

## Table des Matières

Remerciements.....	ii
Résumé.....	iii
Table des Matières.....	iv
Liste des Tableaux.....	vi
Liste des Figures.....	vii
Introduction.....	1
Problématique.....	10
Matériel et méthodes.....	12
Capture des individus.....	12
Lecture d'âge.....	15
Étude physiologique et enzymatique.....	16
Étude des conditions du milieu.....	16
Analyses statistiques.....	17
Résultats.....	19
1. Variables physiologiques chez les ombles de fontaine capturés dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia.....	19
2. Taille de la population estuarienne d'omble de fontaine par une technique de marquage recapture.....	25
3. Conditions environnementales dans la zone de pêche de l'estuaire de la Petite Cascapédia.....	25

4. Pression de pêche et structure démographique de la population d'omble de fontaine anadrome dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia .....	28
5. Croissance en fonction de l'âge à la première migration de la population estuarienne d'omble de fontaine de la rivière Petite Caspédia .....	34
Discussion .....	37
1. Adaptation physiologique des ombles de fontaine capturés dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia .....	37
2. Structure démographique de la population d'omble de fontaine anadrome exploitée par la pêche sportive dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia.....	42
Références.....	49
Annexe 1 .....	67

## Liste des Tableaux

Tableau 1. Période d'échantillonnage et moyennes des poids et longueurs des ombles de fontaine capturés dans la rivière Petite Cascapédia. ....	19
Tableau 2. Estimation des différents paramètres caractérisant la pression de pêche exercée sur la population d'omble de fontaine de la rivière Petite Cascapédia. ....	29
Tableau 3. Sexe-ratio entre les différentes classes d'âge chez la population d'omble de fontaine dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia. ....	31
Tableau 4. Sexe-ratio selon l'âge à la première dévalaison chez l'omble de fontaine. ....	36

## Liste des Figures

- Figure 1. Carte géographique de la rivière Petite Caspédia indiquant les différentes zones d'échantillonnage. ....13
- Figure 2. Variation estivale du niveau de l'osmolalité plasmatique chez les juvéniles d'omble de fontaine anadrome de la rivière Petite Caspédia capturés en estuaire. ....20
- Figure 3. Variation estivale de la concentration de cortisol plasmatique. .... 21
- Figure 4. Variation estivale de l'activité  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPasique branchiale spécifique (a) et absolue (b). ....23
- Figure 5. Variation estivale de la concentration de thyroxine plasmatique. .... 24
- Figure 6. Température estivale de l'eau dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia à trois sites d'échantillonnage différents à marée haute et basse. .... 26
- Figure 7. Mesure de salinité dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia à trois différentes zones d'échantillonnage à marée basse et marée haute. ....27
- Figure 8. Nombre moyen de captures par heure par la pêche sportive sur la population d'omble de fontaine anadrome dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia au cours de l'été. ....29
- Figure 9. Distribution des classes de longueur des animaux capturés dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia au cours de l'été. ....32

Figure 10. Fréquence des classes d'âge des ombles de fontaine anadromes capturés par la pêche sportive dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia au cours de l'été. ....	33
Figure 11. Rétrocalcul des longueurs à 1 an (a) et 2 ans (b) en fonction de l'âge à la première migration. ....	35

## Introduction

Les salmonidés possèdent une particularité peu répandue chez les téléostéens, ils font partie du 5% d'espèces amphihalines que contient cet ordre (Evans, 1984). Le phénomène d'anadromie est retrouvé chez la majorité des espèces de salmonidés mais diffère beaucoup entre les espèces (McCormick, 1994). L'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) est reconnu comme l'une des espèces de salmonidés exhibant le phénomène d'anadromie le moins prononcé et considérée primitive comparativement aux genres *Salmo* et *Oncorhynchus* en raison de sa migration limitée aux abords des rivières d'origine (Hoar, 1976; Power, 1980; Curry *et al.*, 2006). Cette vision doit par contre être repensée en termes d'une très grande plasticité exhibée par l'omble de fontaine, cette espèce pouvant effectuer de nombreux aller-retour entre l'eau douce et l'eau salée (Castonguay *et al.*, 1982; Curry *et al.*, 2002; Lenormand *et al.*, 2004) et migrer en eau salée à différentes périodes du printemps et début d'été (Curry *et al.*, 2006) en autant que la salinité n'excède pas 32 ‰, niveau de salinité qui correspondrait à sa limite de tolérance face à facteur environnemental (voir Claireaux et Audet, 2000).

À l'heure actuelle, les études réalisées ont permis de démontrer qu'il pouvait exister deux écotypes (anadrome et résident) de l'omble de fontaine à l'intérieur d'une même population (Castonguay *et al.*, 1982; Jonsson et Jonsson, 1993, Janssoone, 2002). Le groupe dit résident regroupe les individus qui effectuent tout leur cycle vital en eau douce et les individus appelés anadromes effectuent des migrations trophiques de durée variable en eau salée (Wilder, 1952; Morinville et Rasmussen, 2006). Contrairement aux espèces de

saumons, l'omble de fontaine effectue plusieurs migrations entre l'eau douce et l'eau salée avant de se reproduire et poursuit ce cycle de migrations annuelles une fois la maturité sexuelle atteinte (Randall *et al.*, 1987). Chez l'omble de fontaine, le temps de résidence en eau salée varie selon la latitude et la température (Smith et Saunders, 1958; Dutil et Power, 1980; Curry *et al.*, 2006). Pour notre latitude, le temps de résidence varie entre deux et quatre mois et la plupart des individus immatures retournent en eau douce vers le mois d'août (Castonguay *et al.*, 1982; Naiman *et al.*, 1987; Montgomery *et al.*, 1990; Lenormand *et al.*, 2004; Curry *et al.*, 2006). Peu de réponses ont été fournies pour expliquer la divergence de comportement des individus à l'intérieur d'un groupe qui possède le même bagage génétique. Cette divergence est également remarquée chez d'autres espèces de salmonidés telles l'omble chevalier *Salvelinus alpinus* (McPhail et Lindsey, 1970), le saumon Atlantique (Couturier *et al.*, 1986; Verspoor et Cole, 1989), et la truite brune *Salmo trutta* (Soivio *et al.*, 1989). Les individus anadromes paraissent pré-adaptés à ce transfert de l'eau douce à l'eau de mer par le processus de smoltification. Cependant, même les individus résidents ont gardé la capacité osmorégulatoire en eau salée (Claireaux et Audet, 2000; Hiroi et McCormick, 2007). La smoltification est associée au phénomène d'anadromie et correspond aux transformations physiques, comportementales et physiologiques qui préparent les individus au transfert en eau salée (Fontaine, 1975; Hoar, 1976; Folmar et Dickhoff, 1980; Hoar, 1988; Bœuf, 1987; Nilssen *et al.*, 1997; McCormick *et al.*, 1998, Hutchison et Iwata, 1998). Chez le saumon Atlantique (*Salmo salar*), la smoltification a été largement décrite et les modifications qui y sont associées incluent l'apparition d'une coloration argentée, la disparition du comportement territorial, la transformation du système iono-osmo-régulatoire et l'apparition de la forme adulte de

l'hémoglobine (Bœuf, 1993). Toutefois, l'omble de fontaine est reconnu pour avoir une smoltification peu développée (McCormick *et al.*, 1985; McCormick et Saunders 1987), mais plusieurs études réalisées sur des espèces du genre *Salvelinus* ont montré que la capacité hypo-osmorégulatoire était bien développée (Halvorsen *et al.*, 1993; Nilssen *et al.*, 1997) et que ces espèces montraient des signes de pré-adaptation osmorégulatoire (Arnesen *et al.*, 1992; Claireaux et Audet, 2000). D'importants coûts énergétiques sont associés à la migration en eau salée. Cette migration augmente le risque de mortalités par la prédation ou la maladie en plus d'un nécessaire réarrangement des processus osmo-iono-régulateurs tel que mentionné précédemment (Jonsson et Jonsson, 1993, Lenormand *et al.*, 2004). Si l'on regarde ce phénomène en fonction de leur aptitude phénotypique, la totalité des coûts engendrés par l'anadromie doit être surpassée par l'ensemble des avantages sinon ce phénomène ne se serait pas perpétué à travers l'évolution (Gross, 1987). Ce conflit du choix d'une stratégie de vie pour augmenter son aptitude phénotypique entre les deux formes à l'intérieur d'une même population a déjà été évoqué (Thorpe *et al.*, 1998; Rogers et Curry 2004). Le milieu marin fournit une abondance de nourriture qui permet aux individus d'augmenter leur croissance ainsi que leurs chances de se reproduire (Whoriskey *et al.*, 1981; Gross *et al.*, 1988; Hutchings, 1996; Dodson, 1997, Morinville et Rasmussen, 2006), puisque chez les femelles, la fécondité augmente avec la taille (Van der Berghe et Gross, 1986; Gross, 1987; Dodson, 1997; Blanchfield et Ridgeway, 1999; Perry *et al.*, 2004). Cependant, il faut mentionner que les individus qui possèdent un bon potentiel reproducteur risquent de perdre davantage s'ils sont capturés par un prédateur que ce qu'ils peuvent obtenir grâce à la migration (Clark, 1994) et ce même si les individus de grande taille sont moins à risque vis-à-vis la prédation (Dieperink *et al.*, 2001). Plusieurs

hypothèses ont été émises sur les critères influençant l'âge à la première migration, tels l'atteinte d'une taille critique et le taux de croissance (Folmar et Dickhoff, 1980; Rikardsen *et al.*, 1997; Thériault et Dodson, 2003). Cependant, plusieurs études ont noté la migration de juvéniles d'omble de fontaine à l'âge de 1+ (Thériault et Dodson, 2003; Lenormand *et al.*, 2004). Ces individus de petite taille resteraient dans des zones de plus faible salinité (<16 ‰) afin de s'acclimater à l'eau salée tout en profitant de l'abondance de nourriture présente dans la zone estuarienne pour ensuite se déplacer dans des zones à plus forte salinité (<25 ‰) (Montgomery *et al.*, 1990; Lenormand *et al.*, 2004; Morinville et Rasmussen, 2006). L'âge à la première migration varie donc entre un et sept ans tout dépendamment des facteurs abiotiques et biotiques telles la latitude, la salinité de l'estuaire, la productivité du milieu, la compétition inter et intra-spécifique et l'intensité de prédation (Randall *et al.*, 1987, Lenormand *et al.*, 2004).

L'étude des mouvements migratoires de toute une population anadrome nécessite souvent beaucoup d'efforts pour suivre de près le déplacement migratoire de plusieurs individus en même temps tout en mesurant la croissance de ces individus en estuaire. En utilisant la technique de lecture d'âge à partir d'otolithes ainsi que les mesures de la longueur rétrocalculée des individus, on peut établir un patron général de migration de la population anadrome et refaire l'historique des conditions environnementales sur quelques années (Elsdon et Gillanders, 2005). Cette technique permet de tenter d'évaluer la relation entre l'atteinte d'une certaine taille et l'âge à la première migration (Thériault et Dodson, 2003). Peu d'études ont comparé les mesures rétrocalculées pour tenter d'étudier l'effet de la

migration sur la croissance annuelle (Rikardsen et Elliott, 2000; Thériault et Dodson, 2003).

Cependant, lorsque l'on veut effectuer une caractérisation plus approfondie du mouvement migratoire d'une population, la technique de capture-marquage et recapture est très efficace et répandue. Cette technique fut utilisée pour la première fois en 1896 dans une optique d'aide aux pêcheries (Ricker, 1975) et elle permet de produire une bonne évaluation de la taille d'une population. Plusieurs modèles furent développés pour calculer la taille d'une population à partir des données de recapture, mais le meilleur modèle à utiliser pour une population dite ouverte est le modèle de Jolly-Seber (Krebs, 1999). Une population est ouverte lorsque sa taille et sa composition ne sont pas fixes en raison de mortalités, de naissances ou de mouvements migratoires comme dans un estuaire. Une population de poissons vivant dans un lac peut être qualifiée de fermée.

Chez plusieurs espèces de poissons qui présentent les deux formes d'écotypes comme l'omble de fontaine, on observe un biais du sexe-ratio en faveur des femelles chez le groupe migrant (Jonsson et Jonsson, 1993). L'atteinte d'une grande taille plus rapidement permet à ces femelles d'améliorer leurs chances de se reproduire, d'augmenter leur fécondité ainsi que la survie de leur progéniture (Holtby et Healey, 1990; Morita et Takashima, 1998; Perry *et al.*, 2005). L'effet de la taille sur le choix de la stratégie de vie adoptée et le débalancement du sexe-ratio en faveur des femelles chez certains salmonidés anadromes tels que l'omble de fontaine, l'omble chevalier ont été bien documentés (Svenning *et al.*, 1992; Rikardsen *et al.*, 1997, Thériault et Dodson, 2003).

Chez les salmonidés, tout le processus de smoltification semble être sous le contrôle d'un cycle endogène qui est synchronisé par des facteurs externes comme la photopériode et la température de l'eau (Hoar, 1988; Jorgensen et Arnesen, 2002). Cette étape de leur cycle vital est très importante puisque les individus mal adaptés pour le transfert en mer vont mourir. En effet, il semblerait que les jeunes migrants d'omble de fontaine de la rivière Petite Cascapédia aient un taux de mortalité naturelle très élevé soit près de 90% (Dodson, comm. pers.). Lavallée (2004) a également émise l'hypothèse que la capacité de pré-adaptation augmentait avec l'âge chez l'omble de fontaine.

Lors du transfert en eau salée, l'intensité du déséquilibre osmotique peut être un bon indicateur du niveau de smoltification ou de la capacité d'acclimatation de l'individu. Des études ont démontré que des ombles de fontaine possédaient de meilleures performances osmotiques au printemps qu'en automne ou à l'hiver et qu'ils possédaient une bonne capacité hypo-osmorégulatoire (Audet et Claireaux, 1992; Boula *et al.*, 2002; Janssoone, 2002). Le cortisol est également un bon indicateur de stress pour évaluer le potentiel d'adaptation au transfert en eau salée (Claireaux et Audet, 2000; McCormick, 2001; Hiroi et McCormick, 2007). L'une des fonctions physiologiques fortement influencée par le transfert en eau salée est l'osmorégulation. Chez les poissons téléostéens, l'osmolalité normale du sang se maintient entre 290-340 mOsmol/Kg. Ainsi, dépendamment du milieu dans lequel les individus se trouvent, ils seront soit hypotoniques (concentration ionique du sang inférieure à celle du milieu) soit hypertoniques (concentration ionique du sang supérieure à celle du milieu) (McCormick et Saunders, 1987). En eau douce, les poissons

sont hypertoniques par rapport au milieu ( $< 0,1$  mOsmol/Kg) (Evans, 1998). Les individus doivent donc utiliser des mécanismes osmo-iono-régulateurs afin de contrer la perte d'ions par diffusion et l'entrée d'eau par osmose. Ainsi, ces poissons produisent en grande quantité une urine très diluée afin de maintenir l'équilibre osmotique (Hoar, 1988; Bœuf, 1993; McCormick, 2001). La perte d'ions est compensée à travers l'alimentation et par l'absorption à travers les branchies. En eau salée la situation est inversée, le sang des poissons est hypotonique par rapport au milieu ( $1000$  mOsmol  $\text{Kg}^{-1}$ ), ils ont donc tendance à se déshydrater par osmose. Pour contrer cette déshydratation, les poissons doivent boire beaucoup d'eau et excréter le surplus d'ions monovalents par les branchies et les ions divalents par les reins en produisant une urine très concentrée (McCormick, 2001). En conséquence, le transfert de l'eau douce vers l'eau salée nécessite une complète restructuration des mécanismes osmorégulateurs. Toute cette restructuration s'effectue dans les branchies, principal lieu d'échanges ioniques avec le milieu externe (Karnaky, 1980; Bœuf, 1993), et dans le tractus digestif et urinaire (McCormick, 2001). En effet, on retrouve dans les branchies une enzyme, la  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase branchiale, qui se situe en grande concentration à l'intérieur des cellules à chlorure et qui excrète les ions monovalents sodium ( $\text{Na}^+$ ) et chlore ( $\text{Cl}^-$ ) (Foskett et Scheffey, 1982; Langdon et Thorpe, 1984; Marshall et Bryson, 1998; McCormick, 2001; Janssoone, 2002). Cette enzyme est située basolatéralement dans la cellule et excrète trois ions  $\text{Na}^+$  vers l'extérieur de la cellule à l'encontre de leur gradient en échange de deux ions potassium ( $\text{K}^+$ ), d'autres mécanismes servent à évacuer ces ions hors du système. Saunders et Henderson (1978) ainsi que Lasserre *et al.* (1978) ont été parmi les premiers à observer une augmentation printanière de l'activité de la  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase branchiale chez le saumon Atlantique et le

saumon Coho. Cette augmentation printanière a également été observée chez l'omble chevalier où une augmentation d'un facteur quatre de l'activité était mesurée (Jorgensen et Arnesen, 2002; Aas-Hensen *et al.*, 2005). Bœuf et Harache (1982; 1984) ont établi que l'activité de cette enzyme pouvait être un bon indicateur du niveau de préparation au transfert en eau salée. Claireaux et Audet (2000) ont également montré sur des individus domestiques d'omble de fontaine que l'acclimatation au transfert en eau salée était plus rapide au printemps et que l'on retrouvait les meilleures performances osmotiques en mai et juin. Boula *et al.* (2002) ont mesuré de plus fortes valeurs d'activité de la  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase branchiale lors de la dévalaison que lors de la montaison à l'automne chez l'omble de fontaine de la rivière Laval (Qc). Cependant, une étude réalisée sur la rivière Ste-Marguerite par Lavallée (2004), n'a montré aucune différence d'activité enzymatique entre la forme résidente et anadrome chez des juvéniles d'omble de fontaine. Néanmoins, les adultes anadromes de la rivière Petite Cascapédia en Gaspésie, ont montré une forte activité de la  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase branchiale lors de la dévalaison et lors de leur séjour dans l'estuaire en comparaison à celle observée chez les individus résidents de cette rivière (Janssoone, 2002).

Le développement de la capacité hypo-osmorégulatoire est sous contrôle endocrinien, le niveau des différentes hormones impliquées se modifie selon un cycle saisonnier (Audet et Claireaux, 1992; McCormick, 2001). Chez les salmonidés, les variations saisonnières des hormones triiodothyronine ( $\text{T}_3$ ) et thyroxine ( $\text{T}_4$ ) ont été bien étudiées et les élévations des concentrations plasmatiques de ces hormones semblent correspondre avec la période de smoltification (Nishikawa *et al.*, 1979; Dickhoff *et al.*, 1982; Hoar, 1988; Audet et

Claireaux, 1992; Bœuf, 1993; Boula *et al.*, 2002). Les hormones thyroïdiennes jouent un rôle complémentaire dans l'adaptation à l'eau salée (McCormick, 2001). Brown *et al.* (1978) et Leatherland (1982) ont établi que le stress pouvait faire augmenter le niveau de thyroxine plasmatique de façon transitoire chez les salmonidés. Une étude effectuée chez le saumon Coho (*Oncorhynchus kisutch*), a montré une augmentation simultanée de l'activité de la Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase et de la concentration plasmatique de la thyroxine plasmatique (Folmar et Dickhoff, 1981), la même chose a été observée chez le saumon Atlantique (Bœuf et Prunet, 1985). Une étude a montré qu'un traitement prolongé à la T<sub>4</sub> chez le saumon Atlantique augmente l'activité de la Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase dans les branchies (Madsen et Korsgaard, 1989). De plus, l'inhibition de la conversion de T<sub>4</sub> en T<sub>3</sub> empêche l'effet de l'hormone de croissance sur l'adaptation à l'eau salée chez la truite arc-en-ciel (Lebel et Leloup, 1992; Leloup et Lebel, 1993). Cette conversion de la T<sub>4</sub> en T<sub>3</sub> est nécessaire au développement des mécanismes hypo-osmorégulateurs pour le transfert en eau de mer (Lebel et Leloup, 1992). La thyroxine joue également un rôle important dans la préparation du comportement migrateur (Fontaine *et al.*, 1952; Godin *et al.*, 1974; Youngson *et al.*, 1986; Iwata, 1996; Hutchison et Iwata, 1998). En effet chez les salmonidés, la thyroxine semble impliquée dans la diminution du comportement territorial, du développement du phénomène de «homing», de l'apparition de l'aspect argenté et de la transformation de l'hémoglobine en sa forme adulte (Bœuf, 1993; Iwata, 1995; Hutchison et Iwata, 1997; Aas-Hansen *et al.*, 2005). Une étude réalisée sur des juvéniles d'omble de fontaine de la rivière Ste-Marguerite a montré que la concentration plasmatique de T<sub>4</sub> ne variait pas entre les individus résidents et anadromes contrairement à la concentration plasmatique de T<sub>3</sub> qui était plus élevé chez les anadromes (Lavallée, 2004). De plus, les concentrations

plasmatiques de  $T_4$  et  $T_3$  mesurées sur des adultes d'omble de fontaine de la rivière Laval étaient plus élevés lors de la dévalaison (Boula *et al.*, 2002) et beaucoup plus élevés chez les individus anadromes que résidents (Lavallée, 2004). L'étude de Boula *et al.* (2002) a également montré un taux de conversion de la  $T_4$  en  $T_3$  beaucoup plus élevé chez les anadromes. Ces deux dernières études suggèrent également une relation entre le niveau d'activité thyroïdienne et les conditions environnementales.

## **Problématique**

Depuis quelques années, l'omble de fontaine anadrome prend une place de plus en plus importante dans l'industrie de la pêche sportive dans l'est du Québec. Cependant, nos connaissances sur l'état des populations anadromes qui habitent les rivières et les estuaires du Québec, en rapport avec une intensification de la pêche sportive en milieu côtier, sont pour l'instant très limitées. Ainsi, les gestionnaires de la rivière la Petite Cascapédia, en Gaspésie, ne possèdent que très peu d'informations sur la taille et la structure démographique de la population d'omble de fontaine de cette rivière. Mon projet s'insère à l'intérieur d'une étude multidisciplinaire qui a pour but d'améliorer l'ensemble des connaissances sur l'écologie, la génétique et la physiologie de cette espèce. Cette approche permettra de fournir aux gestionnaires et intervenants privés les connaissances nécessaires pour établir un plan de gestion durable.

Les objectifs spécifiques de cette étude sont de vérifier l'évolution de l'état physiologique des juvéniles de la Petite Cascapédia au cours de l'été dans l'estuaire. Notre hypothèse de

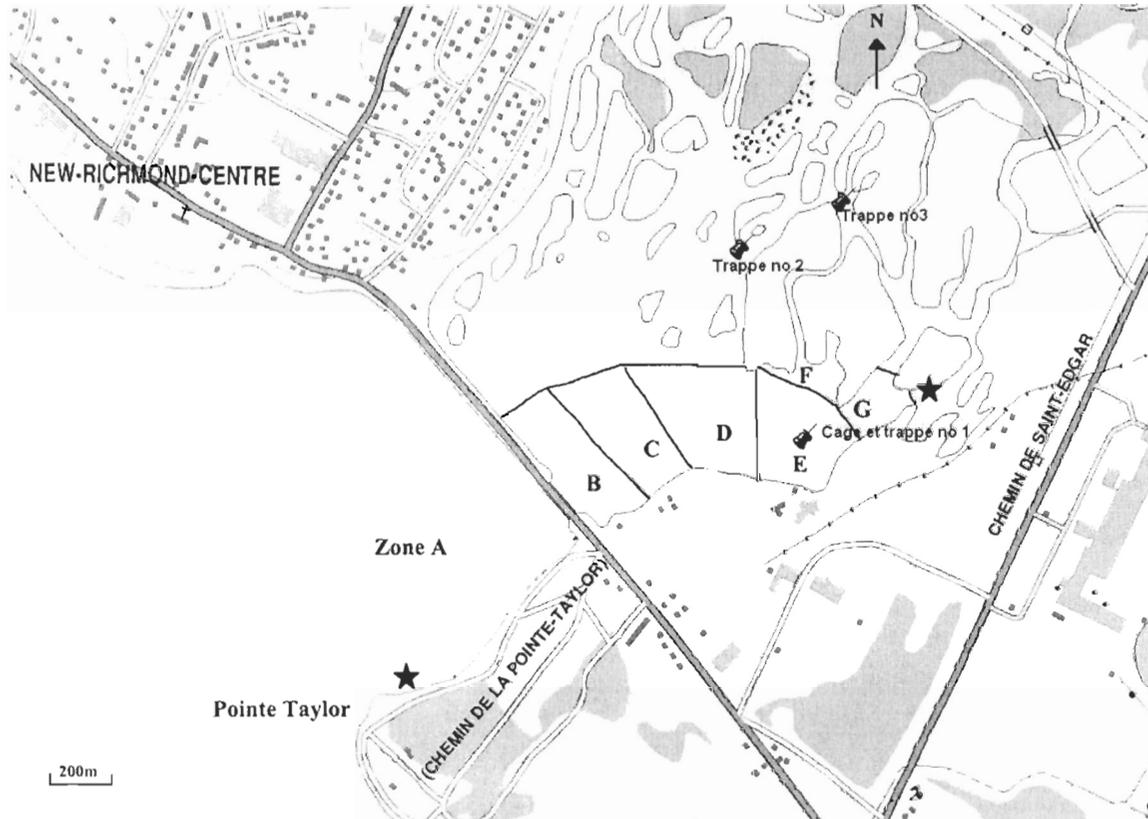
départ est que la valeur des différentes variables physiologiques sera différente selon les mois de résidence dans l'estuaire des ombles capturés en fonction de leur adaptation au milieu et de leur condition physique. Notre deuxième objectif spécifique est d'analyser la structure démographique de la population et d'estimer le temps de résidence des individus dans l'estuaire de la Petite Cascapédia. Plusieurs hypothèses seront testées telles que l'influence de l'âge à la première migration sur la croissance des individus. Nous allons vérifier si plusieurs cohortes sont exploitées dans l'estuaire de la Petite Cascapédia au cours de l'été et s'il y a un débalancement du sexe-ratio entre les cohortes. Nous allons tenter de vérifier si les ombles anadromes de cette rivière effectuent un transfert direct dans l'estuaire, un transfert progressif au cours de l'été ou ne transfèrent pas dans l'estuaire.

## Matériel et méthodes

### Capture des individus

Des ombles de fontaine juvéniles ont été capturés dans l'estuaire de la Petite Cascadia en Gaspésie. L'ensemble de l'estuaire utilisé par les pêcheurs a été divisé en sept zones (A à G) dans le but de mieux étudier la distribution des ombles exploités par la pêche sportive dans cet estuaire au cours de l'été (Figure 1). Les échantillonnages pour le volet physiologie ont été effectués la première semaine des mois de juin, juillet et août. En juin, l'échantillonnage a eu lieu dans la zone G alors qu'en juillet et août les ombles ont été capturés dans la zone C. La zone de l'échantillonnage était déterminée par la disponibilité des ombles à la pêche sportive. Pour chaque échantillonnage, quinze individus ont été capturés au lancer léger et à la mouche, en utilisant des hameçons dont les arillons avaient été émoussés au préalable afin de minimiser les risques de blessure. Une fois capturés, les individus ont été maintenus sur le site de capture à l'aide de cages de rétention pour une période de 24 heures afin de minimiser l'importance du stress lié à la capture sur l'état physiologique des individus. L'échantillonnage a eu lieu sur le terrain entre 8:00 et 12:00. Chaque poisson a été préalablement anesthésié à l'aide de MS-222 (3-aminobenzoic acid ethyl ester) à une concentration de  $0,18\text{g L}^{-1}$  avec de l'eau de l'estuaire. Par la suite, la masse (g) et la longueur à la fourche (mm) ont été mesurées. Une ponction caudale a été effectuée sur chaque poisson à l'aide de seringues héparinées, les échantillons de sang ont été centrifugés à  $7000\text{g}$  pendant trois minutes et le plasma a été congelé sur glace sèche jusqu'au transfert à  $-80^{\circ}\text{C}$  pour analyses subséquentes. Les arcs branchiaux gauches et droits ont été prélevés ainsi qu'un échantillon de muscle et de foie, congelés sur glace

sèche et conservés à  $-80^{\circ}\text{C}$ . Finalement, les otolithes sagittaux ont été prélevés pour définir l'âge des individus.



**Figure 1.** Carte géographique de la rivière Petite Cascapédia indiquant les différentes zones d'échantillonnage. Les coordonnées géographiques des différentes zones d'échantillonnage sont :  $48^{\circ}09'23.2''$  N et  $65^{\circ}50'58.9''$  O pour le début de la zone A (étoile sur la photo), et  $48^{\circ}09'24.9''$  N et  $65^{\circ}50'35.0''$  O pour la fin de la zone G (étoile sur la photo) (NAD83, MTM, échelle 1 :20 000).

Le marquage pour estimer la population par la technique de capture-recapture a été effectué du 25 mai 2006 au 22 juillet 2006. Plusieurs techniques ont été utilisées pour les capturer, mais peu d'entre elles se sont révélées efficaces. Une cage en grillage métallique de  $\frac{1}{2}$  pouce avec des filets non maillants, pour guider les poissons vers l'ouverture de la cage, a été installée dans la zone G, du 25 mai 2006 au 6 juin 2006. La cage a été visitée et

nettoyée à chaque jour afin de ne pas maintenir les poissons trop longtemps en captivité. Trois tentatives de seinage avec une seine de rivage de 100 pieds, avec des mailles ¼ pouce, ont été effectuées dans la zone G le 14 juin 2006, mais rien n'a été capturé en raison de problèmes causés par la morphologie du fond dans cette zone. Trois trappes Alaska avec des mailles de 1½ pouce ont été installées du 6 au 16 juin 2006 dans les zones G et F. Malgré ces essais, la presque totalité des poissons ont été capturés au lancer léger et à la mouche. Au total, 423 ombles ont été pêchés et marqués à l'aide d'étiquettes spaghetti de la compagnie Floy Tag; la longueur à la fourche a également été mesurée. Tous les individus capturés appartenant à d'autres espèces que l'omble de fontaine ont été relâchés vivants.

Durant tout l'été, un enregistrement des pêcheurs présents dans l'estuaire de la Petite Cascapédia a été réalisé pour obtenir des données sur la pression de pêche en 2006. L'enregistrement était sur une base volontaire et encouragé par la remise d'une participation à un tirage et a été effectué du 8 juin au 26 septembre 2006. Cet enregistrement incluait les données suivantes : la durée de pêche, le nombre de captures conservées et de remises à l'eau, le moyen utilisé et la zone de pêche exploitée. Ces données de pêches ont permis de calculer l'effort de pêche qui correspond au nombre de jour-pêcheur, ainsi que de calculer le nombre de captures par pêcheur à l'heure. Par la suite, la longueur, le poids et le sexe étaient notés afin de calculer l'indice de condition et le sexe-ratio pour les différentes classes d'âge. Finalement, les otolithes sagittaux ont été prélevés. Le calcul de l'indice de condition a été effectué selon la formule suivante :

$$K = 100 \times \text{poids total (g)} / \text{longueur à la fourche (cm)}^3$$

### Lecture d'âge

Les otolithes prélevés sur le terrain ont été nettoyés et conservés à sec dans des enveloppes en attente d'être montés sur lames de microscope à l'aide d'une colle (Crystal Bond). Les otolithes ont ensuite été sablés avec du papier de finition de taille 9 µm et de 30 µm. L'âge a été déterminé au binoculaire avec lumière réfractée. Les mesures pour réaliser les rétrocalculs ont été effectuées à l'aide d'un analyseur d'image et du logiciel Sigma Scan Pro (Scion/SXM) le long d'un axe constant partant du centre sur tous les otolithes droits. Le début d'une saison de croissance est déterminé par un annuli foncé suivi d'une région pâle sur l'otolithe (Magnan et Fitzgerald, 1983). L'âge à la première dévalaison est déterminé par la première augmentation de taille d'un annuli. Cette méthode de détermination de l'âge en mer a une fiabilité de 95% (Lenormand *et al.*, 2004). Les rétrocalculs ont été effectués en utilisant la méthode d'interception biologique (IB) (Campana, 1990) :  $L_{Ft} = L_{Fc} + (O_t - O_c)(L_{Fc} - L_{F0})(O_c - O_0)^{-1}$ , où  $L_{Ft}$ ,  $L_{Fc}$  et  $L_{F0}$  sont la longueur du poisson à l'âge  $t$ , à la capture et au IB, le  $O_t$ ,  $O_c$  et  $O_0$  sont respectivement le diamètre de l'otolithe au temps  $t$ , à la capture et au IB. Ainsi, les poissons capturés en estuaire par les pêcheurs sportifs ont permis de prélever des otolithes, d'effectuer des mesures de rétrocalcul et d'estimer l'âge à la première migration. Il est important de noter que pour les différents graphiques et tableaux de la section résultats, nous avons séparé les différentes cohortes en deux groupes. Nous avons établi une différence entre les otolithes qui montrent ou non des annuli de croissance pour la dernière année en cours. Les individus dont les otolithes montrent des annuli de croissance porte le signe (+) à côté de l'âge. Cependant, les individus 3 ans et 3+ ans font partie de la même cohorte.

### **Étude physiologique et enzymatique**

L'osmolalité plasmatique a été mesurée à l'aide d'un micro-osmomètre (Advanced Instruments, modèle 3MO). La concentration de cortisol a été mesurée à l'aide d'une technique radioimmunologique (ImmuChem Coated Tube Cortisol <sup>125</sup>I RIA Kit, ICN Biomedicals). Les concentrations en T<sub>3</sub> et T<sub>4</sub> plasmatiques ont été déterminées par une méthode compétitive immunoenzymatique à l'aide de trousse commerciales (T3-HRP EIA et T4-HRP EIA de Medicorp). L'activité de la Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-ATPase a été mesurée selon la méthode décrite par Zaugg (1982) et modifiée par Heinonen et Lahti (1981). Les valeurs d'activités ont été rapportées à la masse de tissus (activité absolue) et à la concentration en protéines totales (activité spécifique). La concentration totale en protéines a été mesurée par la méthode de Lowry *et al.* (1951).

### **Étude des conditions du milieu**

Un relevé des conditions environnementales a été réalisé en moyenne quatre à cinq fois par semaine lors des journées d'enregistrement des pêcheurs. Ces mesures comprenaient la direction et la force des vents (échelle de Beaufort), la couverture nuageuse (échelle de 1 à 10), l'indice de pluviosité (échelle de 1 à 5) et la température de l'air à toutes les heures sur une durée minimale de cinq heures. La température de l'eau a été relevée deux fois par jour (selon le cycle de marées) lors des journées de captures. Des échantillons d'eau ont été prélevés une fois par semaine de façon arbitraire pour mesurer la salinité à l'aide d'un réfractomètre. Un courantomètre de type Weathertronic (modèle no6651) a également été

utilisé pour mesurer le courant sur le site d'échantillonnage, à raison de trois mesures par jour lors de l'échantillonnage pour la physiologie, à une distance de 25 centimètres du fond. La position des échantillonnages dans la rivière dépendait de l'accessibilité du site selon les marées. L'ensemble de ces données a été prélevé dans le but de mieux caractériser les conditions environnementales dans lesquelles les ombles étaient capturés par la pêche sportive. Nous avons donc seulement caractérisé les zones où la pêche sportive s'exerçait.

### **Analyses statistiques**

Tous les tests statistiques ont été réalisés à l'aide du logiciel STATISTICA. La normalité des données et l'homogénéité des variances ont été testées respectivement par des tests de Kolmogorov-Smirnov et de Brown-Forsythe. Lorsque les conditions n'étaient pas respectées, les données étaient transformées ( $\log(x+1)$ ) afin de respecter ces conditions. Ainsi, l'ensemble des graphiques présentent les valeurs arithmétiques, cependant les analyses pour le cortisol ont été faites sur les données transformées. Une ANOVA à deux facteurs a été effectuée pour toutes les variables physiologiques dans le but de voir s'il existe une réponse physiologique significativement différente entre les mois d'échantillonnages chez les juvéniles et selon leur sexe. Ainsi, les deux facteurs sont croisés, la période (mois d'échantillonnage) est un facteur fixe multiple, le sexe est un facteur fixe binaire et les variables physiologiques sont les variables dépendantes. Une ANCOVA à un facteur et deux covariables a été effectuée pour toutes les variables physiologiques dans le but de voir si la réponse physiologique est significativement différente entre les mois d'échantillonnage selon le poids et la longueur à la fourche des juvéniles. Le poids et la longueur à la fourche sont nos deux covariables explicatives. Par la

suite, d'autres ANOVAs à un facteur ont été réalisées dans le but de voir s'il existait une différence de longueur entre les individus qui migrent à des âges différents. L'âge de première migration est donc le facteur fixe multiple et la longueur des individus est la variable dépendante multiple et aléatoire. Lorsque les ANOVAs étaient significatives, elles étaient suivies d'un test de comparaisons multiples de Tuckey. Lorsque les transformations ne permettaient pas d'obtenir l'homogénéité des variances, un test de Games et Howell était réalisé (Sokal et Rohlf, 1981). L'estimation des différents paramètres composant l'analyse de la pression de pêche a été évaluée à partir des formules trouvées dans Pollock *et al.* (1994) et Vincent (2002) et correspond à un échantillonnage aléatoire de deuxième degré (Annexe 1).

## Résultats

### 1. Variables physiologiques chez les ombles de fontaine capturés dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia

Le sexe des individus n'avait aucun effet sur les différentes variables analysées ( $p > 0,05$ ).

Les analyses de covariance n'ont montré aucune interaction de la longueur ou du poids dans les effets observés ( $p > 0,05$ ).

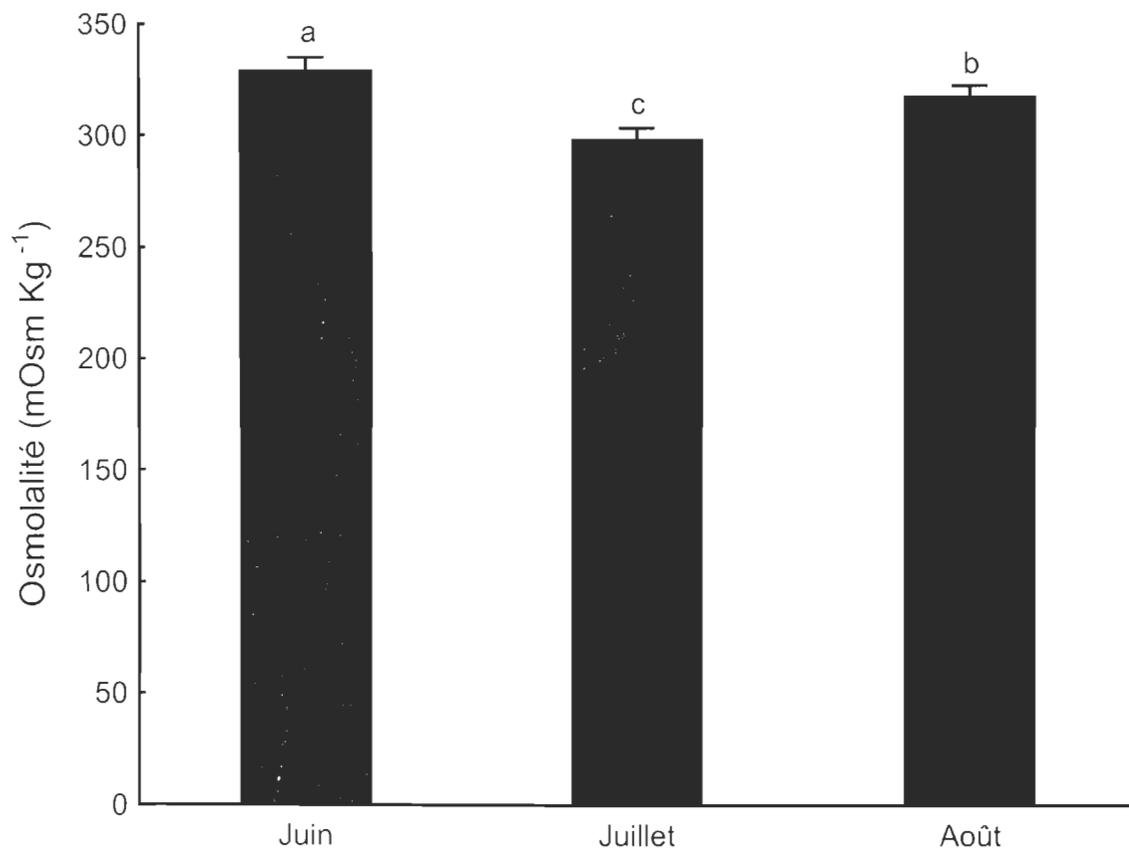
Au cours de l'été, on observe une augmentation significative de la longueur à la fourche ( $p < 0,05$ ,  $dl = 2$ ,  $F = 3,82$ ) et du poids ( $p < 0,05$ ,  $dl = 2$ ,  $F = 3,75$ ) des ombles échantillonnés entre le premier et le dernier échantillonnage (Tableau 1).

**Tableau 1.** Période d'échantillonnage et moyennes des poids et longueurs des ombles de fontaine capturés dans la rivière Petite Cascapédia. Des lettres différentes indiquent la présence de différences significatives.

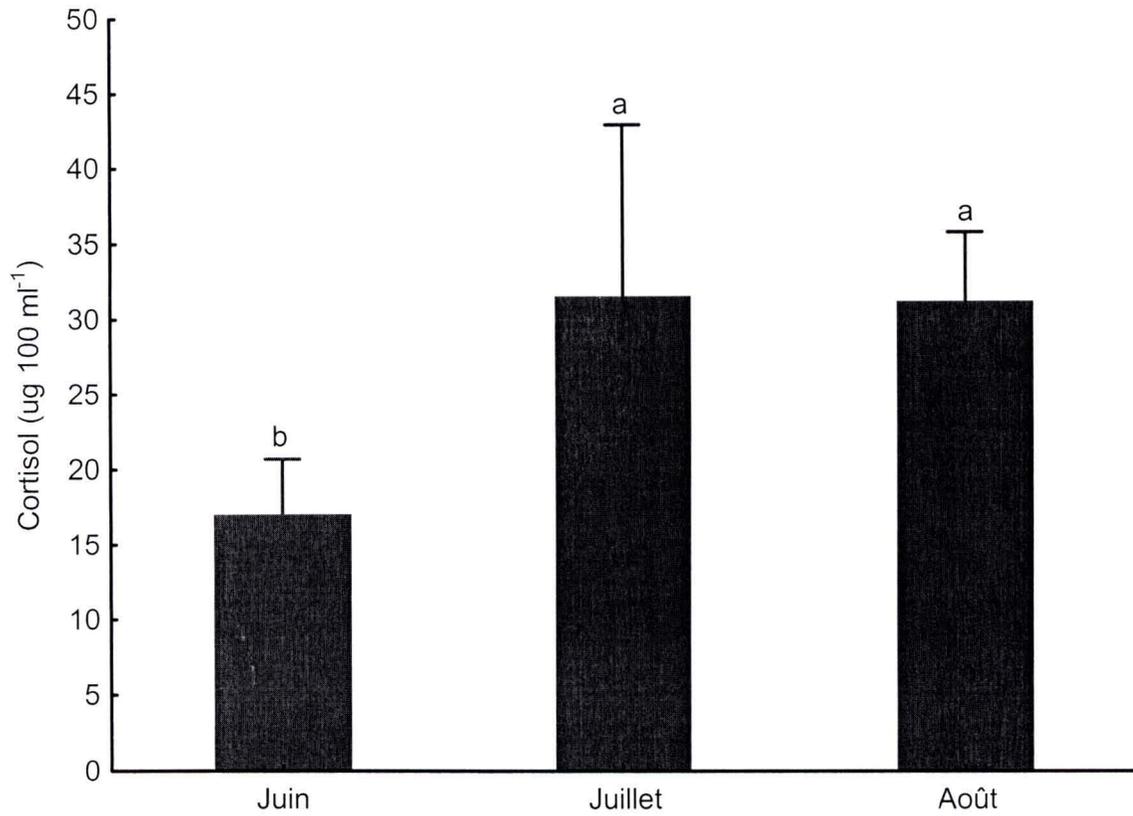
Date d'échantillonnage	Âge			Nombre d'individus		Poids (g)	Longueur (mm)
	1+	2+	3+	Mâles	Femelles		
02/06/2006	0	11	4	10	5	25,7 ± 10,5 <sup>b</sup>	141,8 ± 17,0 <sup>b</sup>
05/07/2006	0	14	1	11	4	28,1 ± 8,4 <sup>ab</sup>	146,8 ± 14,1 <sup>ab</sup>
10/08/2006	1	9	5	7	8	39,1 ± 20,6 <sup>a</sup>	160,1 ± 23,9 <sup>a</sup>

Le niveau d'osmolalité varie au cours de la saison, celui-ci étant plus élevé en juin qu'en juillet et août ( $p < 0,001$ ,  $dl = 2$ ,  $F = 40,92$ ; Figure 2), avec une valeur minimale en juillet.

C'est également en juillet et août que les niveaux de cortisol sont les plus élevés ( $p = 0,003$ ,  $df = 2$ ,  $F = 6,86$ ; Figure 3).



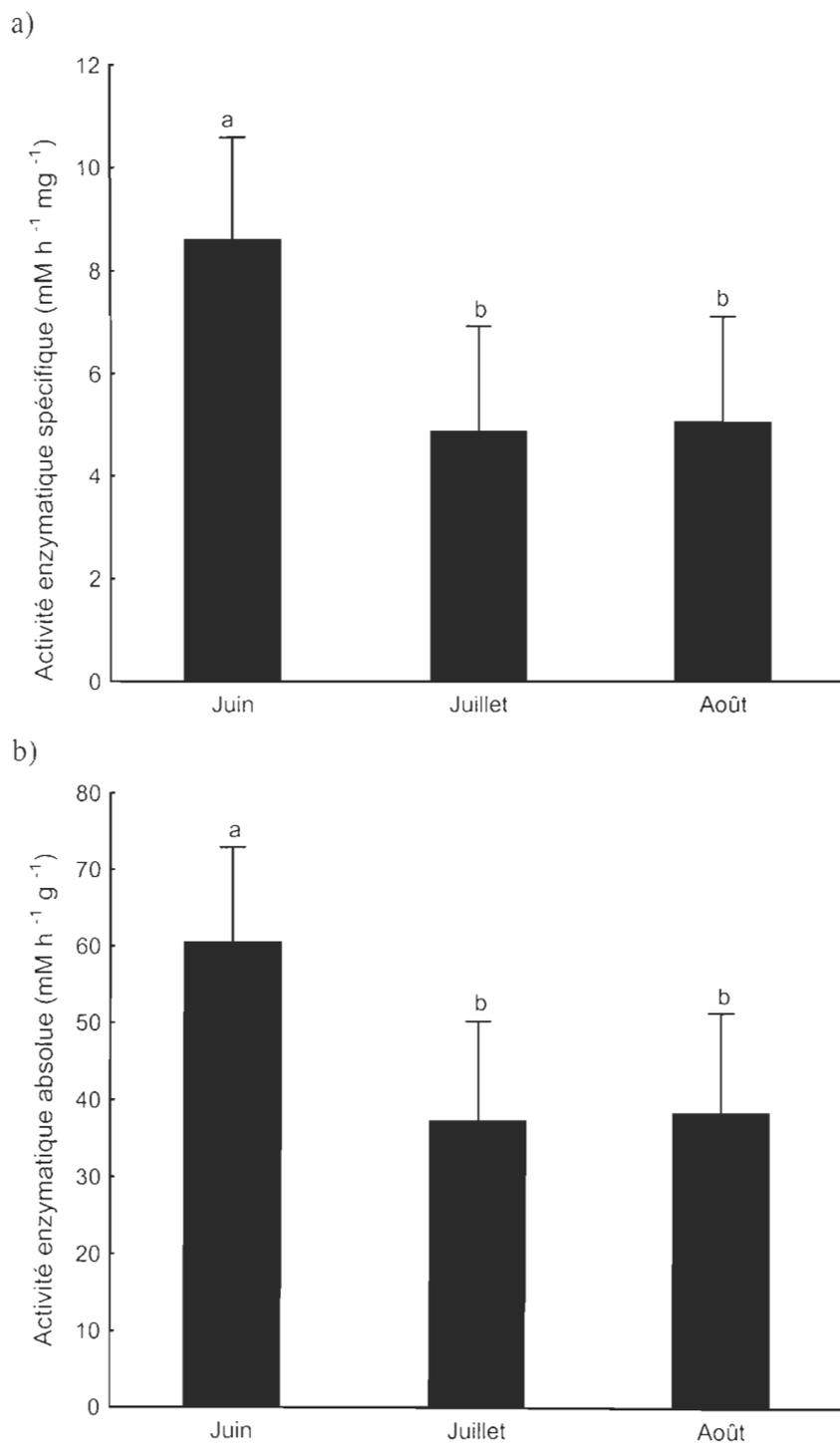
**Figure 2.** Variation estivale du niveau de l'osmolalité plasmatique chez les juvéniles d'omble de fontaine anadrome de la rivière Petite Cascapédia capturés en estuaire (moyenne  $\pm$  écart-type). Des lettres différentes indiquent la présence de différences significatives.



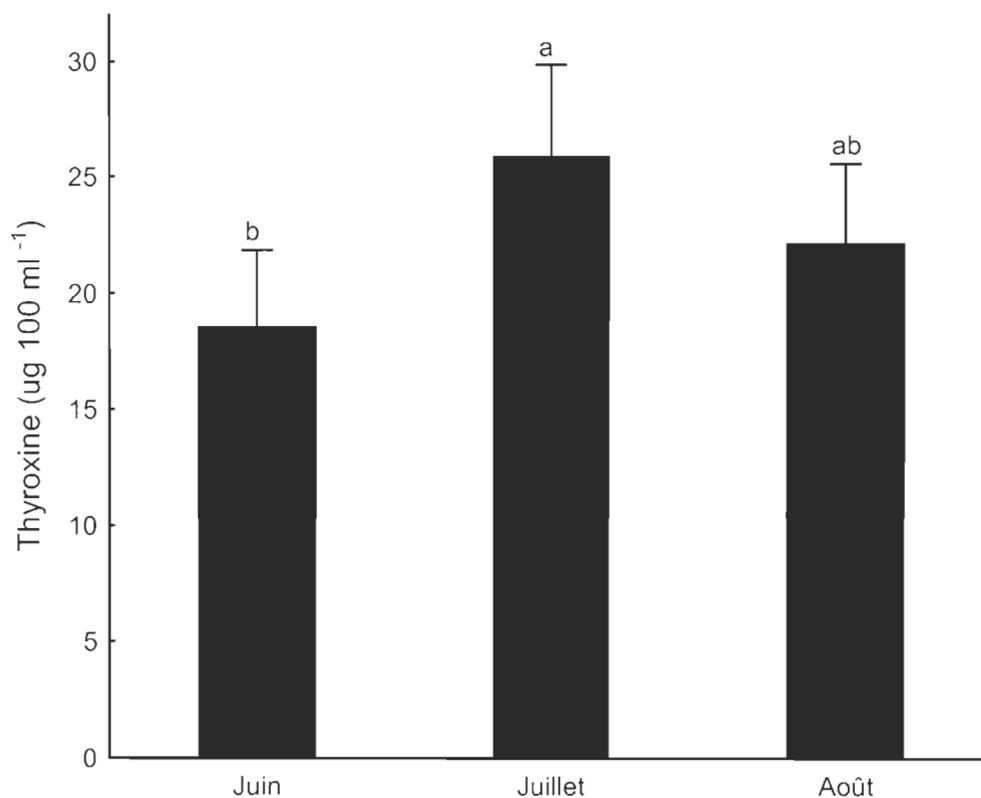
**Figure 3.** Variation estivale de la concentration de cortisol plasmatique (moyenne  $\pm$  écart-type). Les analyses statistiques ont été faites sur les valeurs transformées. Des lettres différentes indiquent la présence de différences significatives.

Les analyses de l'activité  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase spécifique et absolue montrent une variation significative en fonction des mois d'échantillonnage pour les juvéniles d'omble de fontaine anadrome dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia. En effet, l'activité  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase spécifique diminue de façon significative de moitié en juillet et reste stable jusqu'en août ( $p = 0,017$ ,  $dl = 2$ ,  $F = 4,50$ ; Figure 4A). Un patron similaire est observé pour l'activité absolue ( $p = 0,017$ ,  $dl = 2$ ,  $F = 4,51$ ; Figure 4B).

La concentration en triiodothyronine des juvéniles d'omble de fontaine anadrome dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia ne varie pas significativement en fonction des mois de capture ( $p = 0,055$ ,  $dl = 2$ ,  $F = 3,81$ ). La concentration en thyroxine plasmatique montre une valeur maximale en juillet et elle est plus élevée que celle observée en juin ( $p = 0,022$ ,  $dl = 2$ ,  $F = 4,31$ ; Figure 5).



**Figure 4 a et b.** Variation estivale de l'activité  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPasiqne branchiale spécifique (a) et absolue (b) (moyenne  $\pm$  écart-type). Des lettres différentes indiquent la présence de différences significatives.



**Figure 5.** Variation estivale de la concentration de thyroxine plasmatique (moyenne  $\pm$  écart-type). Des lettres différentes indiquent la présence de différences significatives.

## **2. Taille de la population estuarienne d'omble de fontaine par une technique de marquage recapture**

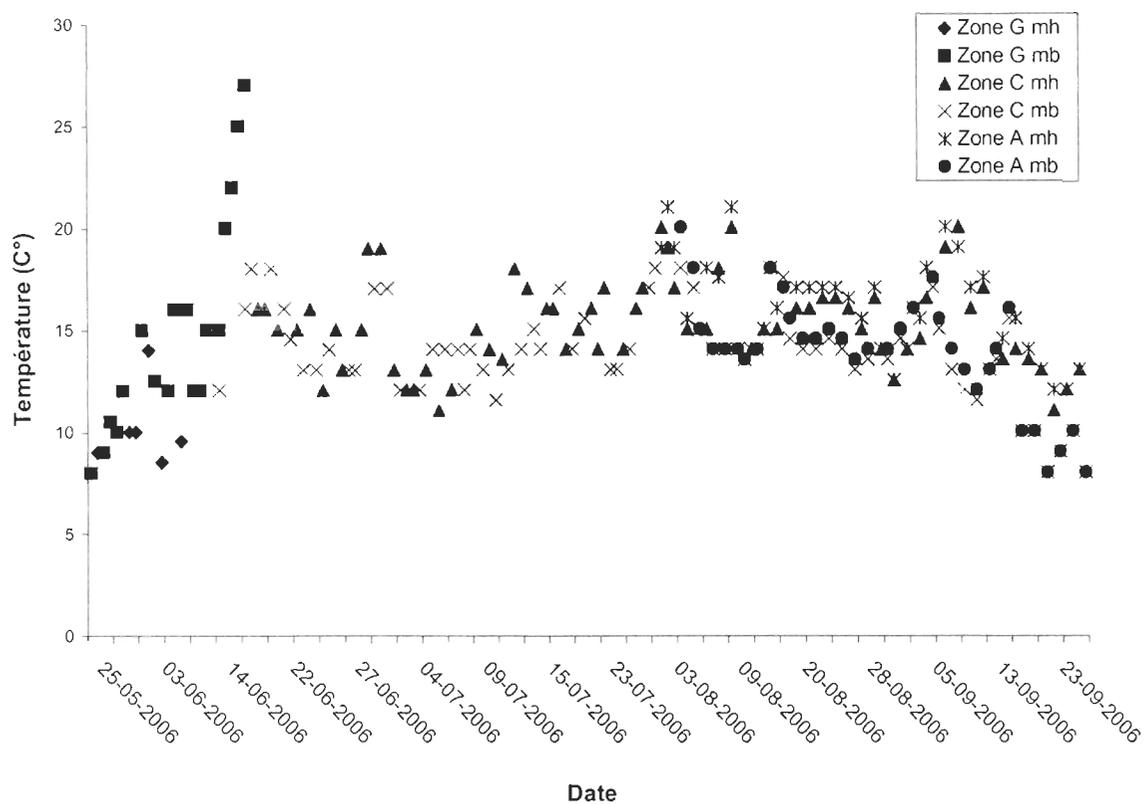
Le faible nombre de poissons capturés pour ce volet nous a empêché d'effectuer un calcul d'abondance d'individus dans l'estuaire. Ainsi, seul 423 ombles de fontaine anadromes ont été marqués dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia et 22 individus ont été repêchés par les pêcheurs sportifs, mais la croissance après marquage n'a pu être mesurée que sur seulement 17 individus. Alors, la croissance moyenne des individus marqués et recapturés est de  $0,487 \pm 0,479$  mm/jour.

## **3. Conditions environnementales dans la zone de pêche de l'estuaire de la Petite Cascapédia**

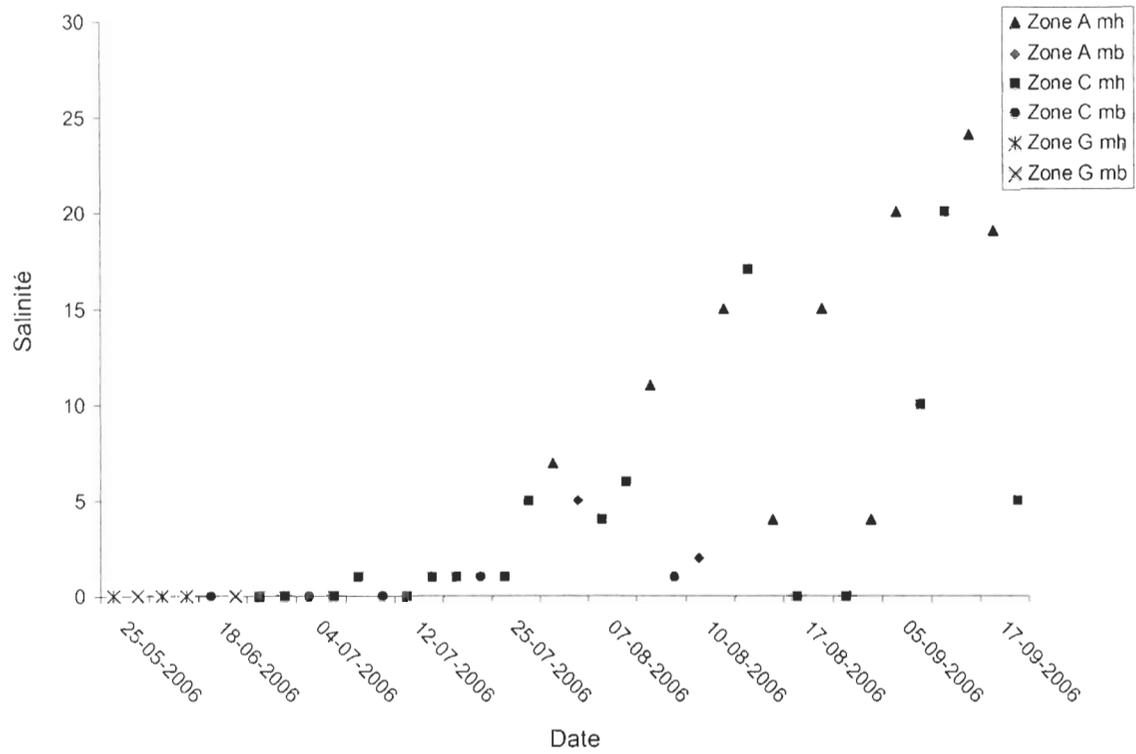
L'enregistrement des données de températures de l'eau montre des fluctuations au cours de l'été (Figure 6). On peut observer une très forte augmentation de la température dans la zone G qui est la zone la plus en amont des sites échantillonnés. Seule cette zone nous permet d'observer une différence de température entre la marée basse et haute. La température oscille autour des 15°C tout au long de l'été et redescend sous les 10°C à partir de la mi-septembre dans les autres secteurs.

Les mesures de salinités indiquent une très faible salinité, quasiment nulle à marée basse, dans les zones G et C. À marée haute, la zone C présente de légères incursions de langue

d'eau salée contrairement à la zone A où il semble y avoir une zone de mélange constante entre la rivière et la baie des Chaleurs (Figure 7).



**Figure 6.** Température estivale de l'eau dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia à trois sites d'échantillonnage différents à marée haute (mh) et basse (mb).



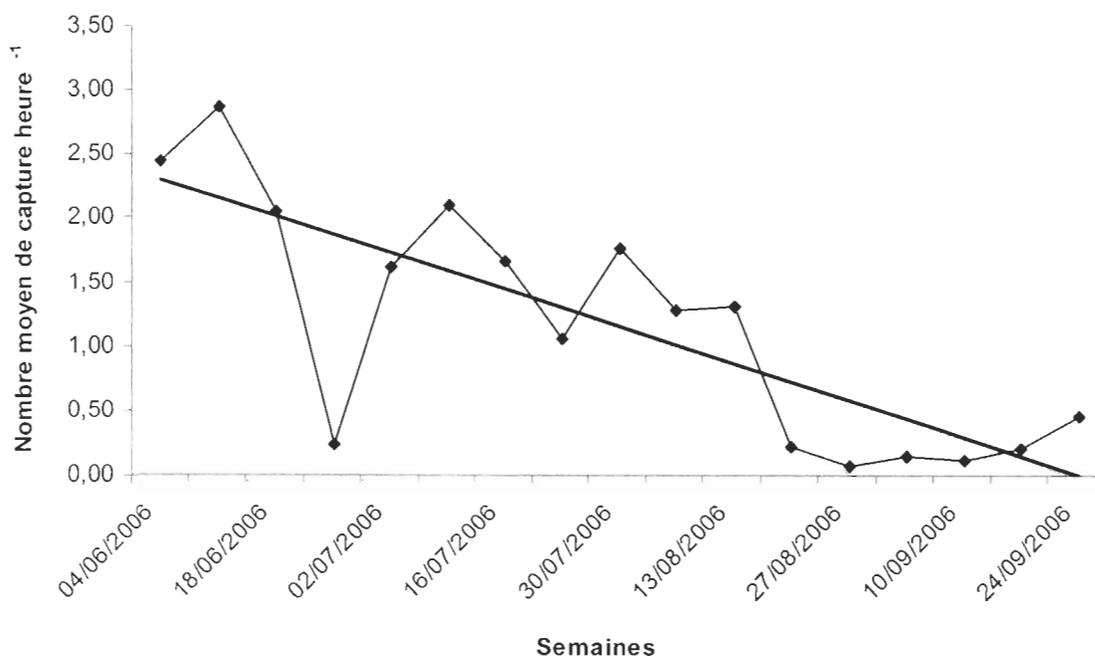
**Figure 7.** Mesure de salinité dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia à trois différentes zones d'échantillonnage à marée basse et marée haute.

#### **4. Pression de pêche et structure démographique de la population d'omble de fontaine anadrome dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia**

À partir des données obtenues par l'enregistrement de 432 pêcheurs dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia, la pression de pêche totale au cours de l'été dans cet estuaire a pu être estimée (Tableau 2). Ainsi, 916 pêcheurs sont venus dans cet estuaire de juin à septembre et ils ont capturé 3695 ombles de fontaine. Le nombre moyen de captures par heure ainsi que le succès de pêche montrent une décroissance de plus de 75% au cours de l'été, du début juin à la fin septembre (Figure 8). Une importante baisse du nombre de captures à l'heure est observée à la mi-août et correspond à la disparition des juvéniles d'omble de fontaine anadrome disponibles à la pêche sportive dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia.

**Tableau 2.** Estimation des différents paramètres caractérisant la pression de pêche exercée sur la population d'omble de fontaine de la rivière Petite Caspédia.

Mois	Fréquentation (jours-pêche)	Effort (heures-ligne)	Captures totales (nb de captures)	Récolte	
				(nb de captures conservées)	Succès (omble/h-ligne)
juin	273 ± 125,3	744,9 ± 107,2	1607,1 ± 261,1	1304,2 ± 213,9	2,16 ± 0,17
juillet	323 ± 141,6	835,4 ± 109,6	1366,2 ± 198,6	1222,2 ± 184,2	1,64 ± 0,05
août	193 ± 126	551,3 ± 60,0	655,8 ± 81,6	604,7 ± 77,7	1,19 ± 0,02
septembre	127 ± 87	330,5 ± 24,0	65,6 ± 8,3	59,2 ± 7,3	0,2 ± 0,01
total	916 ± 479	2462,1 ± 223,9	3695 ± 700	3190 ± 583	



**Figure 8.** Nombre moyen de captures par heure par la pêche sportive sur la population d'omble de fontaine anadrome dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia au cours de l'été. La courbe est décrite par l'équation suivante :  $y = 2,447 - 0,144x$  ( $n = 432$ ,  $r^2 = 0,626$ ).

Un biais dans le sexe-ratio est observé entre les différentes classes d'âge d'omble de fontaine. Les individus dans les classes d'âge 1+ et 2 ans sont majoritairement des mâles et les individus dans les classes d'âge de 3 ans et plus sont majoritairement des femelles (Tableau 3). Cependant, la classe d'âge 2+ qui est la plus représentée en termes d'effectif, présente un ratio entre mâle et femelle approximatif de 1 : 1. Le sexe-ratio de cette classe d'âge est donc similaire au sexe-ratio total. L'indice de condition de ces ombles juvéniles demeure stable au cours de l'été dans l'estuaire ( $p = 0,441$ ). L'indice de condition pour les trois mois est de  $0,87 \pm 0,05 \text{ g/cm}^3$ .

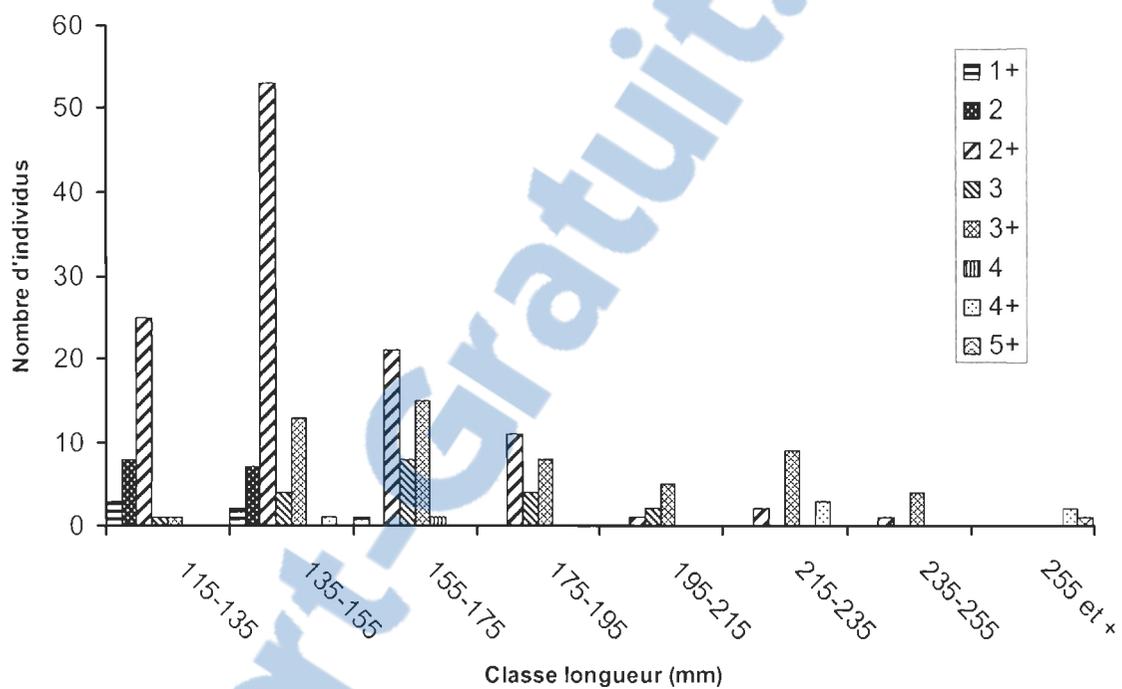
La classe d'âge 2+ représente 53% des juvéniles d'omble de fontaine anadrome capturés dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia par la pêche sportive. La taille des individus capturés se situe majoritairement entre 115 et 175 mm (Figure 9). Dans la classe d'âge 3+, on peut observer deux modes différents de classe de longueur, le premier maximum se situant entre 155 et 175 mm, et le deuxième se retrouvant entre 215 et 235 mm. Les autres classes d'âge étant très faiblement représentées, il est difficile d'établir précisément leur classe de longueur.

Une variation dans la représentativité de chaque classe d'âge peut être observée au cours de l'été. En observant les annuli de croissance sur les otolithes, on remarque que la croissance des ombles de fontaine semble seulement débuter au début de juin, car tous les individus des cohortes deux et trois ans présentent des annuli de croissance après la mi-juin. L'importance de la classe d'âge 2+ dans la pêche sportive semble diminuer à partir de la

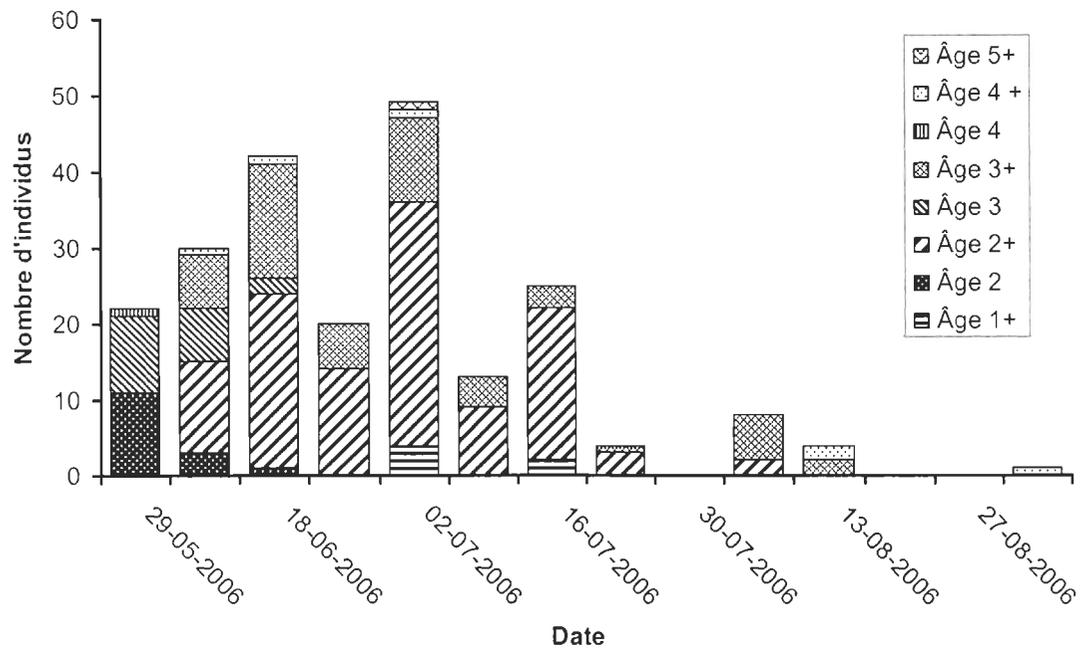
mi-juillet, pour complètement disparaître à la fin d'août et être remplacée par des individus 3+ et 4+ (Figure 10).

*Tableau 3.* Sexe-ratio entre les différentes classes d'âge chez la population d'omble de fontaine dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia.

Âge	Mâles	Femelles	Total	ratio
1+	7	2	9	3,50
2	12	0	12	
2+	76	79	155	0,96
3	6	11	17	0,55
3+	33	52	85	0,63
4	1	0	1	
4+	3	4	7	0,75
5+	0	1	1	0,00
Inconnu	14	10	24	1,40
Total	152	159	311	0,96



*Figure 9.* Distribution des classes de longueur des animaux capturés dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia au cours de l'été.



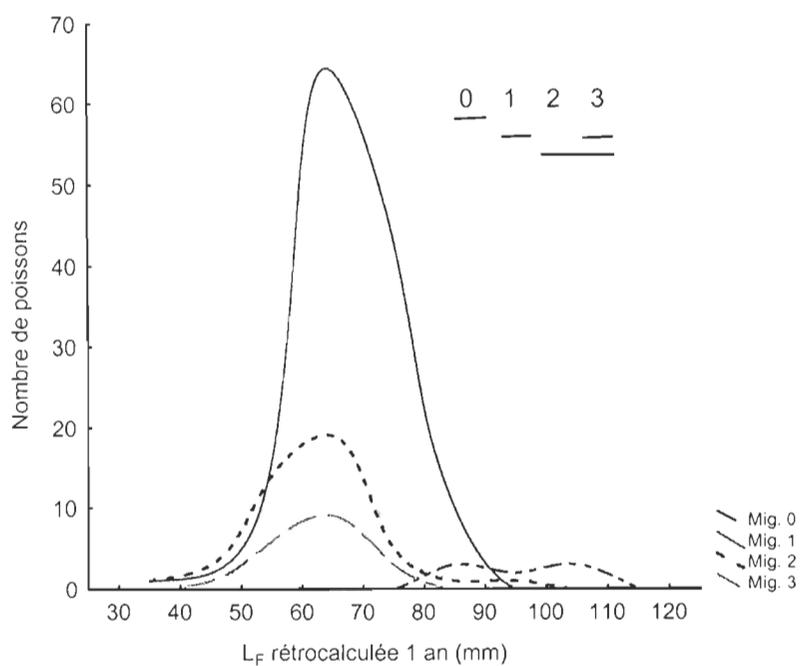
*Figure 10.* Fréquence des classes d'âge des ombles de fontaine anadromes capturés par la pêche sportive dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia au cours de l'été.

## 5. Croissance en fonction de l'âge à la première migration de la population estuarienne d'omble de fontaine de la rivière Petite Cascapédia

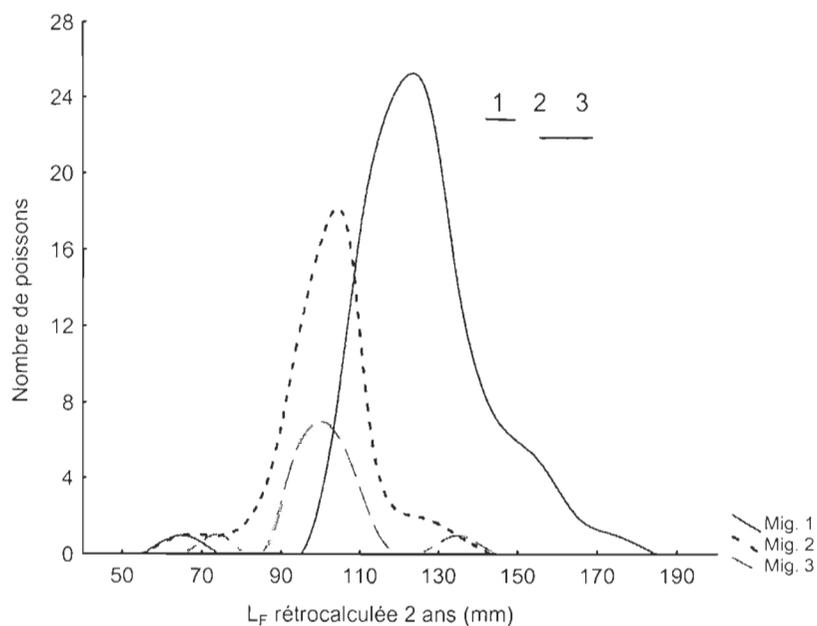
L'application du modèle de Campana a permis d'estimer la longueur de ces individus à l'âge de 1 et 2 ans (Figure 11 a et 11 b). Une plus grande taille à un an est enregistrée chez les individus qui ont migré dès leur première année de vie comparativement aux individus qui sont restés en eau douce ( $p < 0,001$ ,  $dl = 3$ ,  $F = 40,27$ ; Figure 11 a). De plus, la longueur à l'émergence ne diverge pas entre les groupes de migrants ( $p = 0,20$ ,  $dl = 3$ ,  $F = 1,57$ ). Les individus qui migrent à un an sont de taille supérieure aux individus qui migrent à deux ans ou trois ans ( $p < 0,001$ ,  $dl = 2$ ,  $F = 44,84$ ) (Figure 11 b). On observe également que la majorité des individus capturés dans cet estuaire ont migré à un an.

On observe également une plus grande majorité de mâles chez les individus qui effectuent leur première migration à l'âge 0 et 1 an (Tableau 4). À l'inverse, on observe un plus grand pourcentage de femelles chez les groupes qui ont fait leur première dévalaison à deux ans, trois ans ou quatre ans.

a)



b)



**Figure 11 a et b.** Rétrocalcul des longueurs à 1 an (a) et 2 ans (b) en fonction de l'âge à la première migration. Les barres horizontales sous les chiffres représentant l'âge à la première migration indiquent les résultats des tests de comparaisons de moyennes. « Mig. x » correspond au groupe qui a migré pour la première fois à l'âge de x ans.

*Tableau 4.* Sexe-ratio selon l'âge à la première dévalaison chez l'omble de fontaine.

Âge migration	Mâles	Femelles	Total	ratio M/F
0	7	1	8	7,00
1	77	60	137	1,28
2	16	28	44	0,57
3	7	12	19	0,58
4	0	1	1	0,00
total	107	102	209	1,05

## Discussion

### 1. Adaptation physiologique des ombles de fontaine capturés dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia

Les mesures de salinité relevées dans l'estuaire de la rivière Petite Caspédia indiquent que les juvéniles d'omble de fontaine capturés par la pêche sportive se rassemblent principalement en eau peu salée (< 15‰). Les informations rassemblées auprès des pêcheurs concorderaient avec un mouvement des ombles suivant le panache d'eau douce de la rivière selon la marée. Plusieurs études mentionnent que les truites de mer juvéniles s'acclimateraient dans des eaux de faible salinité pour ensuite transférer en eau plus salée (Montgomery *et al.*, 1990; Thériault et Dodson, 2003; Lenormand *et al.*, 2004; Morinville et Rasmussen, 2006; Curry *et al.*, 2006). Une étude réalisée en milieu contrôlé a montré que le taux de survie des ombles était meilleur lors d'un passage progressif en eau salée que lors d'un passage direct en eau de forte salinité (Lenormand *et al.*, 2004). Cependant, aucune de nos données ne permet d'appuyer cette hypothèse du transfert progressif des ombles juvéniles en milieu salé dans notre site d'étude puisque aucun omble de fontaine juvénile n'a été pêché dans une eau de forte salinité. Seul le déplacement progressif des pêcheurs de la zone F à la zone A au cours de l'été semble indiquer un déplacement progressif des ombles juvéniles vers une zone de mélange. L'augmentation de la température de l'eau dans certains secteurs au cours de l'été pourrait expliquer une partie du déplacement des ombles puisque les températures enregistrées au cours de l'été dans

certaines zones dépassaient les 20°C. Des études ont démontré que la température létale supérieure pour les salmonidés était autour de 25°C (MacCrimmon et Campbell, 1969; McCormick *et al.*, 1972; Dickerson et Vinyard, 1999; Johnstone et Rahel, 2003) et que les températures élevées affectaient les performances physiologiques en influençant l'efficacité de conversion alimentaire ainsi que le taux de croissance (Railsback et Rose, 1999).

Normalement, l'osmolalité est un bon indicateur de la préparation des mécanismes iono-osmo-régulateurs et permet de voir s'il y a un transfert d'un milieu hypotonique à hypertonique. Les individus qui subissent des variations de faible intensité et de courte durée de l'osmolalité lors du transfert sont considérés comme bien adaptés (Claireaux et Audet, 2000). Nous avons observé de faibles fluctuations du niveau d'osmolalité au cours de la saison d'été et nos valeurs correspondent à celles rencontrées chez des individus vivant en eau douce (McCormick et Saunders, 1987; Claireaux et Audet, 2000). Boula *et al.* (2002) avaient eux aussi observé de faibles valeurs d'osmolalité (317 mOsm/Kg) sur des ombles anadromes adultes en dévalaison capturés en eau douce. Nos faibles mesures indiquent donc qu'il n'y a pas eu de transfert en milieu hypertonique ou encore que les ombles ont une excellente capacité d'acclimatation. La valeur minimale enregistrée en juillet pourrait résulter de la hausse de la température de l'eau causant un stress plus important lors de la capture, et ce stress aurait eu comme effet de créer une dépression osmotique chez ces individus. Ce type de réaction est typique chez des individus évoluant en milieu d'eau douce. De plus, les mesures plus élevées de cortisol enregistrées en juillet et en août corroborent cette hypothèse d'un stress induit par la température. Nos valeurs d'osmolalité en été sont également beaucoup plus faibles que les valeurs enregistrées par

Boula *et al.* (2002) (490 mOsm/Kg) et Janssoone (2002) (365 mOsm/Kg) sur des individus adultes capturés en estuaire. Leurs valeurs élevées indiquent un important déséquilibre osmotique lors de la capture des migrants. Toutefois, les valeurs obtenues chez des individus élevés en milieu contrôlé provenant de la même souche ont montré que les valeurs d'osmolalité revenaient rapidement stables après un transfert en eau salée (Boula *et al.*, 2002). Les individus adultes capturés par Janssoone (2002) et Boula *et al.* (2002) montrent donc une bonne préparation des mécanismes hypo-osmorégulateurs. En conséquence, malgré une bonne adaptation au niveau de ces mécanismes chez les individus adultes, l'ensemble des données obtenues sur nos individus capturés dans l'estuaire nous fait croire qu'ils feraient une migration partielle et resteraient en eau douce suivant le balancement des marées.

Plusieurs études ont mis en évidence que l'élévation du niveau d'activité de la  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase branchiale pouvait être un très bon indicateur du potentiel d'adaptation lors du transfert en eau salée (Bœuf et Harache, 1982; 1984; Claireaux et Audet, 2000). Chez la plupart des salmonidés, on peut observer cette élévation d'activité en synchronisme avec la smoltification (Jorgensen et Arnesen, 2002; Aas-Hensen *et al.*, 2005). Besner et Pelletier (1991) ont observé chez l'omble de fontaine une augmentation de l'activité de la  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase branchiale ainsi qu'une amélioration de l'efficacité des mécanismes hypo-osmorégulateurs en mai et juin après le transfert en eau salée. Nos analyses de l'activité de la  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase branchiale exposent cette variation printanière qui correspond à l'arrivée dans l'estuaire de nos juvéniles d'omble de fontaine. Une augmentation printanière a déjà été observée chez les adultes de cette rivière (Janssoone, 2002). Également, Boula *et al.*

(2002) ont montré une augmentation printanière chez des adultes de la rivière Laval. Les valeurs de l'activité spécifique mesurées au printemps dans la présente étude ( $8,6 \text{ mM h}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ ) sont deux fois supérieures à celles de ces deux études. Nos résultats sont également quatre fois supérieurs à ceux enregistrés par Lavallée (2004) sur des juvéniles d'omble anadrome de la rivière Ste-Marguerite. Les valeurs plus élevées que nous avons observées peuvent être reliées à la sensibilité de la macrométhode face à la microméthode utilisée par Lavallée (2004) pour mesurer l'activité de cette enzyme. Toutefois, nos mesures sont trois à quatre fois inférieures au niveau d'activité enregistré chez d'autres espèces de salmonidés où la smoltification est un phénomène clairement identifié (Bœuf, 1993; McCormick et Saunders, 1987). Ainsi, malgré le fait que nous n'avons pas observé un transfert en eau salée, la variation saisonnière enregistrée chez nos individus montre des signes d'une forme de pré-adaptation de leur capacité hypo-osmorégulatoire. Ce résultat peut vouloir indiquer que d'autres facteurs influencent le choix des ombles juvéniles de cette rivière à transférer en eau salée.

D'autres changements physiologiques se manifestent lors de la période de dévalaison. Chez les salmonidés, les hormones  $T_3$  et  $T_4$  montrent également des variations saisonnières et des niveaux élevés de ces hormones sont enregistrés lors de la période de smoltification (Nishikawa *et al.*, 1979; Dickhoff *et al.*, 1982; Hoar, 1988; Audet et Claireaux, 1992; Bœuf, 1993; Boula *et al.*, 2002). Nos valeurs en thyroxine montrent des variations différentes des résultats obtenues par Boula *et al.* (2002) puisque nous observons une valeur plus élevée en juillet qu'en juin. Contrairement à nos résultats, ils avaient observé un maximum au printemps, à des concentrations près du double de celles que nous avons

observées. Néanmoins, les valeurs estivales mesurées par Boula *et al.* (2002) sont similaires aux nôtres. Cette dissemblance dans le patron de variation observé pourrait être expliquée par l'absence d'un transfert en eau salée, comparativement aux adultes de la rivière Laval, et cela malgré leur présence dans l'estuaire. Young *et al.* (1995) ont également observé des variations différentes des hormones thyroïdiennes au cours de la même période chez des saumons coho maintenus en eau douce et ceux-ci ne montraient pas de maximum en juin. Les résultats de la  $T_4$  observés au printemps par Lavallée (2004) ne montrent toutefois aucune différence entre les juvéniles d'omble de fontaine anadrome et résidents. Lorsque l'on compare ces valeurs aux nôtres, on observe qu'elles sont presque deux fois inférieures. L'étude de Boula *et al.* (2002) et de Lavallée (2004) expliquent une partie de leur variation par des facteurs environnementaux. Selon eux, il se pourrait que les conditions hydrologiques rencontrées dans chacun des milieux soient responsables des variations du niveau d'expression des hormones thyroïdiennes. En comparaison, l'absence de contact avec l'eau salée pourrait être une cause de l'inhibition de cette élévation du niveau des hormones thyroïdiennes au printemps chez nos individus.

Pour ce qui est des mesures de la  $T_3$ , nous n'avons pu mesurer de variations de la concentration en triiodothyronine chez nos juvéniles d'omble de fontaine anadrome en raison d'un échantillon d'individus trop petit pour chaque période d'échantillonnage. De plus, les niveaux de la  $T_3$  étaient trop faibles pour être détectés lors de nos tests dans nos échantillons de plasma limitant ainsi le nombre de résultats valides. En conséquence, nous n'avons pas calculé le ratio  $T_3/T_4$  en raison de la trop grande quantité de valeurs faibles de la  $T_3$ . Ces très faibles valeurs peuvent indiquer soit un fort degré de fixation de la  $T_3$  aux

récepteurs périphériques, donc une activité thyroïdienne accrue, soit un faible niveau de transformation de la  $T_4$  en  $T_3$ , indiquant alors une faible utilisation des hormones thyroïdiennes.

## **2. Structure démographique de la population d'omble de fontaine anadrome exploitée par la pêche sportive dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia**

La technique de marquage-capture et recapture que nous avons effectuée avait pour but d'augmenter les connaissances sur les ombles de fontaine vivants dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia. Nous espérons utiliser cette technique afin d'évaluer la taille de cette population, toutefois, elle requiert certaines conditions spécifiques pour être efficace. Ainsi, un nombre important d'individus marqués et capturés sur une courte période est nécessaire. Cependant, les techniques de capture que nous avons utilisées se sont révélées peu efficaces et ne nous ont pas permis d'obtenir un très grand nombre d'individus marqués rapidement. De plus, sur les 423 ombles de fontaine anadromes marqués dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia, seulement 22 individus ont été repêchés par les pêcheurs sportifs ce qui correspond à 5% de recapture sur une période de quatre mois. Ce faible taux de recapture peut être expliqué par le type de milieu dans lequel le marquage a été effectué. En effet, cet estuaire est caractérisé comme étant un milieu ouvert, il peut donc y avoir émigration et immigration. Toutefois, nous croyons que la possibilité d'effectuer de grands déplacements entre les zones échantillonnées est le facteur le plus susceptible d'avoir limité nos chances de recapter nos individus marqués. Le relief ainsi que la topographie du site ont également rendu plus difficile la capture des individus permettant

aux ombles de contourner aisément nos engins de capture. De plus, certains de nos filets étaient visités et brisés par des prédateurs tels le vison (*Mustela vison*) et la loutre (*Lontra canadensis*), ce qui pouvait limiter nos chances de capturer des individus avec ces engins de pêche. Malgré cela, un omble recapturé à l'été 2007 par un pêcheur démontre que les marquages effectués lors de l'année précédente ont bien tenu, et nous confirme que les juvéniles d'omble de fontaine de cette rivière effectuent plusieurs migrations en estuaire. Cette technique permet également d'étudier les déplacements effectués par les individus marqués et de vérifier l'hypothèse que les ombles de fontaine n'effectuent qu'une faible dispersion à l'embouchure de leur rivière d'origine malgré quelques exceptions qui effectuent de plus grande migration dans l'estuaire (Lenormand *et al.*, 2004; Curry *et al.*, 2006).

L'enregistrement des pêcheurs dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia nous a également fourni beaucoup d'informations sur la population d'omble de fontaine anadrome de cet estuaire qui est exploitée par la pêche sportive. Ainsi, cette forte représentativité de la classe d'âge 2+ chez les ombles capturés par les pêcheurs dans l'estuaire au cours de l'été nous indique que cette pêche exploite principalement des juvéniles mesurant majoritairement entre 115 et 175 mm. Très peu d'individus de moins de deux ans ont été capturés et ce malgré le fait que nos analyses sur les otolithes nous informent qu'un grand pourcentage de ces individus a effectué une première dévalaison à l'âge d'un an. Cette faible représentativité des jeunes migrants d'un an dans la pêche peut nous indiquer une sélectivité des engins de pêche utilisés par les pêcheurs. De plus, nous ne connaissons pas le patron migrateur exact des individus de cette rivière. Il se peut que les individus qui

migrent pour la première fois ne fassent qu'un transfert partiel dans l'estuaire et qu'ils ne résident pas dans la zone exploitée par les pêcheurs. Ces individus profiteraient ainsi de la proximité de l'estuaire pour l'abondance de nourriture et pour favoriser leur croissance. Cela expliquerait la forte croissance observée sur les otolithes de ces individus. La plus faible représentation des classes d'âges supérieures à deux ans peut être expliquée par un transfert plus rapide des ombles dans des zones de plus forte salinité dès l'atteinte d'une certaine taille comme illustré par d'autres études déjà réalisées (Lenormand *et al.*, 2004; Morinville et Rasmussen, 2006). En effet, la classe d'âge des 3+ apparaît dans la pêche en même temps que celle des 2+. Cependant, elle tend à diminuer plus rapidement pour réapparaître plus tard en saison. Cela appuie l'hypothèse d'un transfert en eau salée plus rapide chez les ombles de fontaine de plus grande taille. À l'inverse, les individus de deux ans qui sont de petites tailles deviennent accessibles à la pêche graduellement au cours de l'été et restent en eau douce tout l'été dans l'estuaire. Malgré le fait qu'on ne connaît pas exactement la date de l'arrivée en estuaire de chaque omble, la lecture des otolithes nous permet de croire qu'il n'y a pas de croissance des ombles juvéniles avant le début de juin.

L'application du modèle de Campana nous a permis de comparer la longueur rétrocalculée de chaque individu en fonction de l'âge à leur première migration. Ainsi, nous avons pu remarquer que malgré l'absence de divergence de taille à l'émergence, les individus qui migrent à l'âge de zéro ou un an ont déjà atteint une taille supérieure aux individus qui migrent à l'âge de deux ans seulement. Cette différence de taille nous informe donc que les individus à croissance plus rapide en eau douce parmi notre population seraient les premiers à migrer dans l'estuaire. Cela appuie donc l'hypothèse émise dans la littérature

selon laquelle les individus à croissance plus rapide deviendraient limités plus rapidement dans cet environnement en terme de ressource alimentaire et donc migrent pour améliorer leur aptitude phénotypique malgré les coûts engendrés par une telle migration (Gross *et al.*, 1988; Jonsson et Jonsson, 1993; Thériault et Dodson, 2003; Curry *et al.*, 2006; Morinville et Rasmussen, 2006). On observe également que la majorité des individus capturés dans cet estuaire ont migré à un an. Cependant, si l'on compare les longueurs rétrocalculées, nos ombles sont entre un et deux centimètres plus petits que ceux mesurés sur la rivière Sainte-Marguerite (Qc) à l'âge de un an mais ils sont de taille similaire à deux ans (Thériault et Dodson, 2003). Il se pourrait donc que l'initiation de la migration à l'intérieur d'une population ne soit pas reliée entièrement à l'atteinte d'une certaine taille critique commune à toute l'espèce, mais plutôt reliée à la croissance de chaque individu par rapport à sa propre population en relation avec les conditions du milieu.

Les données provenant de l'enregistrement des pêcheurs dans l'estuaire nous ont également fourni beaucoup d'informations sur le sexe-ratio des ombles capturés. Elles concordent avec les données obtenues par Thériault et Dodson (2003) en ce qui a trait au biais observé entre les différentes cohortes. En effet, nous observons un plus grand nombre de mâles dans les plus jeunes cohortes et à l'inverse plus de femelles dans les cohortes plus âgées. Les rétrocalculs effectués en parallèle sur les otolithes sur l'âge à la première migration complètent nos données. Ces résultats concordent puisqu'un plus grand nombre de mâles sont observés dans les premiers migrants et inversement le fait que l'on retrouve le double de femelles dans les individus ayant migré à deux et trois ans. Nos résultats appuient donc l'hypothèse que les mâles tentent d'atteindre une taille plus importante au cours de leurs

premières années de vie pour augmenter leur chance de se reproduire (Dodson, 1997; Perry *et al.*, 2004). À l'inverse, les femelles ont avantage à atteindre une grande taille sans risquer d'être capturées ou de mourir lors d'une migration trop hâtive. Nous serions donc porté à croire que les femelles restent une année de plus en eau douce afin d'augmenter leur taille et de diminuer les risques et les coûts associés à la migration (Jonsson et Jonsson, 1993, Lenormand *et al.*, 2004). Malgré un taux de mortalité d'environ 90% chez les premiers migrants (Dodson, comm. pers.), il nous est impossible d'établir le taux de mortalité exact associé à chacune des stratégies de migration utilisées par chacun des sexes. Néanmoins, il est intéressant d'observer que dans la classe d'âge 2+ qui est la mieux représentée en terme d'effectif dans la pêche sportive, le ratio mâle et femelle est égal malgré un plus grand nombre de mâles ayant migré lors des années précédentes.

Un important prélèvement d'individus dans la population d'omble peut affecter grandement la dynamique de cette population et également les stratégies de migration. En effet, comme mentionné plus haut dans ce texte, nos individus semblent migrer à une plus petite taille (1 à 2 cm) que celle observée sur la rivière Ste-Marguerite (Thériault et Dodson, 2003). Il se pourrait donc que le prélèvement estimé au cours de l'été par la pêche sportive soit légèrement supérieur à ce que peut soutenir cette rivière sans oublier qu'il ne tient pas compte de la pêche effectuée plus tôt au printemps sur les géniteurs qui dévalent la rivière. Malheureusement, nous ne pouvons comparer les données estimées du nombre d'ombles capturés au cours de l'été aux données de la technique de marquage-capture et recapture sur l'estimation de la taille de la population présente dans l'estuaire. Ces données auraient pu nous donner un indice précieux pour la gestion de la pêche dans l'estuaire

puisque nos estimations sont légèrement supérieures à celles des gestionnaires de la rivière (FAPAQ, comm. pers.). De plus, l'estimation de la fréquentation et de la pression de pêche montre que cette rivière subit une importante exploitation et qu'il faut continuer à suivre l'évolution des captures au cours des prochaines années. La diminution du succès de pêche nous donne également un indice sur la migration des ombles dans l'estuaire. En effet, cette diminution constante du mois de juin à septembre montre que la majorité des ombles juvéniles arrivent en même temps au cours du mois de juin et qu'ensuite la pêche, la prédation et les montaisons en rivière font diminuer graduellement la population d'omble disponible à la pêche dans l'estuaire. L'importante dépression du succès de pêche à la mi-août peut correspondre au retour complet en eau douce des juvéniles d'omble de fontaine anadrome dans la rivière Petite Cascapédia (Curry *et al.*, 2006).

En conclusion, notre étude montre que la pêche sportive dans l'estuaire de la rivière Petite Cascapédia exerce une pression de pêche importante sur les juvéniles d'omble de fontaine au cours de l'été. En effet, nous avons estimé qu'un grand nombre d'ombles juvéniles sont capturés par la pêche sportive chaque été dans cet estuaire. Les adultes migrent plus tôt au printemps et sortent rapidement de la zone estuarienne pour ne revenir que tard en saison dans l'estuaire, ils ne sont donc pas disponibles à la pêche sportive dans notre secteur d'étude. Cependant, l'enregistrement des données de pêche semble indiquer que nos juvéniles ne transfèrent pas en eau salée et restent en amont du pont du boulevard Perron répondant ainsi à l'une de nos hypothèses de départ. Seuls les individus plus âgés (3 ans et plus) qui atteignent une certaine taille ont été capturés en eau salée. Ainsi, en l'absence de preuve d'un transfert dans d'autres secteurs plus en aval au cours de l'été, nous pensons

que ces ombles juvéniles restent disponibles à la pêche sportive tout l'été ce qui pourrait entraîner une surpêche de certaines cohortes. Les données d'osmolalité semblent confirmer cette hypothèse puisque les données enregistrées chez nos juvéniles sont similaires à celles mesurées sur des individus maintenus en eau douce ou très bien acclimatés. Toutefois, le patron d'activité de l'enzyme  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase branchiale identique à celui observé chez des individus matures montre que les individus immatures possèdent une certaine préadaptation printanière des mécanismes iono-osmo-régulateurs. Ce résultat n'est pas surprenant puisque les ombles adultes capturés en estuaire par Janssoone (2002) montraient clairement que l'omble de fontaine possède une très bonne capacité d'osmorégulation. Il est cependant impossible de mesurer exactement le coût métabolique d'une migration en eau salée chez ces individus, car aucun de nos individus immatures n'a été capturé en eau salée. Toutefois, le biais observé pour le sexe-ratio entre les différentes cohortes migrantes peut nous indiquer que ces individus adopteraient différentes tactiques migratoires. De plus, nous avons remarqué que les individus à croissance plus rapide migraient plus tôt dans leur cycle de vie, et que malgré une taille inférieure enregistrée sur d'autres rivières. Parmi les individus qui effectuent leur première dévalaison à un an, un plus grand pourcentage d'entre eux sont des mâles. Ce résultat nous laisse croire à la possibilité que les mâles et les femelles choisissent une stratégie migratrice différente. À la lumière des informations amassées dans ce mémoire, les gestionnaires de la rivière Petite Cascapédia vont pouvoir tenter de comparer nos données de pression de pêche à celles estimées sur d'autres rivières similaires de la même région afin de déterminer si cette population est capable de soutenir cette forte exploitation par la pêche sportive. Ces données vont également pouvoir les aider à répondre à certaines de leurs questions sur le patron migratoire de cette espèce.

## Références

- Aas-Hansen, O., M. Vijayan, H.K. Johnsen, C. Cameron, E.H. Jorgensen. 2005. "Resmoltification in wild, anadromous Arctic charr (*Salvelinus alpinus*): a survey of osmoregulatory, metabolic, and endocrine changes preceding annual seawater migration." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **62**: 195-204.
- Arnesen, A.M., M. Halvorsen, K.J. Nilssen. 1992. "Development of hypoosmoregulatory capacity in Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) reared under either continuous light or natural photoperiod." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **49**: 229-237.
- Audet, C., G. Claireaux. 1992. "Diel and seasonal changes in resting levels of various blood parameters in brook trout (*Salvelinus fontinalis*)." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **49**: 870-877.
- Besner, M., D. Pelletier. 1991. "Adaptation of the brook trout, *Salvelinus fontinalis*, to direct transfer to sea water in spring and summer." Aquaculture **97**: 217-230.
- Blanchfield, P.J., M.S. Ridgway. 1999. "The cost of peripheral males in a brook trout mating system." Animal Behaviour **57**: 537-544.

- Boeuf, G. 1987. Contribution à l'étude de l'adaptation à l'eau de mer chez les poissons Salmonidés. Détermination de critères de smoltification par mesures de l'activité  $(\text{Na}^+/\text{K}^+)\text{ATPase}$  des microsomes de la branchie et des hormones thyroïdiennes plasmatiques. Thèse de Doctorat d'État, Université de Bretagne Occidentale, Brest. 370 p.
- Boeuf, G. 1993. Salmonid Smolting: A pre-adaptation to the oceanic environment. Fish Ecophysiology F. B. Jensen. London, Chapman et Hall: 105-135.
- Boeuf, G., Y. Harache. 1982. "Criteria for adaptation of salmonids to high salinity seawater in France." Aquaculture **28**: 163-176.
- Boeuf, G., Y. Harache. 1984. "Adaptation osmotique à l'eau de mer de différentes espèces (*Salmo trutta*, *Salmo gairdneri*, *Salvelinus fontinalis*) et hybride (*Salmo trutta* x *Salvelinus fontinalis*) de salmonidés." Aquaculture **40**: 343-358.
- Boeuf, G., P. Prunet. (1985). "Measurements of gill  $(\text{Na}^+ - \text{K}^+)\text{-ATPase}$  activity and plasma thyroid hormones during smoltification in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.)." Aquaculture **45**: 111-119.
- Boula, D., V. Castric, L. Bernatchez, C. Audet. 2002. "Physiological, endocrine, and genetic bases of anadromy in the brook charr, *Salvelinus fontinalis*, of the Laval River (Québec, Canada)." Environmental Biology of Fishes **64**: 229-242

- Brown, S. B., K. Fedoruk, J.G. Eales. 1978. "Physical injury due to injection or blood removal causes transitory elevations of plasma thyroxine in rainbow trout, *Salmo gairdneri*." Canadian Journal of Zoology **56**: 1998-2003.
- Campana, S. E. 1990. "How reliable are growth back-calculations based on otoliths?" Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **47**: 2219-2227.
- Castonguay, M., G.J. Fitzgerald, Y. Côté. 1982. "Life history and movements of anadromous brook charr, *Salvelinus fontinalis*, in the St-Jean River, Gaspé, Quebec." Canadian Journal of Zoology **60**: 3084-3091.
- Claireaux, G., C. Audet. 2000. "Seasonal changes in the hypo-osmoregulatory ability of brook charr: the role of environmental factors." Journal of Fish Biology **56**: 347-373.
- Clark, C.W. 1994. "Antipredator behaviour and the asset-protection principle." Behavioral Ecology **5**: 159-170.
- Couturier, C.Y., L. Clarke, A.M. Sutterlin. 1986. "Identification of spawning areas of two forms of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) inhabiting the same watershed." Fisheries Research **4**: 131-144.

Curry, R.A., D. Sparks, J. Van de Sande. 2002. "Spatial and temporal movements of a riverine brook trout population." Transactions of the American Fisheries Society **131**: 551-560.

Curry, R.A., J. Van de Sande, F.G. Whoriskey Jr. 2006. "Temporal and spatial habitats of anadromous brook charr in the Laval River and its estuary." Environmental Biology of Fishes **76**: 361-370.

Dickerson, B.R., G.L. Vinyard. 1999. "Effects of high chronic temperatures and diel temperature cycles on the survival and growth of Lahontan cut-throat trout." Transactions of the American Fisheries Society **128**: 516-521.

Dickhoff, W.W., L.C. Folmar, J.L. Mahnken, L.C. Mighell. 1982. "Plasma thyroid hormones during smoltification of yearling and underyearling coho salmon and yearling chinook salmon and steelhead trout." Aquaculture **28**: 39-48.

Dieperink, C., S. Pedersen, M.I. Pedersen. 2001. "Estuarine predation on radiotagged wild and domesticated sea trout (*Salmo trutta* L.) smolts." Ecology of Freshwater Fish **10**: 177-183.

Dodson, J.J. 1997. Fish migration: an evolutionary perspective. Behavioral ecology of teleost fishes. J.-G. Godin. New York, Oxford University Press: 10-36 pp.

- Dutil, J.-D., G. Power. 1980. "Coastal populations of brook trout, *Salvelinus fontinalis*, in Lac Guillaume-Delisle (Richmond Gulf) Quebec." Canadian Journal of Zoology **58**: 1828-1835.
- Elsdon, T.S., B.M. Gillanders. 2005. "Alternative life-history patterns of estuarine fish: barium in otoliths elucidates freshwater residency." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **62**: 1143-1152.
- Evans, D.H. 1984. The roles of gill permeability and transport mechanisms in euryhalinity. Fish physiology. W. S. H. a. D. J. Randall. New York, Academic Press: 239-283 pp.
- Evans, D.H. 1998. Osmotic and ionic regulation. Fish physiology XB. W. S. Hoar and D. J. Randall. New York, Academic Press: 315-341.
- Folmar, L.C., W.W. Dickhoff. 1980. "The parr-smolt transformation (smoltification) and seawater adaptation in salmonids." Aquaculture **21**: 1-37.
- Folmar, L.C., W.W. Dickhoff. 1981. "Evaluation of some physiological parameters as indices of smoltification." Aquaculture **23**: 309-334.
- Fontaine, M. (1975). "Physiological mechanisms in the migration of marine and amphialine fish." Advances in Marine Biology **13**: 241-255.

Fontaine, M., J. Leloup, M. Olivereau. 1952. "La fonction thyroïdienne du jeune saumon, *Salmo salar* L. (parr et smolt) et son intervention possible dans la migration d'avalaison." Archives des sciences physiologiques **6**: 83-104.

Foskett, J.K., C. Scheffey. 1982. "The chloride cell: definitive identification as the salt-secretory cell in teleosts." Science **215**: 164-166.

Godin, J. G., P. A. Dill, D.E. Drury. 1974. "Effects of thyroid hormones on behaviour of yearling Atlantic salmon *Salmo salar* L." Journal of the Fisheries Research Board of Canada **31**: 1787-1790.

Gross, M. R. 1987. "Evolution of diadromy in fishes." American Fisheries Society symposium **1**: 14-25.

Gross, M.R., R.M. Coleman, R.M. McDowall. 1988. "Aquatic productivity and the evolution of diadromous fish migration." Science **239**: 1291-1293.

Halvorsen, M., A.M. Arnesen, M. Jobling, K.M. Nilssen. 1993. "Osmoregulatory ability of anadromous Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), migrating toward the sea." Aquaculture and Fisheries Management **24**: 191-211.

- Heinonen, J.K., R.J. Lahti. 1981. "A new and convenient colorimetric determination of inorganic orthophosphate and its application to the assay of inorganic pyrophosphatase." Analytical Biochemistry **113**: 313-317.
- Hiroi, J., S.D. McCormick 2007. "Variation in salinity, gill  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase,  $\text{Na}^+/\text{K}^+/\text{2Cl}^-$  cotransporter and mitochondria-rich cell distribution in three salmonids *Salvelinus namaycush*, *Salvelinus fontinalis* and *Salmo salar*." The Journal of Experimental Biology **210**: 1015-1024.
- Hoar, W.S. 1976. "Smolt transformation: evolution, behavior, and physiology." Journal of the Fisheries Research Board of Canada **33**: 1234-1252.
- Hoar, W.S. 1988. The physiology of smolting salmonids. Fish Physiology. W. S. H.E. D.J. Randall. New York, Academic Press. **XIB**: 275-343.
- Holtby, L.B., M.C. Healey. 1990. "Sex-specific life-history tactic and risk-taking in coho salmon." Ecology **71**: 678-690.
- Hutchings, J.A. 1996. "Adaptative phenotypic plasticity in brook trout, *Salvelinus fontinalis*, life histories." Écoscience **3**: 25-32.

- Hutchison, M.J., M. Iwata. 1997. "Decreased of aggressive behavior in masu salmon (*Oncorhynchus masou*) during the parr-smolt transformation." Memoirs of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University **44**: 22-25.
- Hutchison, M.J., M. Iwata. 1998. "Effect of thyroxine on the decrease of aggressive behaviour of four salmonids during the parr-smolt transformation." Aquaculture **168**: 169-175.
- Iwata, M. 1995. "Downstream migratory behavior of salmonids and its relationship with cortisol and thyroid hormones: a review." Aquaculture **135**: 131-139.
- Iwata, M. 1996. "Downstream migratory behaviour and endocrine control of salmonid fishes." Bulletin of National Research Institute of Aquaculture. Supplement **2**: 17-21.
- Janssoone, X. 2002. Comparaison écophysiologique des formes anadrome et résidente de l'Omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) dans la Petite Cascapédia (Québec, Canada). Rimouski, Université du Québec à Rimouski. 51 p.
- Johnstone, H.C., F.J. Rahel. 2003. "Assessing temperature tolerance of Bonneville cutthroat trout based on constant and cycling thermal regimes." Transactions of the American Fisheries Society **132**: 92-99.

- Jonsson, B., N. Jonsson. 1993. "Partial migration: niche shift versus sexual maturation in fishes." Reviews in Fish Biology and Fisheries **3**: 348-365.
- Jorgensen, H., A.M. Arnesen. 2002. "Seasonal changes in osmotic and ionic regulation in Artic charr, *Salvelinus alpinus*, from a high- and a sub-artic anadromous population." Environmental Biology of Fishes **64**: 185-193.
- Karnaky, K.J.J. 1980. "Ion-secretory epithelia: chloride cells in the head region of *Fundulus heteroclitus*." American Journal of Physiology **238**: 185-198.
- Krebs, C. J. 1999. Ecological methodology. Californie, Benjamin Cummings. 620p.
- Langdon, J.S., J.E. Thorpe. 1984. "Response of the gill  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPase activity, succinic dehydrogenase activity and chloride cells to saltwater adaptation in Atlantic salmon, *Salmo salar L.*, parr and smolt." Journal of Fish Biology **24**: 323-331.
- Lasserre, P., G. Boeuf, Y. Harache. 1978. "Osmotic adaptation of *Oncorhynchus kisutch* Walbaum. I: Seasonal variations of gill  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPase activity in coho salmon, 0+ age and yearling, reared in freshwater." Aquaculture **14**: 365-382

- Lavallée, D. 2004. Effets de l'expérience, de l'âge et des caractéristiques du milieu immédiat sur les hormones thyroïdiennes et l'activité  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -ATPasique branchiale chez l'Omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) des rivières Laval et Sainte-Marguerite. Rimouski, Université du Québec à Rimouski. 55 p.
- Leatherland, J.F. 1982. "Effect of ambient salinity, food deprivation and prolactin on the thyroidal response to TSH, and *in vitro* hepatic  $\text{T}_4$  to  $\text{T}_3$  conversion in yearling coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*." Acta Zoologica **63**: 55-64.
- Lebel, J.-M., J. Leloup. 1992. "La triiodothyronine est nécessaire à l'acclimatation à l'eau de mer de la truite fario (*Salmo trutta*) ou arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*)."  
Comptes Rendus de l'Académie des Sciences **314**: 461-468.
- Leloup, J., J.-M. Lebel. 1993. "Triiodothyronine is necessary for the action of growth hormone in acclimation to seawater of brown (*Salmo trutta*) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)."  
Fish Physiology and Biochemistry **11**: 165-173.
- Lenormand, S., J.J. Dodson, A. Ménard. 2004. "Seasonal and ontogenetic patterns in the migration of anadromous brook charr (*Salvelinus fontinalis*)."  
Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **61**: 54-67.
- Lowry, O.H., N.J. Rosebrough, A.L. Farr, R.J. Randall. 1951. "Protein measurement with the folin phenol reagent." Journal of Biological Chemistry **193**: 265-275.

- MacCrimmon, H.R., J.S. Campbell. 1969. "World distribution of brook trout, (*Salvelinus fontinalis*)." Journal of the Fisheries Research Board of Canada **26**: 1699-1725.
- Madsen, S.S., B. Korsgaard. 1989. "Time-course effects of repetitive estradiol-17 $\beta$  and thyroxine injections on the natural spring smolting of Atlantic salmon, *Salmo salar* L." Journal of Fish Biology **35**: 119-128.
- Magnan, P., G.J. Fitzgerald. 1983. "Age scalaire et otolitique de l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*): comparaison et interprétation des faux annuli." Naturaliste Canadien **110**: 149-154.
- Marshall, W.S., S.E. Bryson. 1998. "Transport mechanisms of seawater teleost chloride cells: an inclusive model of a multifunctional cell." Comparative Biochemistry and Physiology **119 A**: 97-106.
- McCormick, S.D. 1994. "Ontogeny and evolution of salinity tolerance in anadromous salmonids: hormones and heterochrony." Estuaries **17**: 26-33.
- McCormick, S.D. 2001. "Endocrine control of osmoregulation in teleost fish." American Zoologist **41**: 781-794.

McCormick, J.M., K.E.F. Hokanson, B.R. Jones. 1972. "Effects of temperature on growth and survival of young brook trout *Salvelinus fontinalis*." Journal of the Fisheries Research Board of Canada **29**: 1107-1112.

McCormick, S.D., R.J. Naiman, E.T. Montgomery. 1985. "Physiological smolt characteristics of anadromous brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*)." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **42**: 529-538.

McCormick, S.D., R.L. Saunders. 1987. "Preparatory physiological adaptations for marine life in salmonids: osmoregulation, growth and metabolism." American Fisheries Society Symposium **1**: 211-229.

McCormick, S.D., J.M. Shrimpton, J.B. Carey, M.F. O'Dea, K.E. Sloan, S. Moriyama, B.T. Bjornsson. 1998. "Repeated acute stress reduces growth rate of Atlantic salmon parr and alters plasma levels of growth hormone, insuline-like growth factor I and cortisol." Aquaculture **168**: 221-235.

McPhail, D., C.C. Lindsey. 1970. The fishes of northwestern Canada and Alaska. Fisheries Research Board of Canada Bulletin. Ottawa: 173 p.

- Montgomery, E.T., S.D. McCormick, R.J. Naiman, F.G. Whoriskey, G. Black. 1990. "Anadromous behaviour of brook charr (*Salvelinus fontinalis*) in the Moisie River, Quebec." Polish Archives of Hydrobiology **38**: 43-61.
- Morinville, G.R., J.B. Rasmussen. 2006. "Marine feeding patterns of anadromous brook trout (*Salvelinus fontinalis*) inhabiting an estuarine river fjord." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **63**: 2011-2027.
- Morita, K., Y. Takashima. 1998. "Effect of female size on fecundity and egg size in white-spotted charr: comparison between sea-run and resident forms." Journal of Fish Biology **53**: 1140-1142.
- Naiman, R.J., S.D. McCormick, W.L. Montgomery, R. Morin. 1987. "Anadromous brook charr, *Salvelinus fontinalis*. Opportunities and constraints for population enhancement." Marine Fisheries Review **49**: 1-13.
- Nilssen, K.J., O.A. Gulseth, M. Iversen, R. Kjol. 1997. "Summer osmoregulatory capacity of the world's northernmost living salmonid." American Journal of Physiology **272**: 743-749.

- Nishikawa, K., T. Kirashima, S. Suzuki, M. Suzuki. 1979. "Changes in circulating L-thyroxine and L-triiodothyronine of the masu salmon, *Oncorhynchus masou*, accompanying the smoltification, measured by radioimmunoassay." Endocrinologia Japonica **26**: 731-735.
- Perry, G.M.L., C. Audet, L. Bernatchez, B. Laplatte. 2004. "Shifting patterns in genetics control at the embryo-alevin boundary in brook charr." Evolution **58**: 2002-2012.
- Perry, G.M.L., C. Audet, L. Bernatchez. 2005. "Maternal genetic effects on adaptive divergence between anadromous and resident brook charr during early life history." Journal of Evolutionary Biology **18**: 1348-1361.
- Pollock, K.H., C.M. Jones, T.L. Brown. 1994. Angler survey methods and their applications in fisheries management. American Fisheries Society Special Publication. 363 p.
- Power, G. 1980. The brook charr, *Salvelinus fontinalis* Charr: Fishes of the genus Salvelinus. E. K. Balon. Netherlands, The Hague: 141-203.
- Railsback, S.F., K.A. Rose. 1999. "Bionergetics modeling of stream trout growth: temperature and food consumption effects." Transactions of the American Fisheries Society **128**: 241-256.

- Randall, R.G., M.C. Healey, J.B. Dempson. (1987). "Variability in length of freshwater residence of salmon, trout and charr." American Fisheries Society symposium **1**: 27-41.
- Rikardsen, A.H., J.M. Elliott. 2000. "Variations in juvenile growth, energy allocation and life-history strategies of two populations of Arctic charr in North Norway." Journal of Fish Biology **56**: 328-346.
- Rikardsen, A.H., M.A. Svenning, A. Klemetsen. 1997. "The relationship between anadromy, sex ratio and parr growth of Arctic charr in a lake in north Norway." Journal of Fish Biology **51**: 447-461.
- Ricker, W.E. 1975. "Computation and interpretation of biological statistics of fish population." Fisheries Research Board of Canada Bulletin: 191 p.
- Rogers, S.M., R.A. Curry. 2004. "Genetic population structure of brook trout inhabiting a large river watershed." Transactions of the American Fisheries Society **113**: 1138-1149.
- Saunders, R.L., E.B. Henderson. 1978. "Changes in gill ATPase activity and smolt status of Atlantic salmon (*Salmo salar*)." Journal of the Fisheries Research Board of Canada **35**: 1542-1546.

- Smith, M.W., J.W. Saunders. 1958. "Movements of brook trout (*Salvelinus fontinalis*, Mitchill) between and within fresh and salt water." Journal of the Fisheries Research Board of Canada **15**: 1403-1449.
- Soivio, A., M. Muona, E. Virtanen. 1989. "Smolting of two populations of *Salmo trutta*." Aquaculture **82**: 147-153.
- Sokal, R.B., F.J. Rohlf. 1981. Biometry. The principles and practice of statistics in biological research. San Francisco, W.H. Freeman & Co. 859 pp.
- Svenning, M.-A., A. Smith-Nilsen, M. Jobling. 1992. "Sea water migration of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) Correction between freshwater growth and seaward migration, based on back-calculation from otoliths." Nordic Journal of Freshwater Research **67**: 18-26.
- Thériault, V., J.J. Dodson. 2003. "Body size and the adoption of a migratory tactic in brook charr." Journal of Fish Biology **63**: 1144-1159.
- Thorpe, J.E., M. Mangel, F.A. Huntingford, N.B. Metcalfe. 1998. "Modelling the proximate basis of salmonid life-history variation, with application to Atlantic salmon, *Salmo salar* L." Evolutionary Ecology **12**: 581-599.

- Van den Berghe, E.P., M.R. Gross. 1986. "Length of breeding life of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*)." Canadian Journal of Zoology **64**: 1482-1486.
- Verspoor, E., L.J. Cole 1989. "Genetically distinct sympatric populations of resident and anadromous Atlantic salmon, *Salmo salar*." Canadian Journal of Zoology **67**: 1453-1461.
- Vincent, B. 2002. Les statistiques appliqués à la biologie : Volume 1. Université du Québec à Rimouski. 192p.
- Whoriskey, F.G., R.J. Naiman, W.L. Montgomery. 1981. "Experimental sea ranching of brook trout (*Salvelinus fontinalis*, Mitchill)." Journal of Fish Biology **19**: 637-651.
- Wilder, D.G. 1952. "A comparative study of anadromous and freshwater populations of brook trout (*Salvelinus fontinalis* (Mitchill))." Journal of the Fisheries Research Board of Canada **9**: 169-202.
- Young, G., S.D. McCormick, B.T. Bjornsson, H.A. Bern. 1995. "Circulating growth hormone, cortisol and thyroxine levels after 24h seawater challenge of yearling coho salmon at different developmental stages." Aquaculture **136**: 371-384.

Youngson, A.F., H.A. McLay, T.C. Olsen. 1986. "The responsiveness of the thyroid system of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts to increased water velocity." Aquaculture **56**: 243-255.

Zaugg, W.S. 1982. "A simplified preparation for adenosine triphosphatase determination in gill tissue." Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences **39**: 215-217.

## Annexe 1

Échantillonnage aléatoire du deuxième degré avec unités de tailles inégales		
	Population	Échantillon
Données	$y_{iju}$	$y_{iju}$
Nombre total d'U1	$N$	$n$
Nombre d'U2 par U1	$M_i$	$m_i$
Taille moyenne des U1	$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^n M_i}{N}$	
Moyenne des U1	$\bar{y}_i = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}}{m_i}$	
Moyenne générale	$\bar{y} = \frac{1}{n\bar{M}} \sum_{i=1}^n M_i \bar{y}_i$	
Variance de la moyenne	$v(\bar{y}) = \left(\frac{1}{n} - \frac{1}{N}\right) \cdot s_b^2 + \frac{1}{nN} \sum_{i=1}^n \frac{M_i^2}{\bar{M}^2} \left(\frac{1}{m_i} - \frac{1}{M_i}\right) \cdot s_i^2$ $s_b^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{M_i}{\bar{M}} \bar{y}_i - \bar{y}\right)^2$ $s_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^{m_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}{m_i - 1}$	