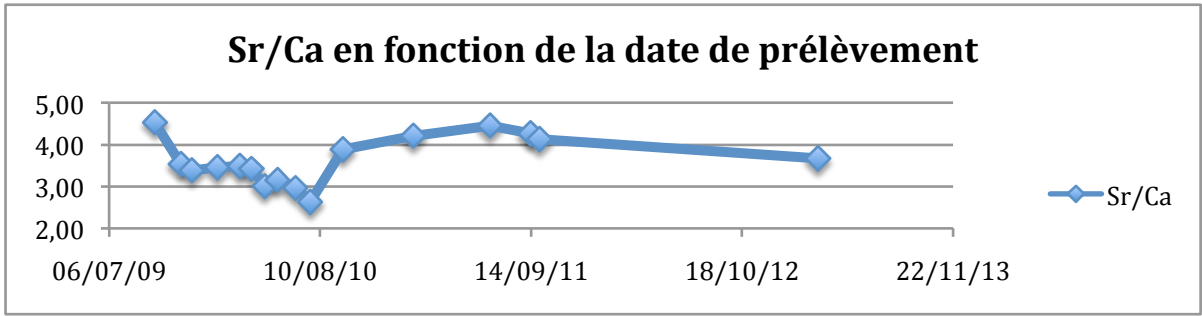
- Musée Canadien de la Nature, Vidéo : Le cycle de vie du saumon, 2011,http://nature.ca/explore/di-ef/wstr_video2_f.cfm

- Département de Géologie, Ecole des mines de Saint Etienne, Notes sur l'analyse par spectrométrie d'émission atomique à source plasma, <http://www.emse.fr/~moutte/ecole/chromato/lcpAesIntroduction.pdf>

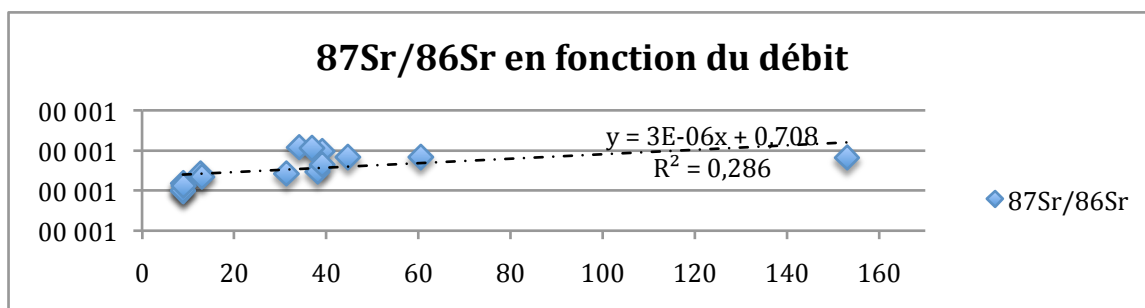
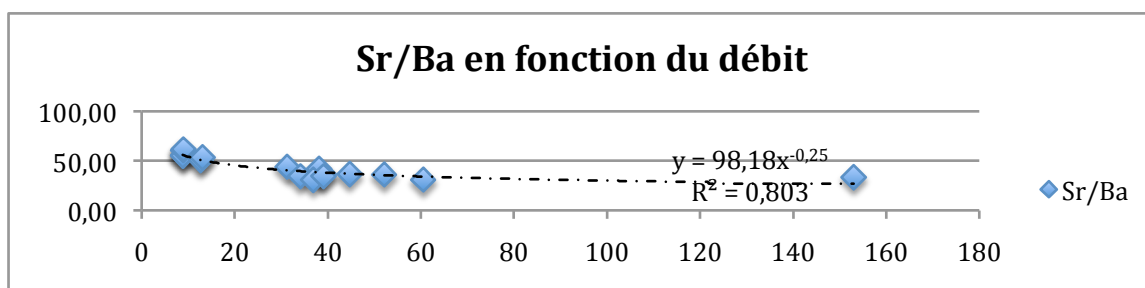
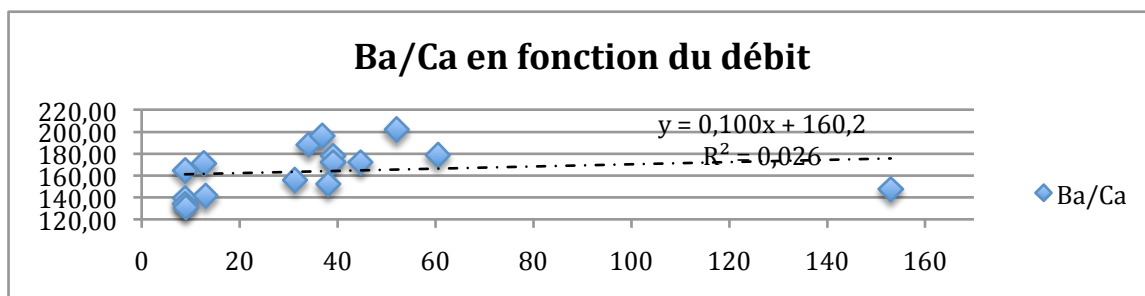
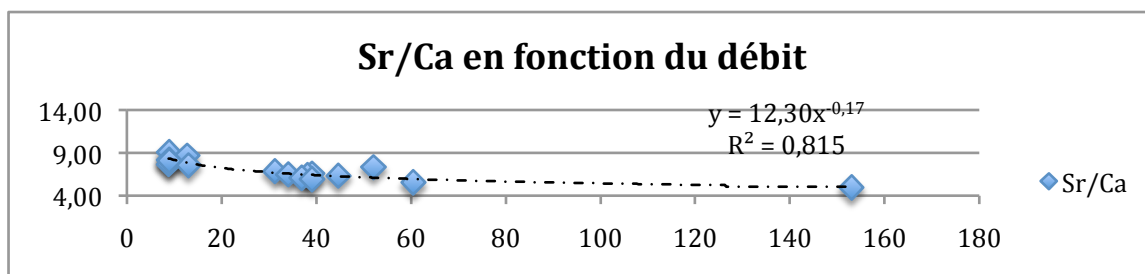
Annexe 1A : Signatures géochimique du gave d'Aspe à Gurmençon, en fonction de la date de prélèvement



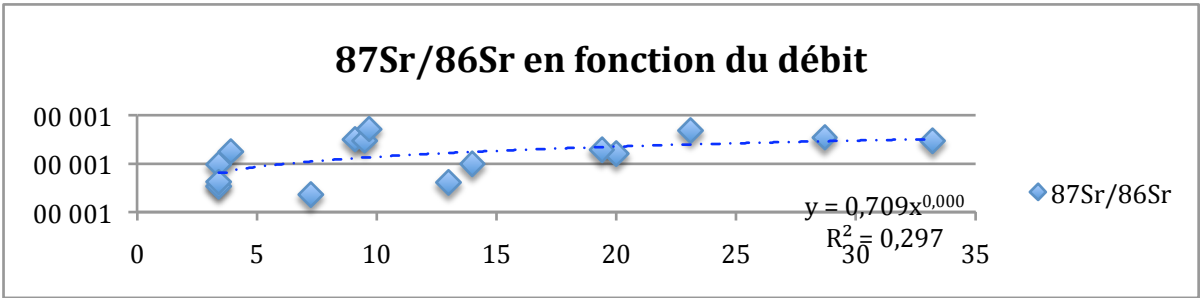
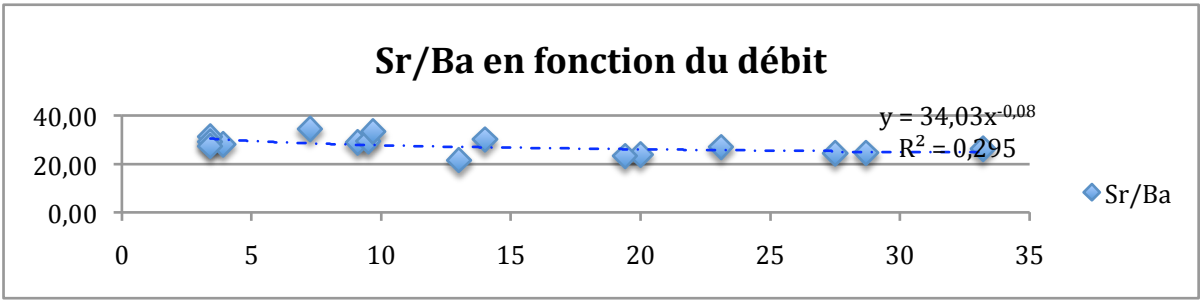
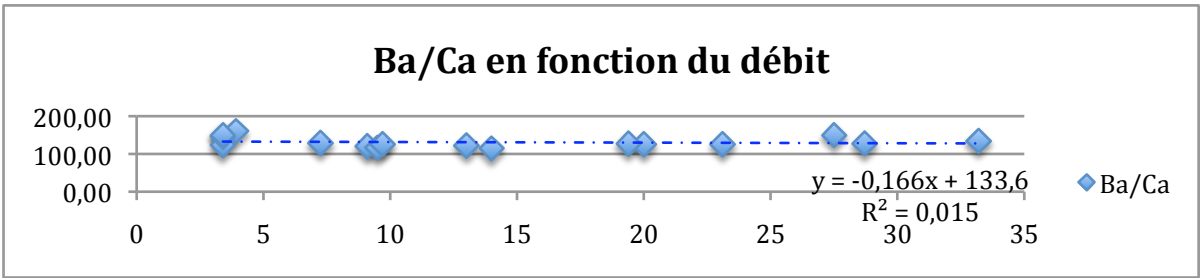
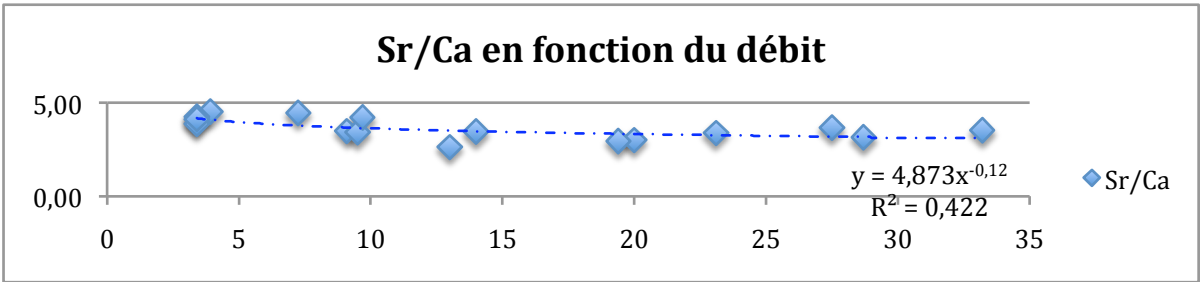
Annexe 1B : Signature géochimique du gave d'Ossau à Louvie Juzon, en fonction de la date de prélèvement



Annexe 2A : Signature géochimique du gave d'Aspe à Gurmençon, en fonction du débit



Annexe 2B : Signature géochimique du gave d'Ossau à Louvie Juzon, en fonction du débit



Annexe 3 : Tableau des données brutes concernant les gaves d'Oloron, Ossau et Aspe

3A : Gave d'Oloron

Date	Sr/Ca	Ba/Ca	Sr/Ba	87Sr/86Sr	Débit
25/08/09	6,67	160,30	41,62	0,7086	15,3
19/11/09	4,96	151,82	32,67	0,7091	77,9
10/12/09	5,29	162,31	32,57	0,7091	62,2
27/01/10	5,15	142,46	36,15	0,7088	52,1
11/03/10	5,25	139,29	37,71	0,7090	40,4
02/04/10	5,17	160,53	32,21	0,7091	43,6
27/04/10	5,05	174,72	28,88	0,7091	56,9
21/05/10	4,57	161,95	28,22	0,7091	89,2
24/06/10	4,91	154,21	31,84	0,7090	58,5
22/07/10	4,05	139,53	28,99	0,7089	166
21/09/10	6,18	131,84	46,88	0,7086	12,7
03/02/11	6,79	165,75	40,99	0,7089	22,4
28/06/11	6,43	160,15	40,18	0,7088	20,3
13/09/11	6,71	140,50	47,75	0,7086	12,3
30/09/11	6,65	136,48	48,72	0,7086	12,4
11/03/13	6,89	226,24	30,45		79,6

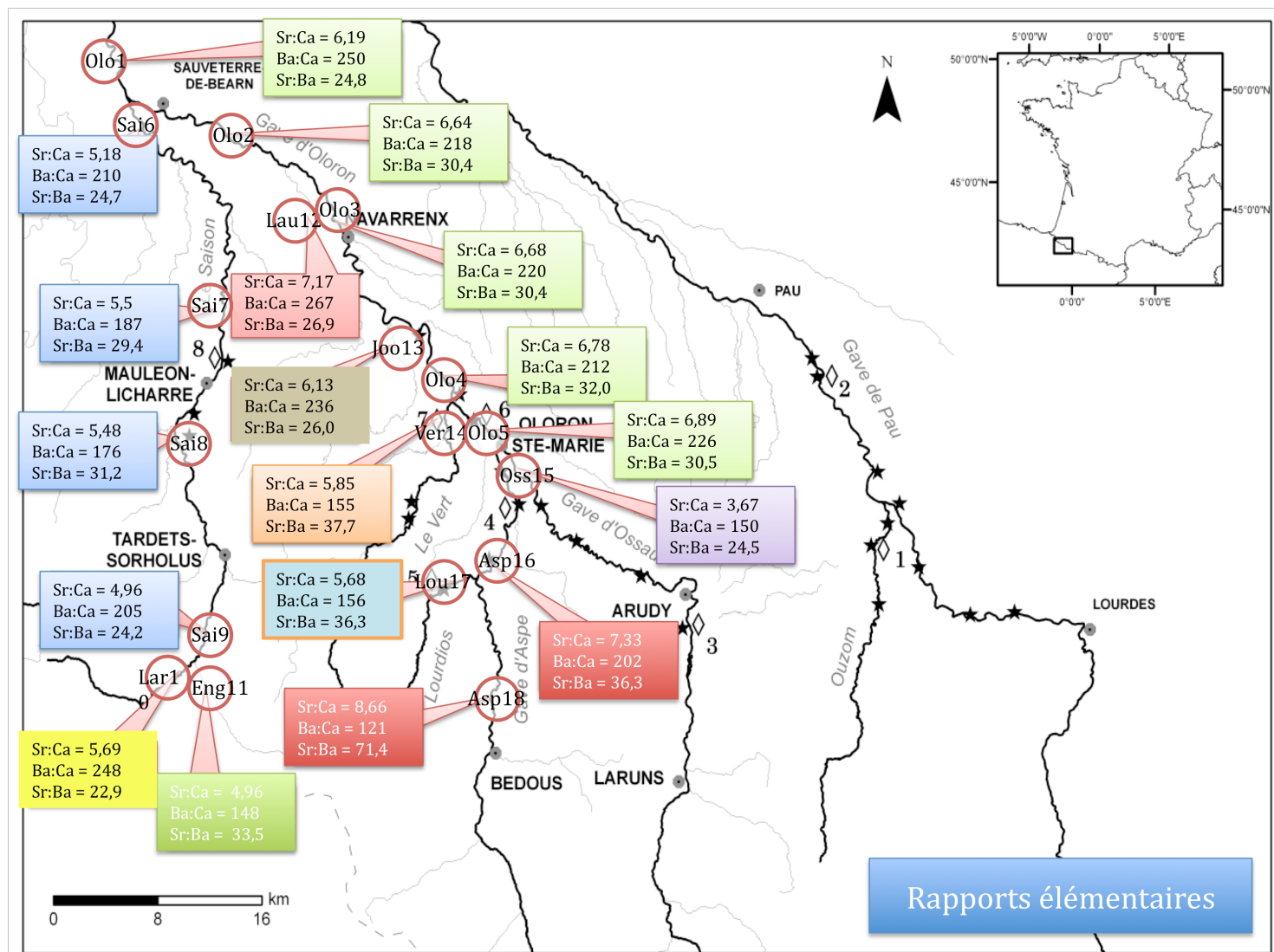
3B : Gave d'Ossau

Date	Sr/Ca	Ba/Ca	Sr/Ba	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Débit
01/10/09	4,54	160,75	28,23	0,7096	3,91
19/11/09	3,54	134,71	26,30	0,7097	33,2
10/12/09	3,39	125,55	26,98	0,7098	23,1
27/01/10	3,46	114,81	30,16	0,7095	14
11/03/10	3,49	120,25	29,03	0,7098	9,1
02/04/10	3,42	116,56	29,37	0,7097	9,5
27/04/10	3,01	125,51	23,99	0,7096	20
21/05/10	3,16	128,28	24,62	0,7098	28,7
24/06/10	2,96	127,11	23,32	0,7096	19,4
22/07/10	2,64	121,96	21,61	0,7093	13
22/09/10	3,89	123,78	31,39	0,7095	3,4
03/02/11	4,22	126,19	33,41	0,7099	9,69
28/06/11	4,46	129,26	34,51	0,7092	7,25
13/09/11	4,27	145,72	29,30	0,7093	3,4
30/09/11	4,13	150,41	27,48	0,7093	3,4
11/03/13	3,67	150	24,5		27,5

3C : Gave d'Aspe

Date	Sr/Ca	Ba/Ca	Sr/Ba	87Sr/86Sr	Débit
01/09/09	9,08	164,52	55,18	0,7085	8,9
19/11/09	6,33	172,05	36,78	0,7089	44,7
10/12/09	6,58	177,85	36,98	0,7090	39,1
27/01/10	6,42	152,13	42,20	0,7087	38,1
11/03/10	6,87	155,72	44,10	0,7087	31,3
02/04/10	6,48	188,20	34,44	0,7090	34,1
27/04/10	6,08	196,08	31,03	0,7090	36,9
21/05/10	5,55	178,55	31,06	0,7089	60,5
24/06/10	5,94	171,98	34,56	0,7088	39,1
22/07/10	4,95	147,43	33,59	0,7089	153
14/09/10	7,68	139,22	55,18	0,7085	8,86
03/02/11	8,68	171,21	50,70	0,7087	12,71
28/06/11	7,56	141,55	53,41	0,7087	13,05
13/09/11	8,16	133,96	60,93	0,7086	8,9
30/09/11	8,09	130,94	61,76	0,7086	9
11/03/13	7,33	202	36,3		52,1

Annexe 4 : Carte des rapports élémentaires obtenue suite aux prélèvements réalisés en Mars 2013



Annexe 5 : Tableau de synthèse chimie des eaux - chimie des otolithes

	Eau			
Rivière	Sr/Ca	Ba/Ca	Sr/Ba	87Sr/86Sr
Aspe amont	6,50	180,00	30,00	0,7097
Aspe aval	8,21	146,90	56,19	0,7086
Lourdios	6,66	139,79	47,87	0,7082
Gave d'Oloron	6,57	149,17	44,36	0,7087
Ouzom	3,85	264,24	14,61	0,7090
Gave de Pau	3,67	361,66	10,24	0,7100
Verts	5,40	143,27	37,74	0,7084

	Otolithe							
	Truites				Saumons			
Rivière	Sr/Ca	Ba/Ca	Sr/Ba	87Sr/86Sr	Sr/Ca	Ba/Ca	Sr/Ba	87Sr/86Sr
Aspe amont	1,79	2,17	0,8271	0,7092				
Aspe aval	2,53	2,01	1,2593	0,7086	2,07	3,77	591,87	0,7086
Lourdios	1,56	1,81	0,8637	0,7084	1,57	3,02	559,52	0,7082
Gave d'Oloron	1,75	2,21	0,7914	0,7087	1,62	4,42	410,13	0,7088
Ouzom	0,98	3,73	0,2624	0,7091	0,96	5,90	176,54	0,7091
Gave de Pau	1,06	5,56	0,1897	0,7099	0,94	7,98	125,17	0,7101
Verts	1,65	1,96	0,8415	0,7084	1,47	3,30	467,38	0,7084

Annexe 6 : Tableau des tâches et calendrier de stage

Tableau des tâches

	Idée originale	Bibliographie	Mise en place du protocole	Collecte de données	Analyse des données	Rédaction
Intervenant principal	Maitre de stage	Stagiaire	Maitre de stage	Stagiaire	Stagiaire	Stagiaire
Intervenants secondaires		Maitre de stage	Stagiaire	Maitre de stage	Maitre de stage	

Calendrier de stage

[illegible]

Résumé

L'otolithe est une concrétion calcaire de l'oreille interne. Elle agit comme une véritable "archive biologique et environnementale" des poissons osseux car les éléments chimiques qui y sont déposés n'ont pas d'activité métabolique après leur dépôt, et ne sont pas susceptibles de résorption. De plus, l'environnement physique et chimique influe sur le taux d'incorporation des éléments-traces à la surface de l'otolithe en croissance. Ainsi, grâce à l'accroissement journalier de sa structure, l'otolithe enregistre la signature géochimiques des masses d'eaux parcourues par le poisson tout au long de sa vie. Il est donc possible, grâce à leur étude, de reconstituer le parcours réalisé par des poissons migrateurs au cours de leur cycle biologique.

Le présent rapport traite de différents aspects de l'étude des otolithes, dans une thématique de pérennisation de la ressource dans le bassin versant de l'Adour, en se concentrant sur les salmonidés (truites et saumons).

Afin de pouvoir être utilisée pour retracer l'histoire de vie du poisson, plusieurs aspects doivent être pris en compte, notamment la stabilité de la signature géochimique de la rivière et la manière de laquelle l'espèce étudiée incorpore les différents éléments dans l'otolithe. Grâce aux informations qu'elle permet d'obtenir, l'otolithe est utilisé en tant qu'outil de gestion des ressources piscicoles.

Mots clés :

Otolithe, Salmonidés, Signature géochimique, Eléments traces, Adour, Pérennisation des ressources