

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À  
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À CHICOUTIMI  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN RESSOURCES RENOUVELABLES

PAR  
GENEVIÈVE TREMBLAY

IMPACT DE LA PRÉDATION SUR LE RECRUTEMENT DE L'ÉPERLAN ARC-EN-  
CIEL (*OSMERUS MORDAX*) AU LAC SAINT-JEAN

5 JANVIER 2004



### Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

## RÉSUMÉ

La pêche sportive est une activité économique importante dans plusieurs régions du Québec. Il est donc fondamental de connaître les différents facteurs pouvant être responsables du déclin de certaines espèces de poissons. La prédation joue un rôle important dans la structure et la dynamique des populations de poissons fourrages (densité et force de la classe d'âge). L'étude de la consommation permet d'évaluer l'impact de la prédation sur les proies. Il existe diverses méthodes pour estimer la consommation des poissons. L'une des plus intéressantes est le modèle bioénergétique. Il consiste essentiellement en une équation énergétique balancée où la consommation est égale à la somme de l'énergie utilisée pour le métabolisme standard, la digestion et l'activité, perdue sous la forme fécale et urinaire et accumulée pour la croissance. Au lac Saint-Jean, la ouananiche et le doré jaune sont deux espèces très appréciées des pêcheurs sportifs en plus d'être deux des plus importants prédateurs. Depuis les quinze dernières années, l'abondance de la ouananiche a chuté de façon significative. Cette diminution est associée à une diminution des stocks d'éperlan arc-en-ciel, la principale source de nourriture de ce salmonidé. Le doré jaune a fait l'objet de quelques études au lac Saint-Jean mais les avis sur l'importance de l'éperlan dans la diète de ce prédateur sont variés. L'objectif général de ce projet était d'évaluer l'impact de la prédation sur le recrutement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean. Les objectifs spécifiques étaient de (1) quantifier l'importance de l'éperlan dans la diète de la ouananiche de 1997 à 2002 et du doré jaune de 2001 à 2002, (2) de comparer les résultats obtenus à des données historiques, (3) de comparer la diète du doré jaune du lac Saint-Jean à celle observée dans d'autres études menées en Amérique du Nord et (4) de développer un modèle bioénergétique pour la ouananiche afin de prédire la consommation de cette dernière au lac Saint-Jean.

Pour y parvenir, une description du régime alimentaire de la ouananiche (1997 à 2002) et du doré jaune (2001 et 2002) a été réalisée suite à l'étude de leur contenu stomacal. Les poissons provenaient de la pêche sportive au lac Saint-Jean. Les résultats ont été comparés à des données similaires provenant d'études effectuées en 1972, 1988 et 1989. La consommation observée de la ouananiche a été estimée avec la méthode d'Eggers puis avec le modèle bioénergétique que nous avons développé pour la ouananiche à l'aide d'expériences en laboratoire et d'équations tirées de la littérature. Ceci nous a permis d'estimer la consommation de la ouananiche du lac Saint-Jean durant leurs quatre premières années de vie en lac.

Les résultats obtenus suggèrent que la ouananiche soit très sélective en ce qui concerne le choix de ses proies. Elle se nourrit principalement de jeunes éperlans arc-en-ciel de l'année. Le doré jaune serait, quant à lui, un prédateur opportuniste se nourrissant d'une grande variété de proies, quoiqu'il semble, au lac Saint-Jean, se nourrir d'une grande proportion d'insectes. La ouananiche ne semble donc pas être affectée négativement par la compétition du doré jaune. Les résultats obtenus démontrent que la consommation prédite par le modèle bioénergétique est de deux à sept fois plus élevée que celle estimée avec la méthode d'Eggers (1977). Cette surestimation de la consommation serait possiblement due à une estimation trop élevée de l'activité. Par contre, la consommation prédite par le modèle bioénergétique donne une bonne idée de l'impact de la prédation sur l'éperlan. En effet, les saumoneaux ingéreraient plus de 69% de la quantité d'éperlans consommés annuellement par l'ensemble des quatre classes d'âge de ouananiches à l'étude. C'est donc cette classe d'âge qui aurait l'impact le plus important sur le recrutement des jeunes éperlans au lac Saint-Jean.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tout spécialement mon directeur, M. Pascal Sirois, pour m'avoir donné la chance de travailler sur une problématique très intéressante et pour m'avoir aidée et appuyée tout au long de ce projet. Je voudrais également remercier M. Michel Legault, de la Société de la faune et des parcs du Québec (FAPAQ), pour les idées et l'aide qu'il m'a apportées.

Je veux aussi souligner l'aide apportée par M. Omer Gauthier, M. Laurier Coulombe et Mme Danielle Huard (FAPAQ), pour la récolte des échantillons auprès des pêcheurs sportifs et des autochtones ainsi que pour le transfert de nombreux fichiers. Je tiens à remercier François Villeneuve et Anne-Lise Fortin pour leur aide lors de l'analyse des contenus stomacaux des dorés jaunes. Je veux aussi remercier M. Serge Guimond ainsi que tout le personnel de la Station piscicole de Tadoussac (FAPAQ) pour m'avoir permis d'étudier les ouananiches qu'ils gardent en captivité et pour m'avoir aidé lors des diverses manipulations.

Enfin, je voudrais souligner le support financier apporté par la Corporation de LACTivité Pêche Lac-Saint-Jean, la Fondation Place du Royaume et l'Association des diplômés et amis de l'UQAC.

## TABLE DES MATIÈRES

Résumé.....	i
Remerciements.....	iii
Table des matières .....	iv
Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures .....	vii
Liste des annexes .....	ix
CHAPITRE I: INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE II: RÉGIME ALIMENTAIRE DE LA OUANANICHE ET DU DORÉ JAUNE AU LAC SAINT-JEAN.....	7
2.1 Description du site à l'étude .....	8
2.2 Matériel et méthodes.....	9
2.2.1 Échantillonnage .....	9
2.2.2 Traitement des échantillons .....	10
2.2.3 Analyses statistiques.....	11
2.3 Résultats.....	11
2.4 Discussion.....	19
CHAPITRE III: MODÈLE BIOÉNERGÉTIQUE .....	24
3.1 Expérience de validation.....	25
3.1.1 Matériel et méthodes.....	25
3.1.1.1 Description des modèles bioénergétiques utilisés .....	25
3.1.1.2 Expérience en laboratoire .....	29
3.1.1.3 Densité énergétique.....	32
3.1.1.4 Analyse de sensibilité .....	32
3.1.2 Résultats.....	34
3.1.2.1 Expérience en laboratoire .....	34
3.1.2.2 Modèle bioénergétique modifié pour la ouananiche.....	35
3.1.2.3 Analyse de sensibilité .....	38
3.1.3 Discussion.....	40
3.1.3.1 Expérience en laboratoire .....	40
3.1.3.2 Analyse de sensibilité .....	41
3.2 Estimation de la consommation de la ouananiche du lac Saint-Jean.....	42
3.2.1 Matériel et méthodes.....	42
3.2.1.1 Estimation de la consommation de la ouananiche à l'aide du modèle bioénergétique modifié.....	42
3.2.1.2 Densité énergétique.....	52

3.2.1.3 Analyse de sensibilité .....	52
3.2.1.4 Estimation de la consommation de la ouananiche à l'aide des contenus stomacaux.....	53
3.2.2 Résultats.....	54
3.2.2.1 Estimation de la consommation de la ouananiche à l'aide du modèle bioénergétique.....	54
3.2.2.2 Analyse de sensibilité .....	59
3.2.2.3 Estimation de la consommation de la ouananiche à l'aide des contenus stomacaux.....	61
3.2.3 Discussion.....	61
3.2.3.1 Estimation de la consommation de la ouananiche à l'aide du modèle bioénergétique.....	61
3.2.3.2 Analyse de sensibilité .....	64
3.2.3.3 Estimation de la consommation de la ouananiche à l'aide des contenus stomacaux.....	65
CHAPITRE IV: CONCLUSION.....	67
LISTE DES RÉFÉRENCES .....	70
ANNEXES.....	77

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Volume moyen (ml) de nourriture ingérée par la ouananiche de juin à août. Les lettres entre parenthèses sont les résultats du test H.S.D. de Tukey. Le test a été fait pour déterminer les différences significatives entre les années pour chaque catégories de proies.....	15
Tableau 2. Volume moyen (ml) de nourriture ingérée par le doré jaune de juin à août. Les lettres entre parenthèses sont les résultats du test H.S.D. de Tukey. Le test a été fait pour déterminer les différences significatives entre les années pour chaque catégories de proies.....	15
Tableau 3. Proportion de poissons dans le régime alimentaire du doré jaune.....	18
Tableau 4. Valeurs des paramètres utilisées dans les modèles bioénergétiques du saumon nerka (Beauchamp et al. 1989) et du saumon coho (Stewart et Ibarra 1991).....	23
Tableau 5. Valeurs des paramètres utilisées dans le modèle bioénergétique modifié pour la ouananiche (Beauchamp et al. 1989; Brett et Glass 1973). ....	37
Tableau 6. Proportion (pourcentage du poids) qu'occupe chaque catégorie de proies dans le régime alimentaire de la ouananiche du lac Saint-Jean pour une année de croissance favorable et défavorable.....	46
Tableau 7. Consommation prédite par le modèle bioénergétique de la ouananiche et estimée avec la méthode d'Eggers (1977).....	61

## LISTE DES FIGURES

- Figure 1. Zone de pêche à la ouananiche et au doré jaune au lac Saint-Jean. .... 10
- Figure 2. Proportion (exprimée en pourcentage du nombre) de proies ingérées par a) la ouananiche et b) le doré jaune de juin à août. Les nombres entre parenthèses représentent le nombre de spécimens analysés à chaque année. .... 13
- Figure 3. Proportion de nourriture ingérée par le doré jaune exprimée en pourcentage du nombre (gauche) et en pourcentage du volume (droite) pour les années a) 1972, b) 1988, c) 2001 et d) 2002. Les nombres entre parenthèses représentent le nombre de spécimens analysés. .... 17
- Figure 4. Comparaison entre les masses observées en laboratoire et celles prédites par le modèle du saumon nerka (Beauchamp et al. 1989) et du saumon coho (Stewart et Ibarra 1991)..... 34
- Figure 5. Comparaison entre les masses observées en laboratoire et celles prédites par le modèle du saumon nerka (Beauchamp et al. 1989), du saumon coho (Stewart et Ibarra 1991) et modifié pour la ouananiche. .... 38
- Figure 6. Sensibilité de la consommation aux variations de  $\pm 10\%$  ou  $\pm 1^\circ\text{C}$  des valeurs des divers paramètres du modèle bioénergétique de la ouananiche en laboratoire..... 39
- Figure 7. Courbe de croissance de la ouananiche du lac Saint-Jean durant leurs quatre premières années de vie en lac pour une année de croissance favorable et une année de croissance défavorable..... 44
- Figure 8. Température moyenne des eaux du lac Saint-Jean de 1971 à 2002. .... 45
- Figure 9. Abondance de la ouananiche au lac Saint-Jean durant leurs quatre premières années de vie en lac pour une année de croissance favorable et défavorable..... 49
- Figure 10. Consommation prédite par le modèle pour les ouananiches du lac Saint-Jean durant leurs quatre premières années de vie en lac pour a) une année de croissance favorable et b) une année de croissance défavorable..... 55

- Figure 11. Consommation journalière d'éperlans ingérés par les ouananiches du lac Saint-Jean durant leurs a) première, b) deuxième, c) troisième et d) quatrième années en lac pour une année de croissance favorable (à gauche) et défavorable (à droite). La courbe en gras représente la consommation cumulée et celle plus fine, la consommation totale journalière.....57
- Figure 12. Nombre total d'éperlans 0<sup>+</sup> consommés par les ouananiches du lac Saint-Jean durant leurs quatre premières années de vie en lac pour une année de croissance favorable et défavorable.....58
- Figure 13. Sensibilité de la consommation aux variations de  $\pm 10\%$  ou  $\pm 1^\circ\text{C}$  des valeurs des différents paramètres du modèle bioénergétique de la ouananiche du lac Saint-Jean durant leurs quatre premières années de vie en lac pour une année de croissance favorable (à gauche) et défavorable (à droite). .....60

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Relations entre le volume et le nombre a) des insectes aquatiques et b) des insectes terrestres.....	78
Annexe 2. Relations entre le nombre et le volume a) des insectes aquatiques, b) des insectes terrestres et c) des poissons.....	79
Annexe 3. Relation entre la longueur à la fourche et la masse des ouananiches du lac Saint-Jean.....	80
Annexe 4. Relation entre la masse des ouananiches femelles et le nombre d'œufs pondus .....	81
Annexe 5. Relation entre la longueur et la masse de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean.....	82
Annexe 6. Relation entre le volume et la masse a) des insectes aquatiques, b) des insectes terrestres et c) des poissons.....	83

## CHAPITRE I

### INTRODUCTION

La pêche sportive est une activité économique importante pour plusieurs régions du Québec. Il est donc fondamental de connaître les différents facteurs pouvant être responsables du déclin de certaines espèces de poissons. La prédation joue un rôle important dans la structure et la dynamique des communautés de poissons. Il est reconnu que la vulnérabilité des proies dépend en grande partie de leur taille corporelle (Rice et al. 1993; Burke et Rice 2002). En effet, un paradigme en écologie aquatique stipule que les individus ayant une plus grande taille et une meilleure croissance ont plus de chance de survivre que ceux ayant une plus petite taille et un développement plus lent (Hargreaves et LeBrasseur 1986; Tonn et Paszkowski 1986; Post et Evans 1989; Tonn et al. 1992). Cependant, les prédateurs des jeunes poissons peuvent s'alimenter autant des plus petits individus, plus vulnérables (Juanes et Conover 1994), que des plus gros, plus visibles et offrant un meilleur gain énergétique (Pepin et Shears 1995; Gleason et Bengtson 1996). Dans l'un ou l'autre des cas, les prédateurs réduisent directement le nombre de proies au sein d'une cohorte donnée. Ce phénomène a un impact important non seulement sur la densité des populations mais également sur la force de la classe d'âge et sur le recrutement des poissons fourrages (Tonn et Paszkowski 1986; Tonn et al. 1992).

Bien que les prédateurs influencent grandement les populations de proies, il ne faut pas oublier que celles-ci ont un impact non négligeable sur les prédateurs. En effet, un poisson doit acquérir un minimum d'énergie pour maintenir ses fonctions vitales et survivre. Ce n'est que lorsque l'énergie excède ce minimum qu'elle peut être utilisée pour la croissance somatique et le développement des gonades (Kitchell et al. 1977). Donc plus

l'abondance des proies sera élevée et plus elles seront en bonne condition, meilleure sera la croissance, la condition et la survie des prédateurs (Rand et al. 1994). Que l'offre et la demande en proies soient en équilibre est donc un élément clé pour une stabilité à long terme des communautés aquatiques (Ruzycki et al. 2001).

L'étude de la consommation est une avenue intéressante pour évaluer l'impact des prédateurs sur leurs proies. Il existe différentes méthodes pour estimer la consommation. Les plus traditionnelles sont celles d'Elliott et Persson (1978) et d'Eggers (1977). Ces deux méthodes requièrent un suivi de la quantité de nourriture ingérée par un poisson (poids du contenu stomacal) durant une journée ainsi qu'une estimation du taux d'évacuation gastrique. Une seconde approche consiste en l'utilisation de modèles bioénergétiques. En effet, ces derniers sont fréquemment utilisés en écologie aquatique et en sciences halieutiques pour estimer non seulement la consommation (Stewart et Binkowski 1986; Stewart et Ibarra 1991) mais également la croissance chez une grande variété d'espèces ichtyologiques (Kitchell et al. 1977). Ils s'avèrent des outils de gestion intéressants pour décrire, quantifier et éventuellement prédire les variations énergétiques à l'intérieur des stocks de poissons. Ils servent entre autre à évaluer l'impact des prédateurs sur les proies (Stewart et al. 1983; Hartman et Margraf 1992). Ils sont également utilisés pour répondre à d'autres questions sur des sujets tels que la relation entre la quantité de nourriture ingérée et la croissance (Kitchell et al. 1977), les effets des changements climatiques sur les poissons (Hill et Magnuson 1990), le cycle des nutriments dans les lacs (Schindler et al. 1993; Kraft 1993) ou la bioaccumulation de polluants dans les poissons (Mather et

Johansen 1985). L'élaboration des modèles bioénergétiques repose essentiellement sur une équation balancée où l'énergie acquise lors de l'alimentation (consommation) est égale à la sommation de l'énergie allouée pour les différentes activités physiologiques telles que le métabolisme standard, la digestion, la croissance, l'activité, l'excrétion urinaire et les pertes fécales (Bagenal 1978; Kitchell et al. 1977; Stewart et al. 1983; Beauchamp et al. 1989; Hewett et Johnson 1992).

Au lac Saint-Jean, la ouananiche (*Salmo salar*) et le doré jaune (*Stizostedion vitreum*) sont deux espèces de poissons très appréciées par les pêcheurs sportifs en plus d'être deux des plus importants prédateurs. L'avenir de la ouananiche au lac Saint-Jean est très préoccupant. Depuis les quinze dernières années, son abondance a chuté de façon significative à deux reprises. En effet, des variations importantes du nombre de captures en lac ainsi que du nombre de reproducteurs ayant remonté les quatre principaux tributaires ont été observées. De plus, une diminution de croissance des individus a également été observée. Pour remédier à ce problème, plusieurs actions ont été posées telles que la diminution des quotas de pêche, l'instauration d'une taille minimale de capture et l'ensemencement de tacons en rivières. Malgré tous ces efforts, la situation de la ouananiche reste encore aujourd'hui précaire.

Un facteur important à considérer pour assurer la conservation et la restauration de la ouananiche au lac Saint-Jean concerne son alimentation (Centre écologique du lac Saint-Jean 1997). La ouananiche semble très sélective en ce qui concerne le choix de ses proies.

Elle se nourrit principalement d'éperlans arc-en-ciel, *Osmerus mordax* (Kircheis et Stanley 1981; Kim et LaBar 1996; Bernatchez et Giroux 2000). Les études de Mahy (1975), de Nadon (1991) et de Lefevbre (2003) démontrent que l'éperlan arc-en-ciel constitue de 75 à 80% du régime alimentaire de la ouananiche au lac Saint-Jean durant la période estivale. De plus, il a été démontré qu'au lac Love, dans le Maine, la croissance de la ouananiche est grandement influencée par l'abondance de l'éperlan arc-en-ciel. En effet, lorsque l'éperlan est présent en moins grand nombre dans le milieu, une diminution de croissance des ouananiches est observée (Havey 1974).

Le doré jaune est un poisson généralement piscivore. Il peut tout de même s'alimenter d'une grande variété d'espèces invertébrées. Le choix de ses proies dépend de leur disponibilité dans le milieu (Scott et Crossman 1974; Bernatchez et Giroux 2000). Il a été démontré qu'au réservoir Horsetooth, au Colorado, l'éperlan arc-en-ciel peut représenter une proportion importante de la diète de ce prédateur et pourrait affecter sa croissance (Jones et al. 1994). Peu d'études ont été réalisées sur le doré jaune au lac Saint-Jean et l'importance de l'éperlan dans la diète de ce prédateur varie d'une étude à l'autre. Mahy (1975) a démontré, qu'en 1972, l'éperlan constituait 63% du volume total de proies présentes dans le régime alimentaire du doré. Par contre, les résultats de Desjardins (1989) montrent, qu'en 1988, l'éperlan ne représentait qu'une infime partie de la diète du doré, soit de 1 à 5% du nombre total de proies ingérées.

L'éperlan arc-en-ciel est un petit poisson grégaire et pélagique. Il se développe rapidement et est en mesure de se reproduire dès l'âge de deux ou trois ans (Scott et Crossman 1974). L'éperlan est reconnu pour ses fluctuations inter-annuelles naturelles de son abondance (Kircheis et Stanley 1981; O'Gorman et al. 1987). Des suivis d'abondance effectués par la FAPAQ de 1996 à 2002 au lac Saint-Jean ont démontré une diminution drastique des stocks d'éperlan. L'abondance des jeunes éperlans 0<sup>+</sup> passa de 29,4 à 0,4 individus par 1000 m<sup>-3</sup> d'eau. Les causes de cette baisse sont encore aujourd'hui inconnues et peuvent dépendre de divers facteurs autant abiotiques que biotiques. À l'exception de la prédation, dont il est question dans cette étude, le climat, l'hydrologie, la disponibilité des proies zooplanctoniques, le cannibalisme et le parasitisme pourraient représenter des facteurs importants responsables de cette baisse. Néanmoins, la prédation pourrait avoir un impact non négligeable sur les populations de poissons dont l'éperlan est la principale ressource alimentaire.

L'objectif général de ce projet était d'évaluer l'impact de la prédation sur le recrutement de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean. Les objectifs spécifiques étaient de (1) quantifier l'importance de l'éperlan dans la diète de la ouananiche de 1997 à 2002 et du doré jaune de 2001 à 2002, (2) de comparer les résultats obtenus à des données historiques, (3) de comparer la diète du doré jaune du lac Saint-Jean à celle observée dans d'autres études menées en Amérique du Nord et (4) de développer un modèle bioénergétique pour la ouananiche afin de prédire la consommation de cette dernière au lac Saint-Jean.

## CHAPITRE II

### RÉGIME ALIMENTAIRE DE LA OUANANICHE ET DU DORÉ JAUNE AU LAC SAINT-JEAN

## 2.1 DESCRIPTION DU SITE À L'ÉTUDE

Le lac Saint-Jean (48°45'N ; 72°15'O) s'étend sur une superficie de 1 053 km<sup>2</sup>. Ses principaux tributaires sont les rivières Péribonca, Ashuapmushuan, Métabetchouane et Mistassini et ses émissaires sont la Petite et la Grande Décharge. Sa profondeur maximale de 63 mètres et sa profondeur moyenne de 11,6 mètres en font un lac peu profond. La thermocline, de juillet à septembre, se trouve à une profondeur se situant entre 11 et 25 mètres. De 60 à 83% de ses eaux sont en contact avec l'épilimnion dont la température moyenne est d'environ 18°C (Jones et al. 1979). Par contre, la température de surface peut atteindre en été jusqu'à 24°C (Legault 1998). Le lac Saint-Jean est caractérisé comme étant un lac oligo-mésotrophe quoique d'autres états trophiques peuvent être rencontrés dû à l'hétérogénéité de la masse d'eau (Jones et al. 1979). Cette hétérogénéité est associée au temps de séjour très court des eaux du lac. En effet, le lac est un bassin hydroélectrique dont les eaux se renouvellent quatre fois par année, soit en moyenne une fois au trois mois (Jones et al. 1979).

## 2.2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.2.1 Échantillonnage

L'échantillonnage a été effectué au lac Saint-Jean par la Société de la faune et des parcs du Québec (FAPAQ). Un programme mettant à contribution les pêcheurs sportifs ainsi que les autochtones de Mashteuiatsh fut instauré afin de récolter les estomacs de ouananiches et de dorés jaunes. Les poissons ont été pêchés dans la partie pointillée de la figure 1, représentant l'ensemble des secteurs de pêche à la ouananiche et au doré jaune. L'échantillonnage s'est déroulé de 1997 à 2002 pour la ouananiche et de 2001 à 2002 pour le doré jaune et ce du mois de mai au mois d'août.

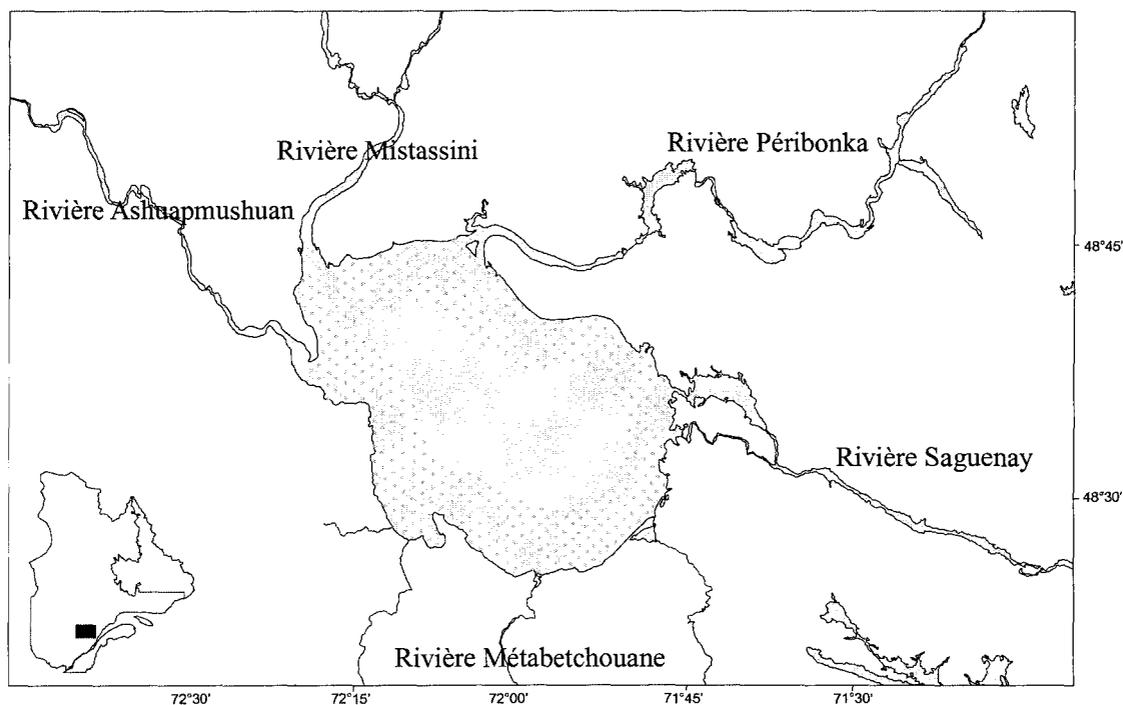


Figure 1. Zone de pêche à la ouananiche et au doré jaune au lac Saint-Jean.

### 2.2.2 Traitement des échantillons

La taille des ouananiches utilisées variait entre 205 mm et 700 mm (longueur à la fourche) tandis que la taille des dorés jaune variait entre 110 mm et 730 mm (longueur totale). Les poissons ont été éviscérés et les viscères conservés dans le méthanol jusqu'à l'analyse des contenus stomacaux en laboratoire. Chaque estomac de ouananiche et de doré jaune fut disséqué. Les proies ont par la suite été dénombrées puis identifiées. Chez la ouananiche, les proies ont été groupées en quatre catégories (éperlans, autres poissons, insectes aquatiques et insectes terrestres) tandis qu'elles ont été classées en six catégories chez le doré jaune (éperlans, autres poissons, insectes aquatiques, insectes terrestres, cladocères et autres). De plus, pour chaque estomac le volume des catégories de proies a été évalué à l'aide de la méthode de déplacement de volume dans un cylindre gradué. Les estomacs brisés ainsi que les échantillons où des proies étaient trouvées à l'extérieur de l'estomac (dans le pot) ont été éliminés. L'analyse des contenus stomacaux de ouananiches ayant été faite par la FAPAQ avant l'élaboration de ce projet, certaines données de nombre d'insectes étaient manquantes (seul le volume avait été pris). Les nombres manquants ont donc été estimés à partir des relations volume-nombre de l'annexe 1.

Pour des fins de comparaison, seules les données des estomacs des poissons ayant été pêchés de juin à août ont été utilisées dans cette partie. Les résultats obtenus ont par la suite été comparés avec des résultats similaires provenant d'études effectuées en 1972 (Mahy 1975), en 1988 (Desjardins 1989) et en 1989 (Nadon 1991) au lac Saint-Jean. Les

données des deux premières études n'étant exprimées qu'en nombre, elles ont été transformées en volume à l'aide des relations nombre-volume de l'annexe 2.

### 2.2.3 Analyses statistiques

Les résultats de Mahy (1975) n'ont pas fait partie des diverses analyses statistiques, les données complètes n'étant pas disponibles. Un test d'analyse de variance à un critère de classification a été utilisé afin de déceler s'il y avait une différence significative entre les années à l'étude et le volume moyen de chaque catégorie de proies. Par la suite, le test de H.S.D. de Tukey a permis de déterminer entre quelles années des différences étaient observées. Les mêmes analyses statistiques ont été utilisées pour vérifier s'il y avait une différence entre le volume moyen des différentes catégories de proie et ce pour chaque année traitée séparément.

## 2.3 RÉSULTATS

Le régime alimentaire de la ouananiche, de juin à août, est composé en grande partie d'éperlans arc-en-ciel, de 4 à 70%, et d'insectes, de 24 à 94% (figure 2a). Les autres espèces ichtyennes sont très peu abondantes dans les contenus stomacaux. Elles représentent moins de 10% du nombre total de proies à l'exception de l'année 2002 où elles occupent 16%. La diète du doré est plus variable que celle de la ouananiche (figure 2b).

Elle se compose de poissons (éperlans et autres), d'insectes, de cladocères et d'autres organismes aquatiques. Par contre, le doré se nourrit principalement d'insectes (de 41 à 91%). L'éperlan est beaucoup moins présent dans son régime alimentaire. Il ne représente que 35% et 7% de la proportion totale de proies ingérées en 1972 et 1988 respectivement. De plus, il est pratiquement absent en 2001 et 2002.

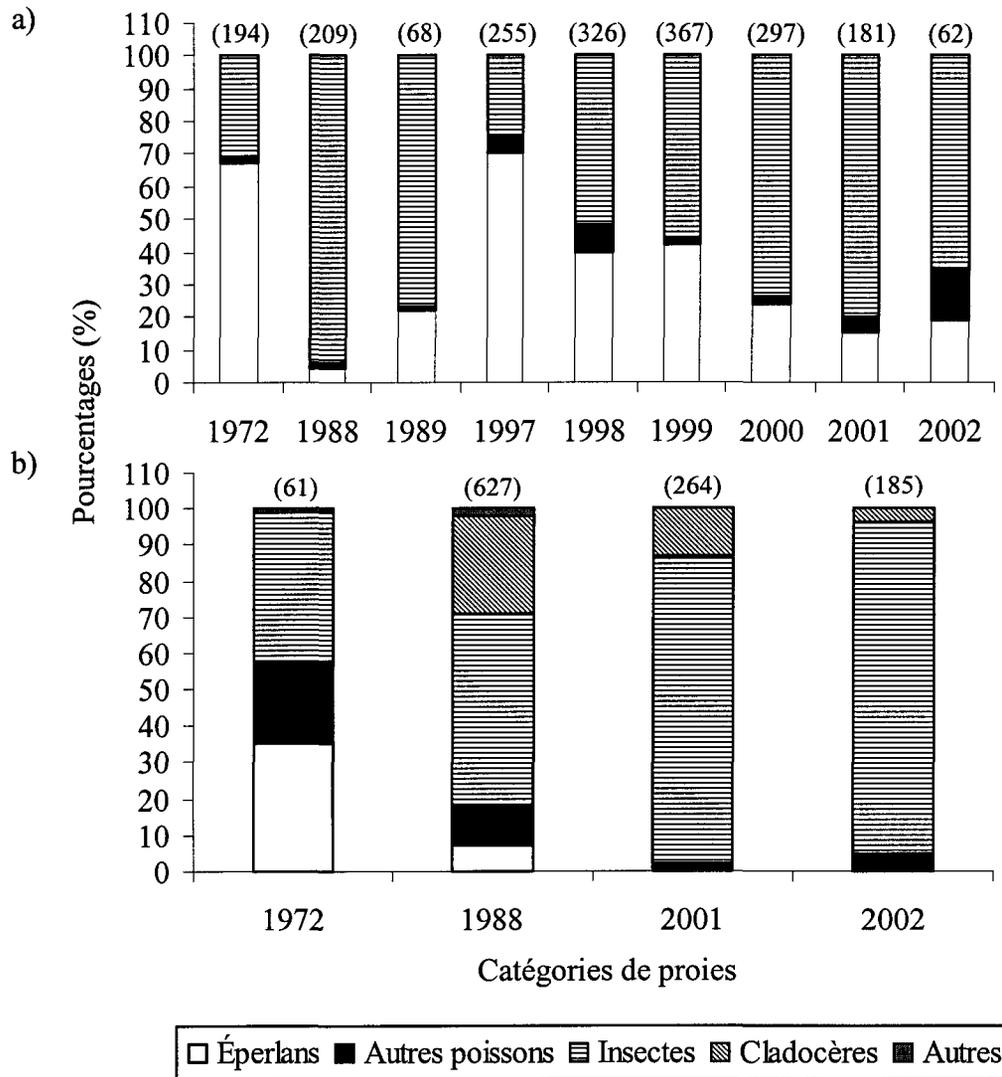


Figure 2. Proportion (exprimée en pourcentage du nombre) de proies ingérées par a) la ouananiche et b) le doré jaune de juin à août. Les nombres entre parenthèses représentent le nombre de spécimens analysés à chaque année.

Le volume moyen total de nourriture ingérée par la ouananiche varie d'une année à l'autre,  $p < 0,0001$  (tableau 1). Il diminue significativement de 1988 à 1989 puis reste relativement stable de 1989 à 2002. Le volume moyen d'éperlans présent dans les contenus

stomacaux varie également d'année en année ( $p < 0,0001$ ). Tout d'abord une augmentation importante est observée entre 1988 et 1989. Le volume moyen d'éperlans diminue graduellement par la suite jusqu'en 2001. En ce qui concerne le volume moyen des autres poissons ainsi que des insectes, il chute de façon significative entre 1988-1989 et 1998-1999 pour la première catégorie de proies et entre 1988-1989 pour la seconde. Aucune différence significative n'a été par la suite observée pour ceux-ci. Des variations ont également été observées entre les volumes moyens des différentes catégories de proies pour les différentes années à l'étude,  $p < 0,05$  (tableau 1). En 1989 et de 1997 à 2000, l'éperlan occupait un volume moyen plus élevé que les autres catégories de proies. En 2001, les volumes moyens des insectes et des éperlans étaient semblables tandis qu'en 2002 aucune différence a été observée entre le volume moyen d'éperlans et celui des autres catégories de proies.

Le volume moyen total de nourriture ingérée par le doré jaune est significativement plus faible en 1988 qu'en 2001,  $p < 0,0001$  (tableau 2). Entre 1988 et 2001, seule une différence significative du volume moyen de la catégorie autres poissons est observée. De plus, en 1988, la catégorie autres poissons occupe un volume plus élevé que les autres proies. En 2001 et en 2002 aucune différence n'a été observée entre les volumes moyens des autres poissons et des insectes, les deux plus abondantes catégories de proies présentes dans les contenus stomacaux du doré.

Tableau 1. Volume moyen (ml) de nourriture ingérée par la ouananiche de juin à août. Les lettres entre parenthèses sont les résultats du test H.S.D. de Tukey. Le test a été fait pour déterminer les différences significatives entre les années pour chaque catégories de proies.

Années	N	Volume moyen (ml)				Total
		Éperlans	Autres poissons	Insectes	Autres	
1972	194	2,23	1,18	1,77	0,37	5,55
1988	209	1,75 (a)	2,07 (a)	7,74 (a)	0,07	11,63 (a)
1989	68	5,5 (bc)	0,16 (bc)	1,21 (bc)		6,87 (bc)
1997	255	5,89 (b)	1,45 (abc)	0,22 (b)		7,56 (b)
1998	326	3,52 (ac)	1,82 (ab)	0,33 (bc)		5,67 (bc)
1999	367	4,47 (bc)	0,69 (c)	0,78 (bc)		5,94 (bc)
2000	297	3,11 (ac)	0,77 (bc)	1,3 (c)		5,18 (c)
2001	181	1,83 (a)	0,76 (abc)	1,33 (bc)		3,92 (c)
2002	62	2,65 (ac)	1,68 (abc)	1,19 (bc)		5,52 (bc)

Tableau 2. Volume moyen (ml) de nourriture ingérée par le doré jaune de juin à août. Les lettres entre parenthèses sont les résultats du test H.S.D. de Tukey. Le test a été fait pour déterminer les différences significatives entre les années pour chaque catégories de proies.

Années	N	Volume moyen (ml)				Total
		Éperlans	Autres poissons	Insectes	Autres	
1972	61	0,68	0,08	0,12		0,88
1988	627	0,32 (a)	1,07 (a)	0,26 (a)	0,02	1,67 (a)
2001	264	0,01 (a)	0,22 (b)	0,24 (a)		0,47 (b)
2002	185	0,02 (a)	0,31 (b)	0,46 (a)		0,79 (b)

La diète du doré semble être très variable d'une année à l'autre (figure 3). En 1972 et en 1988, il s'est alimenté d'une grande quantité de poissons tout au long de la période estivale. En 2001 et en 2002, les insectes occupent une partie importante du régime alimentaire du doré. Cette proportion diminue en août pour laisser la place aux poissons (toutes espèces confondues). En ce qui concerne l'éperlan, il est présent dans les contenus

stomacaux surtout en août à l'exception de l'année 1972 où il est présent durant toute la saison estivale et en 2002 où il est absent. De plus, la proportion du volume qu'il occupe dans les contenus stomacaux semble être plutôt variable durant la période estivale (juin à août) et également d'une année à l'autre.

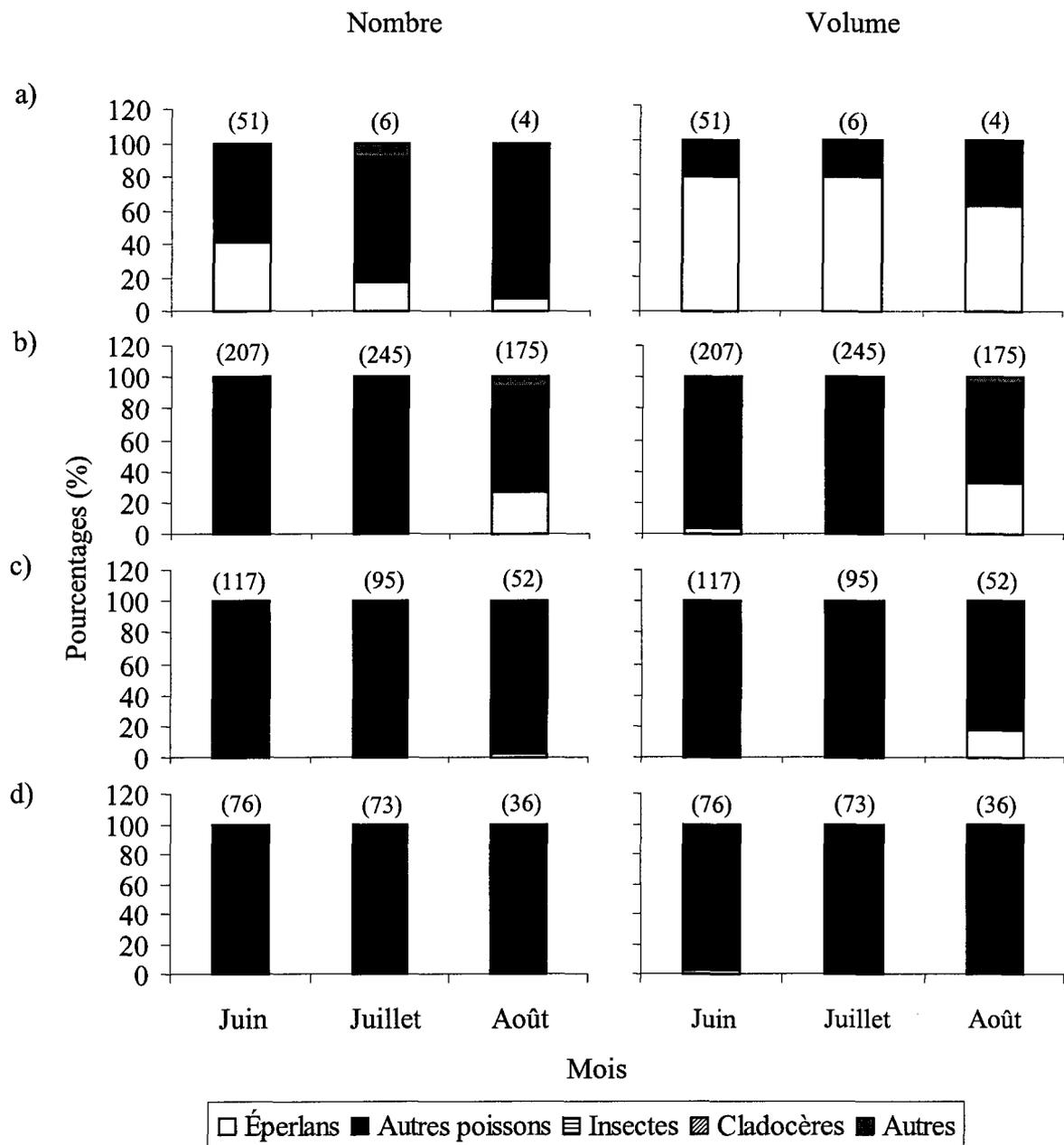


Figure 3. Proportion de nourriture ingérée par le doré jaune exprimée en pourcentage du nombre (gauche) et en pourcentage du volume (droite) pour les années a) 1972, b) 1988, c) 2001 et d) 2002. Les nombres entre parenthèses représentent le nombre de spécimens analysés.

Le doré jaune a fait l'objet de plusieurs études dans lesquelles son régime alimentaire a été décrit. Dans la majorité des cas, les poissons représentent plus de 50% de la diète de ce prédateur. C'est par contre au Québec que les proportions de poissons sont les plus faibles et où les insectes occupent une proportion plus importante. À l'extérieur de la province, il n'est pas rare d'observer des pourcentages de poissons au-delà de 90% (tableau 3).

Tableau 3. Proportion de poissons dans le régime alimentaire du doré jaune.

Endroit	Période	% poissons	Auteur
Lac winnebago	Octobre à novembre	95 à 98	Priegel 1963 <sup>c</sup>
Lac winnebago	Janvier à février	95 à 98	Priegel 1964 <sup>c</sup>
Lac Tchitogama	Juin à août	67	Mahy 1975 <sup>a</sup>
Lac Saint-Louis		56	Latour et al. 1980 <sup>a</sup>
Lac Érié	Juin à novembre	100	Hartman et Margraf 1992 <sup>b</sup>
Lac Champlain		41,3	Kirn et LaBar 1996 <sup>b</sup>
Yakima	Avril à octobre	89	Bolding et al 1998 <sup>a</sup>
Rivière Columbia	Avril à septembre	100	Zimmerman 1999 <sup>c</sup>

<sup>a</sup> Pourcentage du nombre, <sup>b</sup> Pourcentage du poids et <sup>c</sup> Pourcentage du volume

## 2.4 DISCUSSION

La situation précaire de la ouananiche au lac Saint-Jean n'est plus un secret pour personne. L'éperlan arc-en-ciel est sa principale source de nourriture. En effet, la ouananiche est un prédateur très sélectif en ce qui concerne le choix de ses proies. Elle n'a donc pas tendance à se rabattre sur d'autres espèces de poissons dont la taille se rapproche de celle de l'éperlan (par exemple l'omisco ou les cyprinidés) ou d'insectes. Même lorsque les stocks d'éperlans ont atteint leur plus faible abondance, c'est-à-dire de 2000 à 2002, il représentait tout de même un volume important du régime alimentaire de ce salmonidé. La diminution du volume moyen d'éperlans, dans les contenus stomacaux de ouananiches, semble être responsable de celle observée du volume moyen total de nourriture ingérée. En effet, l'éperlan est la seule catégorie de proies qui montre une diminution de son volume moyen tout au long de la période à l'étude. Ceci pourrait expliquer la diminution de croissance des individus observés aux passes migratoires ainsi que ceux capturés par les pêcheurs sportifs. Kircheis et Stanley ont démontré en 1981 que dans plusieurs études, l'abondance de l'éperlan arc-en-ciel était un facteur limitant la croissance de la ouananiche. En effet, il est mentionné que la ouananiche a une meilleure croissance lorsque l'éperlan est présent en grand nombre dans le plan d'eau. Ce phénomène a également été observé au lac Michigan entre le gaspareau (*Alosa pseudoharengus*) et le saumon quinnat (*Oncorhynchus tshawytscha*) (Stewart et Ibarra 1991).

Le doré jaune au lac Saint-Jean ne semble pas sélectif en ce qui concerne le choix de ses proies. Il serait plutôt un prédateur opportuniste. Il ne se nourrit pas d'espèces particulières et son mode d'alimentation passe de piscivore à insectivore lorsque les populations de poissons fourrages semblent moins abondantes. Ce comportement est relativement étrange chez un poisson hautement piscivore comme le doré. Il est reconnu que cette espèce peut s'alimenter de larves d'insectes mais surtout au printemps (Scott et Crossman 1974; Latour et al. 1980; Hazel et Fortin 1986; Little et al. 1998). Il devient, par la suite, de plus en plus piscivore au fur et à mesure que la saison avance. Il reste que dans un grand nombre d'études concernant le régime alimentaire de ce poisson, les résultats démontrent qu'il se nourrit presque entièrement de poissons, peu importe la période de l'année (Priegel 1963; Hartman et Margraf 1992; Bolding et al. 1998; Zimmerman 1999). Bien qu'un pourcentage élevé d'éperlans soit présent dans le régime alimentaire du doré au lac Saint-Jean en 1972, cette proie est pratiquement absente en 2001 et en 2002. Ceci ne pourrait cependant pas expliquer totalement la diminution du volume moyen total de nourriture ingérée par le doré entre 1988 et 2001 car pour la même période, le volume de la catégorie autres poissons a également connu une baisse importante. Cette diminution du volume de poissons fourrages (éperlan et autres espèces) pourrait expliquer cette chute du volume moyen total. De plus, la baisse du volume moyen de la catégorie autres poissons dans le régime alimentaire du doré pourrait être un indice d'une diminution d'abondance de l'ensemble des poissons fourrages du lac Saint-Jean. La situation du doré qui, jusqu'à aujourd'hui, ne semblait pas être problématique pourrait bien le devenir dans les prochaines années.

Il est possible que les données provenant des études de Mahy (1975) et de Desjardins (1989) ne donnent pas une représentation fidèle du régime alimentaire de la ouananiche et du doré. En effet, les poissons ont été capturés au filet. Les filets ont été levés à toutes les 12 ou 24 heures. Les poissons ne mourant pas instantanément lorsqu'ils se prennent dans les filets, leur digestion se poursuit, ce qui peut occasionner une mauvaise estimation du nombre ou du volume de chaque catégorie de proies. Il est donc possible que la quantité plus élevée d'insectes consommée par la ouananiche en 1988 soit due au fait que les insectes, dus à leur exosquelette de chitine, sont digérés plus difficilement que les poissons.

Le doré jaune est un poisson occupant un vaste territoire s'étendant du nord du Canada jusqu'au sud des États-Unis (Scott et Crossman 1974). Il semblerait que la diète du doré varierait selon qu'il se trouve au nord ou au sud de son aire de répartition. C'est au Québec (Mahy 1975; Latour 1980; Hazel et Fortin 1986), plus particulièrement au lac Saint-Jean que la proportion de poissons dans le régime alimentaire du doré est la plus faible (moins de 70%) et où les insectes sont présents en plus grand nombre (jusqu'à 91%). C'est dans les Grands-Lacs (Hartman et Margraf 1992) et aux États-Unis (Priegel 1963; Kim et LaBar 1996; Bolding 1998; Zimmerman 1999) que les proportions les plus élevées de poissons ont été observées. Il n'est pas rare que ces proportions atteignent des valeurs supérieures à 90 %.

La compétition chez les poissons peut être un facteur important lorsqu'il est question d'alimentation. Suite à des expériences effectuées en enclos, Hanson et Leggett (1986) ont observé une diminution de croissance des perchaudes (*Perca flavescens*) lorsqu'elles étaient en présence de crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*). En effet, les crapets-soleil (compétiteurs supérieurs) avaient la capacité de réduire la quantité de macro-invertébrés de grandes tailles disponibles dans le milieu. Les perchaudes (compétiteurs inférieurs) qui se nourrissaient également de ce type de proies se retournaient vers les proies de plus petites tailles ayant une plus faible valeur énergétique. Ce changement de diète était responsable de la réduction de croissance des perchaudes. À la lumière des résultats obtenus au lac Saint-Jean, il semblerait que lorsque l'abondance de l'éperlan est basse, il y aurait une forte compétition entre la ouananiche et le doré jaune. Cependant, la ouananiche ne semblerait pas affectée négativement par cette compétition. De plus, le doré ne semble pas se nourrir préférentiellement de cette espèce de poisson fourrage. Il semble s'en nourrir lorsqu'il est abondant (1972) mais s'alimente toujours d'autres espèces de poissons et d'insectes. Un plus grand nombre de données historiques aurait procuré une meilleure compréhension du régime alimentaire du doré jaune et auraient permis de bien cerner ses proies préférées.

Il n'est pas dit que d'autres espèces de poisson ne pourraient pas entrer en compétition avec ce salmonidé. En effet, la lotte (*Lota lota*) (Christie 1972; Bernatchez et Giroux 2000) et la perchaude (*Perca flavescens*) (Christie 1972) sont reconnues comme étant deux prédateurs de l'éperlan arc-en-ciel. Ces deux espèces étant présentes au lac Saint-Jean, il

serait bon d'étudier leur diète afin de vérifier si elles ont un impact sur les populations d'éperlans.

## CHAPITRE III

### MODÈLE BIOÉNERGÉTIQUE

### 3.1 EXPÉRIENCE DE VALIDATION

#### 3.1.1 Matériel et méthodes

##### 3.1.1.1 Description des modèles bioénergétiques utilisés

Plusieurs modèles bioénergétiques, bien documentés, ont été développés afin de prédire la consommation chez les salmonidés. Dans le cadre de cette étude, nous avons utilisé celui du saumon nerka, *Oncorhynchus nerka* (Stewart et Ibarra 1991) et celui du saumon coho, *Oncorhynchus kisutch* (Beauchamp et al. 1989). Les modèles ont été développés à partir de l'équation énergétique balancée dont la forme générale est la suivante:

$$G = C - (M + SDA + A + F + U) \quad (1)$$

où G est la croissance, C est la quantité de nourriture consommée, M est le métabolisme, SDA est l'énergie liée à la digestion, A est l'activité, F est l'énergie perdue sous la forme fécale et U est l'excrétion urinaire (Kitchell et al. 1977; Stewart et al. 1983; Beauchamp et al. 1989; Hewett et Johnson 1992).

### Modèle bioénergétique du saumon nerka (Beauchamp et al. 1989)

Dans ce modèle, l'activité n'était pas traitée comme un paramètre distinct. Elle faisait partie intégrante du métabolisme. L'équation suivante a permis de le calculer.

$$M \text{ (mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}) = \alpha W^\beta e^{(\rho T)} e^{(\nu U_{\text{opt}})} \quad (2)$$

où  $W$  est la masse,  $U_{\text{opt}}$  est la vitesse natatoire optimale,  $T$  est la température en °C et  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\rho$  et  $\nu$  sont des constantes. La vitesse natatoire optimale a été estimée à partir du modèle développé par Ware (1978) pour la vitesse natatoire optimale du saumon nerka. Ce modèle a été développé à partir de la théorie de l'hydrodynamisme associé à l'acuité visuelle du prédateur, à la taille des proies et à leur concentration dans le milieu (Stewart et al. 1983 et Beauchamp et al. 1989). Ces variables ont permis d'estimer deux vitesses de nage, la vitesse optimale de croisière, portant au maximum la distance parcourue par unité d'énergie dépensée et la vitesse optimale de quête de nourriture, portant au maximum le taux d'écoulement du surplus d'énergie (Ware 1978). Le tout a été par la suite rassemblé en vitesse natatoire optimale qui elle est fonction de la masse des poissons et de la température de l'eau (Beauchamp et al. 1989). Cette dernière a donc été calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$U_{\text{opt}} \text{ (cm s}^{-1}) = \omega W^\delta e^{(\phi T)} \quad (3)$$

où  $\omega$ ,  $\delta$  et  $\phi$  sont des constantes.

L'énergie liée à la digestion et celle perdue sous la forme fécale et urinaire ont été estimées à partir du modèle développé pour le touladi (*Salvelinus namaycush*) par Stewart et al. (1983). En règle générale, une partie de l'énergie provenant de la consommation est utilisée pour la digestion. Elle est une proportion constante de la consommation moins les pertes fécales. L'équation suivante a été utilisée pour estimer ce paramètre :

$$SDA \text{ (g jour}^{-1}\text{)} = S (C - F) \quad (4)$$

où S est une constante.

Stewart et al. (1983) ont élaboré une équation permettant de calculer l'énergie perdue sous la forme fécale où la diète du poisson est prise en considération. Cette dernière permet donc d'avoir une meilleure estimation des pertes fécales des poissons piscivores. Cette équation peut également être utilisée lorsque la diète du poisson à l'étude est composée à la fois de poissons et d'invertébrés.

$$F \text{ (g jour}^{-1}\text{)} = (((F/C - K_1) (1 - K_1/1 - K_1)) + K_1) C \quad (5)$$

où K1 est la partie de la diète qui ne peut pas être digérée et  $K_1$  est une constante. Les variables F/C et K1 ont été calculées à l'aide des équations suivantes:

$$F/C = \alpha_F T^{\beta_F} e^{(\gamma_F P)} \quad (6)$$

$$K_1 = (P_1 K_I) + ((1 - P_1) K_P) \quad (7)$$

où  $P$ ,  $\alpha_F$ ,  $\beta_F$ ,  $\gamma_F$  et  $K_P$  sont des constantes et  $P_1$  est la proportion d'invertébrés dans la diète.

L'équation ci-dessous a permis de calculer l'énergie perdue sous la forme d'urine.

$$E \text{ (g jour}^{-1}\text{)} = \alpha_U T^{(\beta_U)} e^{(\gamma_U P)} (C - F) \quad (8)$$

où  $\alpha_U$ ,  $\beta_U$  et  $\gamma_U$  sont des constantes.

#### Modèle bioénergétique du saumon coho (Stewart et Ibarra 1991)

Stewart et Ibarra (1991) ont appliqué le modèle du saumon nerka développé par Beauchamp et al. (1989) au saumon coho. À l'exception des valeurs des constantes du métabolisme, seule une modification au niveau de la proportion de la consommation sur la consommation maximale ( $P$ ) a été apportée. Ces auteurs n'ont pas considéré  $P$  comme une constante mais comme une valeur qui varie selon la masse du poisson. La consommation maximale ( $\text{g g}^{-1} \text{ jour}^{-1}$ ) de nourriture que peut ingérer un poisson a été déterminée par l'équation suivante :

$$C_{\max} = aW^b \quad (9)$$

où  $W$  est la masse moyenne journalière et  $a$  et  $b$  sont des constantes. Ceci a permis de calculer la valeur de  $P$  qui est égale à:

$$P = \frac{C}{C_{\max}} \quad (10)$$

### 3.1.1.2 Expérience en laboratoire

Nous avons utilisé les deux modèles pour prédire la croissance de ouananiches gardées en captivité à la Station piscicole de Tadoussac. L'échantillonnage s'est déroulé durant une période de 38 jours, soit du 29 avril au 5 juin 2002 (jour 1 à 38). Au total, 14 ouananiches étaient gardées en captivité. Ce nombre diminua à 13, dû à la mort d'un des individus le 27 mai 2002. Une perte de poids ayant été observée chez la ouananiche décédée, nous avons supposé qu'elle ne s'était pas alimentée durant la période du 29 avril au 27 mai 2002. Nous n'en avons donc pas tenu compte lors de la modélisation qui a été effectuée avec 13 spécimens. Durant la période d'échantillonnage, la température de l'eau du bassin a été mesurée quotidiennement.

La consommation a été calculée directement suite à l'étude des ouananiches en laboratoire (Station piscicole de Tadoussac). Les poissons ont été nourris deux fois par jour, au début de l'avant midi et en fin d'après midi, de capelans entiers. À chaque période d'alimentation, la quantité de nourriture donnée à l'ensemble des ouananiches a été pesée avec une balance électronique précise au centième de gramme. Ceci a permis d'obtenir la

consommation totale journalière. Pour ce modèle, la consommation moyenne journalière ( $\text{g jour}^{-1}$ ) a été utilisée.

De plus, les ouananiches ont été pesées au début et à la fin de l'expérimentation avec une balance électronique précise au centième de gramme. Ceci nous a permis d'obtenir la masse journalière moyenne d'une ouananiche ainsi que sa croissance. Cette dernière a tout d'abord été estimée pour la journée du 29 avril 2002 à l'aide de l'équation 1. Par la suite, la croissance obtenue a été additionnée à la masse de départ, ce qui a permis d'obtenir la masse de la ouananiche au jour 2. La même démarche a été appliquée aux journées suivantes en utilisant cette fois-ci la masse de la journée précédente.

Le patron d'activité décrivant une nage forcée a été choisi suite à l'observation des ouananiches en bassin. Ces dernières semblaient se tenir, la majeure partie du temps, à contre-courant. Le courant était provoqué par un jet d'eau constant sur le bord du bassin. La vitesse de ce dernier a été prise à trois reprises à l'aide d'un vélocimètre, soit le 29 avril, le 28 mai et le 5 juin 2002. À chaque visite, la vitesse était la même c'est à dire de  $45,75 \text{ cm s}^{-1}$ . Nous avons donc établi que la vitesse natatoire ( $N$ ) des ouananiches était égale à la vitesse du courant du bassin.

Les valeurs utilisées pour les calculs des deux modèles bioénergétiques sont présentées au tableau 4.

Tableau 4. Valeurs des paramètres utilisées dans les modèles bioénergétiques du saumon nerka (Beauchamp et al. 1989) et du saumon coho (Stewart et Ibarra 1991).

Symboles	Description des paramètres	Valeurs	
		Saumon nerka Beauchamp et al. (1989)	Saumon coho Stewart et Ibarra (1991)
<b>Consommation (H)</b>			
a	Ordonnée à l'origine de la $C_{max}$		0,303
b	Ordonnée à l'origine de la fonction allométrique de la masse		-0,275
P	Proportion de $C_{max}$	0,31587	
<b>Métabolisme (M) et énergie liée à la digestion (SDA)</b>			
$\alpha$	Ordonnée à l'origine du métabolisme	0,00143	0,00264
$\beta$	Pente: Métabolisme vs poids	-0,209	-0,217
r	Pente: M vs vitesse natatoire	0,086	0,06818
n	Pente: M vs vitesse natatoire	0,0234	0,0234
w	Ordonnée à l'origine de la vitesse natatoire	9,9	9,7
d	Pente: vitesse natatoire vs poids	0,13	0,13
f	Pente: vitesse natatoire vs $T^\circ$	0,0405	0,0405
S	Énergie liée à la digestion	0,172	0,17
<b>Pertes fécales (F)</b>			
$\alpha_F$	Ordonnée à l'origine: Proportion de nourriture perdue vs $T^\circ$ et ration	0,212	0,212
$\beta_F$	Pente: Pertes fécale vs $T^\circ$	-0,222	-0,222
$\gamma_F$	Pente: P vs pertes fécales	0,631	0,631
$K_I$	Ce qui ne peut être digéré chez les invertébrés	0,01	0,01
$K_p$	Ce qui ne peut être digéré chez les poissons	0,033	0,033
<b>Excrétion (U)</b>			
$\alpha_U$	Ordonnée à l'origine: Proportion de nourriture excrétée vs $T^\circ$ et ration	0,0314	0,0314
$\beta_U$	Pente: $T^\circ$ vs excrétion	0,58	0,58
$\gamma_U$	Pente: P vs excrétion	-0,299	-0,299

### 3.1.1.3 Densité énergétique

L'ensemble des paramètres étaient exprimés en  $\text{g jour}^{-1}$  à l'exception du métabolisme (équation 2) et de la consommation maximale (équation 9). Le premier paramètre a été converti en  $\text{g jour}^{-1}$  à l'aide de l'équivalent énergétique de la consommation d'oxygène, c'est-à-dire  $3,24 \text{ Cal/mg O}_2$  (Elliott et Davison 1975) et de la densité énergétique du saumon de l'atlantique (*Salmo salar*) d'une valeur de  $6\,164,5 \text{ J g}^{-1}$  (Cummins et Wuycheck 1971). La densité énergétique du saumon de l'atlantique a été utilisée car aucune valeur n'a été trouvée pour la ouananiche. La consommation maximale était exprimée en  $\text{g g}^{-1} \text{ jour}^{-1}$ . Elle a donc été multipliée par la masse moyenne des poissons.

### 3.1.1.4 Analyse de sensibilité

Une analyse de sensibilité a été faite pour le modèle bioénergétique de la ouananiche. Elle consistait à faire varier de  $\pm 10\%$  tous les paramètres, à l'exception de la température qui elle variait de  $\pm 1^\circ\text{C}$  afin d'observer l'ampleur des changements qu'ils pouvaient apporter à la consommation. Ce type d'analyse a été utilisée afin de vérifier la robustesse du modèle. Cette analyse a permis de déterminer l'importance relative de chacun des paramètres sur l'estimation de la consommation. La sensibilité du modèle, pour chacun des

paramètres décrit au tableau 4, a été calculée à partir de la méthode présentée par Kitchell et al. (1977).

$$S(p) = \frac{(p \Delta x)}{(x \Delta P)} \quad (11)$$

où  $S(p)$  est la sensibilité du modèle pour un paramètre donné,  $p$  est la valeur nominale du paramètre,  $\Delta x$  est la différence entre la consommation obtenue après la variation de  $p$  et la consommation estimée par le modèle,  $x$  est la consommation prédite par le modèle et  $\Delta p$  est la différence entre la valeur du paramètre  $p$  après la variation de  $\pm 10\%$  ou de  $\pm 1^\circ\text{C}$  et la valeur nominale du paramètre  $p$ . Lorsque  $p$  égalait  $10 \Delta p$  (toutes les valeurs analysées à l'exception de la température), l'équation simplifiée suivante a été utilisée :

$$S(p) = \frac{(10 \Delta x)}{x} \quad (12)$$

Une sensibilité  $S(p) = 1$  ou  $-1$  indique que la variation de  $10\%$  de la valeur du paramètre cause un changement dans la consommation de  $10\%$ . Une sensibilité se situant entre  $1$  et  $-1$  indique une faible sensibilité tandis qu'une sensibilité se situant au-delà de cette zone indique que la consommation sera plus sensible à la variation de la valeur du paramètre  $p$ . Par exemple, si  $S(p) = -0,5$ , cela indique que pour une variation de  $10\%$  du paramètre  $p$ , la consommation estimée sera diminuée de  $5\%$  (Kitchell et al. 1977).

### 3.1.2 Résultats

#### 3.1.2.1 Expérience en laboratoire

L'estimation de la masse des ouananiches en laboratoire, à l'aide des modèles du saumon nerka (Beauchamp et al. 1983) et du saumon coho (Stewart et Ibarra 1991), donne des résultats similaires (figure 4). La masse prédite au jour 38, pour ces deux modèles (5 366,49 et 5 332,47 g) est plus élevée que celle observée en laboratoire (4 310,77 g).

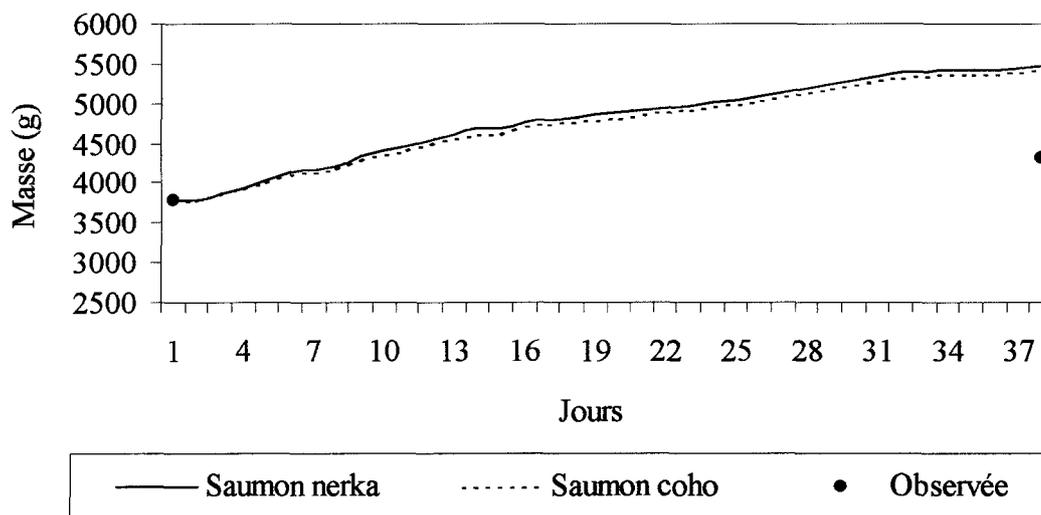


Figure 4. Comparaison entre les masses observées en laboratoire et celles prédites par le modèle du saumon nerka (Beauchamp et al. 1989) et du saumon coho (Stewart et Ibarra 1991).

### 3.1.2.2 Modèle bioénergétique modifié pour la ouananiche

Les modèles bioénergétiques du saumon nerka (Beauchamp et al. 1989) et du saumon coho (Stewart et Ibarra 1991) ne donnait pas les résultats escomptés. Nous avons donc élaboré un modèle modifié pour la ouananiche dérivé de celui du saumon nerka, développé par Beauchamp et al. (1989), auquel quelques modifications ont été apportées. L'activité est un paramètre important souvent laissé pour compte dans l'élaboration des modèles bioénergétiques (Boisclair et Leggett 1989; Boisclair et Sirois 1993). Le métabolisme standard et l'activité n'ont donc pas été considérés comme un seul et unique paramètre mais comme deux paramètres bien distincts. Le métabolisme standard a été estimé à partir de l'équation présentée par Brett et Glass (1973) dont la forme était la suivante:

$$MS \text{ (mg O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ h}^{-1}) = \alpha W^\beta \quad (13)$$

L'activité  $a$ , quant à elle, été estimée à l'aide de l'équation développée par Boisclair et Tang (1993). Cette dernière était en fait une relation empirique entre le coût énergétique net associé à une nage forcée, le poids du poisson et la vitesse natatoire. Cette relation est exprimée comme suit :

$$\text{Log}_{10} A \text{ (mg O}_2 \text{ h}^{-1}) = 0,80 \text{ log}_{10} W + 1,21 \text{ log}_{10} N - 2,43 \quad (14)$$

où  $N$  est la vitesse natatoire.

Tout comme le modèle du saumon coho (Stewart et Ibarra 1991), la proportion de la consommation sur la consommation maximale ( $P$ ) n'a pas été considérée comme étant une valeur constante durant toute la période d'expérimentation. Elle a donc été déterminée à l'aide des équations 9 et 10.

Enfin, les valeurs utilisées pour les calculs de ce modèle bioénergétique sont présentées au tableau 5. Tout comme pour les modèles bioénergétiques du saumon nerka (Beauchamp et al. 1989) et du saumon coho (Stewart et Ibarra 1991), les paramètres du modèle modifié pour la ouananiche ont été convertis en  $\text{g jour}^{-1}$  à l'aide des équivalents énergétiques présentés à la section 3.1.1.3.

Tableau 5. Valeurs des paramètres utilisées dans le modèle bioénergétique modifié pour la ouananiche (Beauchamp et al. 1989; Brett et Glass 1973).

Symboles	Description des paramètres	Valeurs Ouananiche
<b>Consommation (H)</b>		
a	Ordonnée à l'origine de la $C_{max}$	
b	Ordonnée à l'origine de la fonction allométrique de la masse	
P	Proportion de $C_{max}$	0,31587
<b>Métabolisme (M) et énergie liée à la digestion (SDA)</b>		
$\alpha$	Ordonnée à l'origine du métabolisme	0,1498
$\beta$	Pente: Métabolisme vs poids	0,8465
r	Pente: M vs vitesse natatoire	0,086
n	Pente: M vs vitesse natatoire	0,0234
w	Ordonnée à l'origine de la vitesse natatoire	9,9
d	Pente: vitesse natatoire vs poids	0,13
f	Pente: vitesse natatoire vs $T^{\circ}$	0,0405
S	Énergie liée à la digestion	0,172
<b>Pertes fécales (F)</b>		
$\alpha_F$	Ordonnée à l'origine: Proportion de nourriture perdue vs $T^{\circ}$ et ration	0,212
$\beta_F$	Pente: Pertes fécale vs $T^{\circ}$	-0,222
$\gamma_F$	Pente: P vs pertes fécales	0,631
$K_I$	Ce qui ne peut être digéré chez les invertébrés	0,01
$K_P$	Ce qui ne peut être digéré chez les poissons	0,033
<b>Excrétion (U)</b>		
$\alpha_U$	Ordonnée à l'origine: Proportion de nourriture excrétée vs $T^{\circ}$ et ration	0,0314
$\beta_U$	Pente: $T^{\circ}$ vs excrétion	0,58
$\gamma_U$	Pente: P vs excrétion	-0,299

Suite aux modifications apportées au modèle du saumon nerka (Beauchamp et al. 1989), la masse finale prédite par le modèle bioénergétique modifié pour la ouananiche (4 476,52 g) se rapproche de celle observée en laboratoire, quoiqu'elle soit légèrement plus élevée (165,75 g) (figure 5).

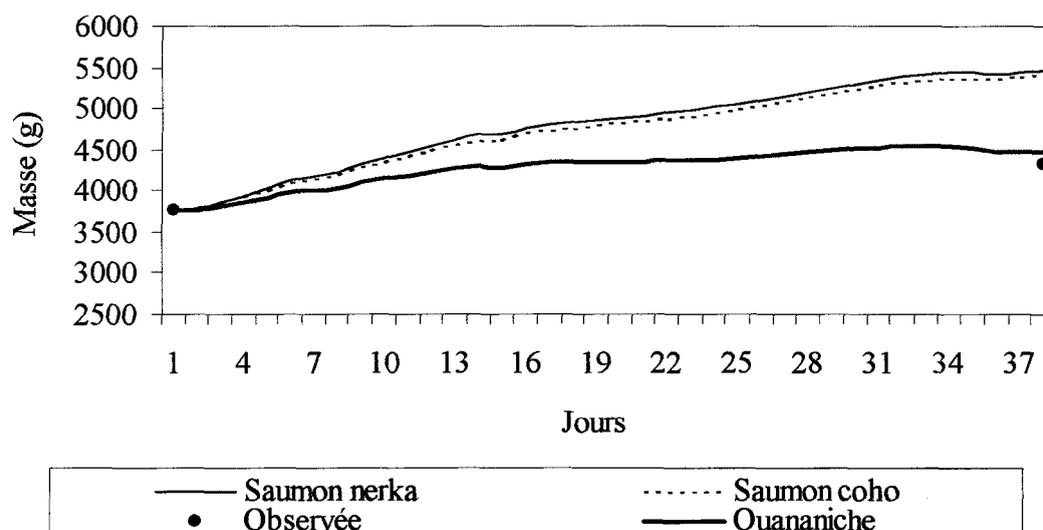


Figure 5. Comparaison entre les masses observées en laboratoire et celles prédites par le modèle du saumon nerka (Beauchamp et al. 1989), du saumon coho (Stewart et Ibarra 1991) et modifié pour la ouananiche.

### 3.1.2.3 Analyse de sensibilité

La figure 6 présente les résultats de l'analyse de sensibilité du modèle bioénergétique modifié de la ouananiche effectuée en laboratoire. Les résultats obtenus, suite à la variation de  $\pm 10\%$  des valeurs des divers paramètres, démontrent que la consommation est peu sensible (peu variable) lorsqu'il y a une variation des valeurs de l'énergie liée à la

digestion, des pertes fécales, de l'excrétion urinaire ainsi que de P. En effet, la valeur de sensibilité obtenue se situe dans la zone de faible sensibilité (entre 1 et -1). La consommation est également peu sensible lorsque la température varie de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Par contre, elle semble plus sensible à la variation de la constante  $\beta$  du métabolisme standard, la sensibilité de 5,85 et de -2,96 se situant à l'extérieur de la zone de faible sensibilité (entre 1 et -1).

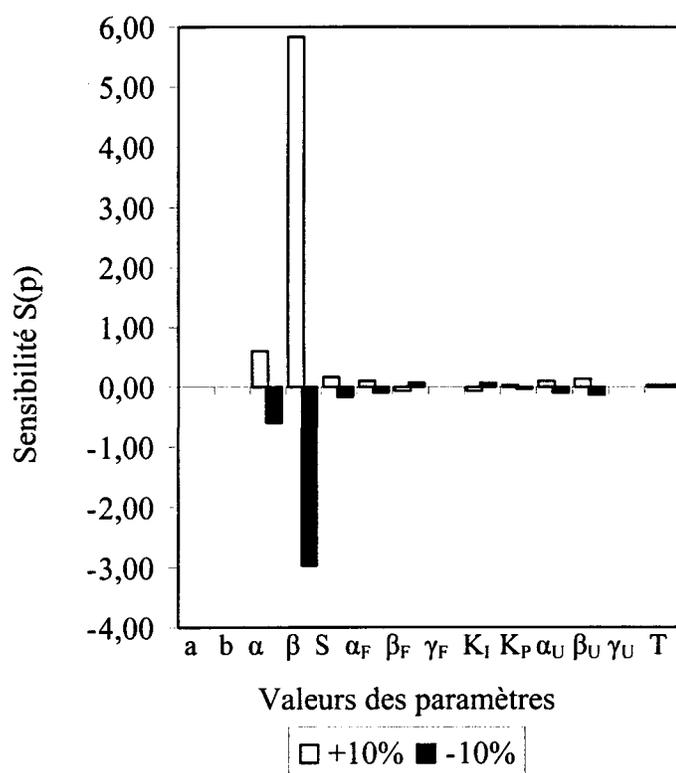


Figure 6. Sensibilité de la consommation aux variations de  $\pm 10\%$  ou  $\pm 1^\circ\text{C}$  des valeurs des divers paramètres du modèle bioénergétique de la ouananiche en laboratoire.

### 3.1.3 Discussion

#### 3.1.3.1 Expérience en laboratoire

Selon les modèles bioénergétiques du saumon nerka (Beauchamp et al. 1989) et du saumon coho (Stewart et Ibarra 1991), les ouananiches n'auraient pas dépensé suffisamment d'énergie par rapport à la quantité de nourriture qu'elles auraient ingérée. En effet, la masse obtenue au jour 38 pour les deux modèles était supérieure à celle observée en laboratoire. Cet écart serait dû à une sous estimation du métabolisme total (somme du métabolisme standard, de l'énergie liée à la digestion et de l'activité). Chez les poissons piscivores, le métabolisme devrait représenter entre 37 et 51% du budget énergétique total comme l'ont suggéré Brett et Groves (1979). Cependant, ceci n'est pas le cas pour les ouananiches en laboratoire. Le métabolisme total représentait 17% et 15% du budget énergétique total et ce, pour le métabolisme estimé à l'aide du modèle du saumon nerka et celui du saumon coho, respectivement. Puisque ces deux modèles permettent d'estimer la croissance, cette dernière était surestimée et représentait au-dessus de 60% du budget énergétique total tandis que Brett et Groves (1979) suggéraient une valeur se situant entre 23 et 35% pour les poissons piscivores. Les autres paramètres (saumon nerka:  $U+F = 20\%$  et saumon coho: 23%) représentaient des proportions similaires à celles suggérées pour les poissons piscivores ( $U + F = 27\% \pm 3$ ) (Brett et Groves 1979).

La croissance estimée à partir du modèle de la ouananiche semblait plus réaliste que celle prédite par le modèle du saumon nerka (Beauchamp et al. 1989) et du saumon coho (Stewart et Ibarra 1993). La masse obtenue au jour 38 (4 476,52 g) se rapprochait de celle observée (4 310,77 g) quoique légèrement plus élevée. De plus, la proportion du budget énergétique totale qu'occupait chacun des paramètres ( $M = 52\%$ ,  $G = 23\%$  et  $U+F = 25\%$ ) concordait avec les proportions proposées par Brett et Groves (1979) pour les poissons piscivores. C'est pour ces raisons que le modèle bioénergétique que nous avons développé pour la ouananiche a été utilisé afin d'estimer la consommation de cette dernière au lac Saint-Jean.

#### 3.1.3.2 Analyse de sensibilité

Le modèle de la ouananiche appliqué aux ouananiches en laboratoire est en général robuste. La consommation est plus sensible aux variations de la constante  $\beta$  du métabolisme standard. En effet, lorsque  $\beta$  varie de  $\pm 10\%$ , la consommation se voit diminuée de 29,6% ou augmentée de 58,5% (figure 6). Le métabolisme standard varie en fonction de la masse du poisson. Les poissons utilisés par Brett et Glass (1973) ne pesaient pas plus de 2 000 g tandis que la masse moyenne des ouananiches en laboratoire au jour 1 était de 3 774,62 g. Il est possible que l'équation du métabolisme développée par Brett et Glass (1973) que nous avons utilisée, perde de la précision lorsqu'elle est appliquée à des poissons dont la masse excède 2 000 g.

## 3.2 ESTIMATION DE LA CONSOMMATION DE LA OUANANICHE DU LAC SAINT-JEAN

### 3.2.1 Matériel et méthodes

#### 3.2.1.1 Estimation de la consommation de la ouananiche à l'aide du modèle bioénergétique modifié

Pour estimer la consommation de la ouananiche du lac Saint-Jean, le modèle de la ouananiche que nous avons développé a été utilisé. Deux scénarios ont été développés, à partir de périodes de croissance favorable et défavorable ayant été observées pour la ouananiche. Le premier scénario représente une période dite favorable à la croissance et le second une période dite défavorable. La modélisation a été effectuée sur une période de 365 jours. Le début de la modélisation a été fixé au 10 juin, date médiane à laquelle les saumoneaux de la rivière Prudent (1993-1996) et aux Saumons (1982) sont arrivés dans le lac (Données non publiées Michel Legault FAPAQ). Par la suite, le modèle a été appliqué à quatre classes d'âge donc à des individus qui en étaient à leurs première, deuxième, troisième et quatrième années en lac.

Certaines modifications ont été apportées au modèle afin qu'il soit plus représentatif de ce qui se passe en milieu naturel. L'activité de la ouananiche du lac n'a pu être déterminée directement. La vitesse natatoire a donc été estimée à partir de l'équation 3 du modèle du saumon nerka (Beauchamp et al. 1989). Elle a, par la suite, été insérée dans l'équation de l'activité développée par Boisclair et Tang (1993). Par contre, les

ouananiches en bassin et celles du lac n'étaient pas soumises aux mêmes conditions en ce qui concernait l'activité. En effet, en lac les ouananiches n'étaient pas exposées à un courant constant comme c'était le cas en laboratoire. C'est pourquoi dans le cas du lac Saint-Jean, l'équation définie pour une activité de nage forcée a été remplacée par celle proposée, par les mêmes auteurs, pour une activité de nage routinière.

$$\text{Log}_{10} A \text{ (mg O}_2 \text{ h}^{-1}\text{)} = 0,54 \log_{10} W + 1,09 \log_{10} N - 0,93 \quad (15)$$

Dans un lac, les poissons ne sont généralement pas actifs toute la journée. Nous avons statué à 16 heures et non pas à 24 heures une journée normale d'activité pour la ouananiche. Afin d'obtenir la quantité d'énergie allouée à l'activité durant une journée, la valeur a donc été multipliée par 16. Étant donné que nous avons voulu estimer la consommation, il n'a pas été possible de calculer la valeur de P selon l'équation 10. Elle a donc été considérée constante, comme présenté dans le modèle du saumon nerka développé par Beauchamp et al. (1989).

Pour être en mesure d'estimer la consommation à l'aide du modèle nous avons dû introduire dans ce dernier des variables observées provenant du lac Saint-Jean. La première variable était la croissance. Ce paramètre était l'un des plus importants car c'était le seul qui ne pouvait être calculé à partir d'équations mathématiques. La masse moyenne des poissons a été déterminée suite à l'analyse d'écaillés de ouananiche pour une année favorable (1997-1998) et défavorable (2000-2001). Tout d'abord, les longueurs pour

chaque classe d'âge ont été déterminées par rétro-calcul d'après la méthode décrite par Shearer (1992). Celles-ci ont ensuite été transformées en masse à l'aide des relations longueur-masse développées pour une année de croissance favorable et une année de croissance défavorable (annexe 3). Les masses moyennes pour chacune des classes d'âge ont finalement été utilisées. Les masses moyennes journalières ont par la suite été déterminées à l'aide d'une fonction logistique (figure 7). Par la suite, la différence de masse obtenue entre deux journées d'étude a permis d'obtenir la croissance moyenne journalière d'une ouananiche et c'est cette dernière qui a été utilisée dans le modèle.

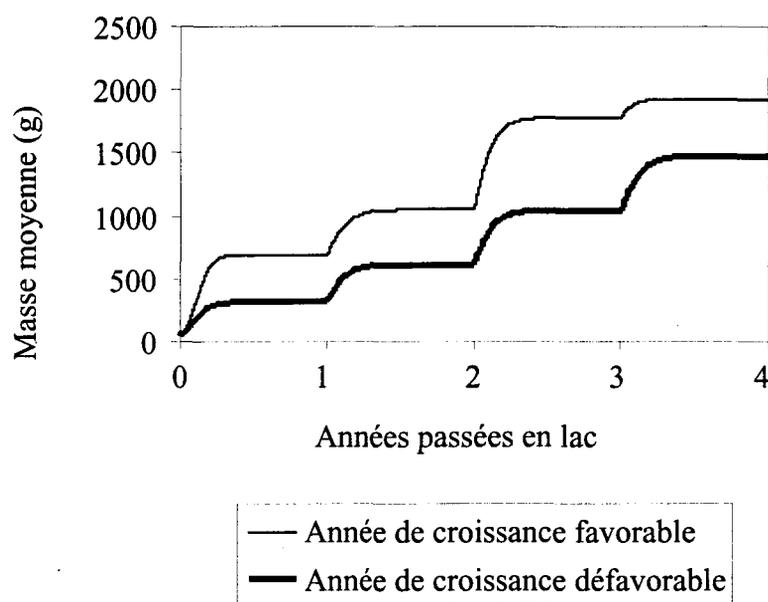


Figure 7. Courbe de croissance de la ouananiche du lac Saint-Jean durant leurs quatre premières années de vie en lac pour une année de croissance favorable et une année de croissance défavorable.

La seconde variable était la température moyenne journalière de l'eau du lac de 1971 à 2002 (figure 8). Cette dernière provenait de la Station de pompage de la ville de Roberval et était prise à une profondeur de 6 mètres.

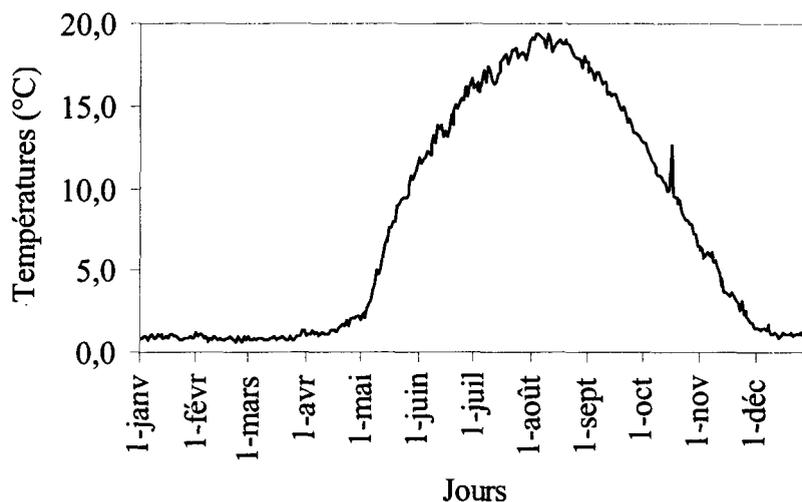


Figure 8. Température moyenne des eaux du lac Saint-Jean de 1971 à 2002.

La troisième variable était les proportions qu'occupaient les différentes catégories de proies dans le régime alimentaire de la ouananiche. Elles ont été déterminées, pour les mois de mai à août, suite à l'analyse des contenus stomacaux de ouananiches (Chapitre II). Les proportions des différentes catégories de proies, observées dans les estomacs de ouananiche en 1998 et 1999 et en 2000 et 2001, ont été utilisées pour représenter respectivement les années où la croissance en lac de ce salmonidé a été élevée ou faible. Par contre, le régime alimentaire hivernal de la ouananiche provenait de l'étude menée par Sayers et al. (1989) où l'éperlan représentait un peu moins de 100% de la diète de la ouananiche et où les autres poissons et les insectes n'étaient présents qu'en très faible

proportion soit moins de 0,5% du volume total de proies ingérées et ce, pour trois des quatre lacs étudiés. La proportion d'invertébrés dans le régime alimentaire de la ouananiche de septembre à avril a donc été établie à 0% (tableau 6).

Tableau 6. Proportion (pourcentage du poids) qu'occupe chaque catégorie de proies dans le régime alimentaire de la ouananiche du lac Saint-Jean pour une année de croissance favorable et défavorable.

	Catégories de proies		
	Éperlans	Autres poissons	Insectes
<b>Année favorable</b>			
Juin-98	0,56	0,39	0,05
Juil-98	0,78	0,18	0,10
Août-98	0,88	0,10	0,02
Sept-déc-98	1,00	0,00	0,00
Janv-avr-99	1,00	0,00	0,00
Mai-99	0,76	0,17	0,07
Juin-99	0,75	0,14	0,11
<b>Année défavorable</b>			
Juin-01	0,55	0,09	0,36
Juil-01	0,22	0,66	0,12
Août-01	0,80	0,11	0,09
Sept-déc-01	1,00	0,00	0,00
Janv-avr-02	1,00	0,00	0,00
Mai-02	0,35	0,22	0,43
Juin-02	0,53	0,29	0,18

La dernière variable était l'abondance de la ouananiche au lac Saint-Jean. Le nombre de saumoneaux produits a été estimé selon que les conditions de croissance en lac avaient été favorables ou défavorables. Dans les deux cas, le nombre de saumoneaux produits a été déterminé en considérant l'évaluation du nombre total de reproducteurs s'étant reproduits dans les quatre principaux tributaires, soient les rivières aux Saumons, Mistassini,

Métabetchouane et Ashuapmushuan. La moyenne des reproducteurs de 1980 à 1987 était de 2 000 pour une période favorable à la croissance et était de 2 800 de 1988 à 1990 pour la période de croissance défavorable. Le nombre total de saumoneaux produits a été calculé comme suit :

$$\text{Nb de saumoneaux} = (\text{Déposition d'œufs totale}) \cdot 0,025 \quad (16)$$

où 0,025 correspond au taux de survie entre le stade œuf et saumoneau (Caron et Le Bel 1991). La déposition d'œufs a été calculée pour chaque classe d'âge (2 à 5 ans) individuellement. La déposition d'œufs totale a par la suite été obtenue en additionnant la déposition d'œufs des 4 classes d'âge.

$$\text{Déposition d'œufs} = \frac{\text{Nb femelles}}{\text{Fécondité}} \quad (17)$$

Le nombre de femelles a tout d'abord été estimé selon un sexe ratio de 1:1. La proportion de femelles dans chaque classe d'âge a été évaluée à partir des données d'âge des reproducteurs en montaison en tenant compte de l'importance relative des quatre populations de ouananiches au lac. La fécondité représentait le nombre d'œufs pondus et a été déterminée à l'aide de la relation entre la masse des femelles avant la fraie et le nombre d'œufs pondus (annexe 4). Nous avons donc obtenu un nombre de 65 000 saumoneaux qui ont connu des années favorables à leur croissance en lac et de 91 500 saumoneaux pour les années qui ont été défavorables à leur croissance. Le nombre de saumoneaux ayant dévalé

les rivières correspondait au nombre de ouananiches au jour 1 (10 juin) de la modélisation pour les individus qui étaient à leur première année en lac. Le nombre de ouananiches au jour 365 a été calculé à l'aide des taux de survie théoriques décrit par Talbot (1992) qui étaient de 30% pour les ouananiches qui en étaient à leur première année en lac et de 20% pour les poissons qui étaient à leurs deuxième, troisième et quatrième années en lac et ce, pour une année de croissance favorable. Pour une année de croissance défavorable les taux de survie ont été établis à 15% pour les ouananiches qui en étaient à leur première année en lac et de 7% pour les poissons qui étaient à leurs deuxième, troisième et quatrième années en lac. Ces taux de survie ont été définis afin de correspondre aux taux de survie de l'œuf à l'adulte qui a été dix fois moins élevée lors d'une période défavorable à la croissance en lac de la ouananiche (Données non publiées Michel Legault FAPAQ). L'abondance journalière a par la suite été diminuée linéairement du jour 1 au jour 365. Cette démarche a été appliquée aux ouananiches des quatre classes d'âge en utilisant toujours comme valeur de départ le nombre de poissons au jour 365 du modèle de la classe d'âge précédente. Lorsqu'elles en sont à leurs troisième et quatrième années en lac les ouananiches sont en mesure de se reproduire. Le nombre de ouananiche quittant le lac pour aller frayer en rivière a été établi en fonction du taux de survie de l'œuf à l'adulte de 0,2% pour une période favorable à la croissance (5 200 reproducteurs) et de 0,02% pour une période défavorable à la croissance (730 reproducteurs). Le nombre de reproducteurs retournant en rivière a été divisé entre les deux classes d'âge soit 75% pour les individus qui en étaient à leur troisième année en lac et 25% pour ceux qui en étaient à leur quatrième année en lac. La période de montaison s'étend de la mi-juin au début du mois d'octobre pour les

différents tributaires. Nous avons donc fixé aux 15 juillet, 15 août et 15 septembre les dates à lesquelles nous avons fait partir des ouananiches en rivière. Pour chacune d'elles, nous avons fait partir 37, 50 et 13% des individus. De plus, nous avons statué au 21 octobre la date de retour des reproducteurs en lac. Le nombre de reproducteurs de retour en le lac après la fraie a été calculé selon le taux de survie de 26% rapporté par Mills (1989) pour la rivière Conon. Les courbes d'abondance utilisées sont présentées à la figure 9.

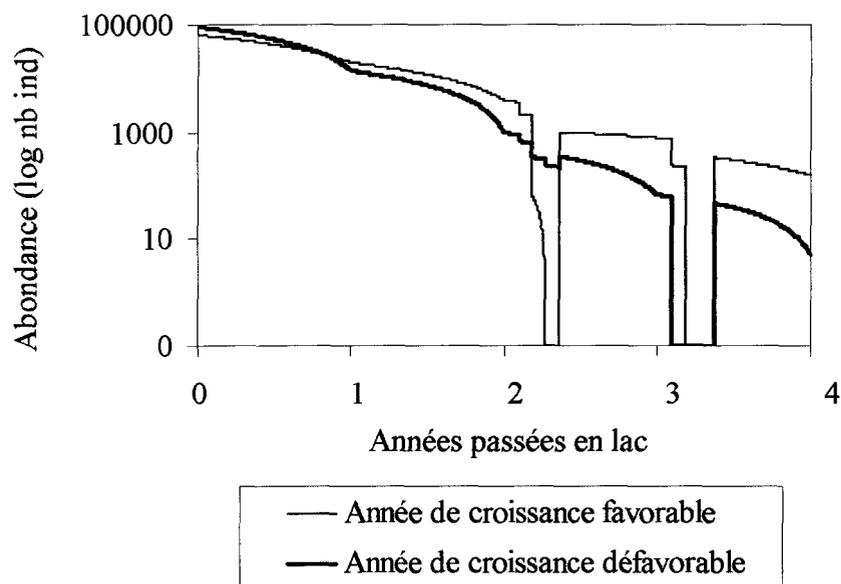


Figure 9. Abondance de la ouananiche au lac Saint-Jean durant leurs quatre premières années de vie en lac pour une année de croissance favorable et défavorable.

La consommation n'a pu être estimée directement par la somme des différents paramètres de l'équation 1 car certains d'entre eux étaient des proportions de la consommation ou de la consommation moins les pertes fécales. La nouvelle équation balancée suivante a donc permis de calculer algébriquement la consommation.

$$C = \frac{M + G}{1 - S + Sf - f - u + uf} \quad (18)$$

où

$$f = (((F/C - K_1) / (1 - K_1) + K_1) \quad (19)$$

et

$$u = \alpha_U T^{(\beta_U)} e^{(\gamma_U P)} \quad (20)$$

La valeur de consommation obtenue a été par la suite insérée dans les équations de l'énergie liée à la digestion, des pertes fécales et de l'excrétion urinaire. Ceci a permis l'obtention du budget énergétique total d'une ouananiche sur une période de 365 jours. Par la suite, la consommation a été divisée selon la proportion qu'occupait chacune des trois catégories de proies.

Finalement, la biomasse de jeunes éperlans de l'année ( $0^+$ ) consommée quotidiennement par les ouananiches a été transformée en nombre d'éperlans  $0^+$  ingérés à l'aide de l'équation suivante:

$$\text{Nb d'éperlans } 0^+ \text{ consommés} = \frac{C \text{ prédite par le modèle} \cdot \% \text{ d'éperlans } 0^+ \text{ dans la diète}}{\text{masse moyenne d'un éperlan}}$$

(21)

Pour y parvenir, nous avons dû établir la courbe de croissance des éperlans  $0^+$ , la principale classe d'âge consommée par la ouananiche. Nous avons mis en relation la longueur des éperlans  $0^+$  présents dans les contenus stomacaux des ouananiches en 1998 avec la date à laquelle la ouananiche a été capturée. La courbe obtenue démontrait trois périodes de croissance soit une première période du 1<sup>er</sup> juillet au 21 septembre, une deuxième du 22 septembre au 24 mai et une troisième du 25 mai au 9 juin. Par la suite, la longueur moyenne des poissons au début et à la fin des périodes de croissance a été utilisée afin de calculer les longueurs moyennes journalières. Pour ce faire, les longueurs journalières de la première et de la troisième périodes de croissance ont été déterminées linéairement tandis qu'elles ont été considérées constantes durant la deuxième période, dû à un arrêt de croissance pendant la période hivernale. Ensuite, les longueurs moyennes journalières ont été transformées en masses moyennes journalières à l'aide de la relation longueur-masse de l'annexe 5. Cette relation ayant été faite à partir d'éperlans conservés, les masses ont préalablement été corrigées à l'aide d'un facteur de correction de 0,8 (Mackenzie et al. 1990). Enfin, les proportions d'éperlans  $0^+$  consommés par la ouananiche pour les trois périodes de croissance ont été obtenues suite à l'étude des contenus stomacaux. Elles ont été fixées respectivement à 31%, 67% et 100% pour les périodes du 1<sup>er</sup> au 15 juillet, du 16 au 31 juillet et du 1<sup>er</sup> août au 9 juin.

### 3.2.1.2 Densité énergétique

L'ensemble des paramètres ont été convertis en g à l'aide des équivalents présentés à la section 3.1.1.3. Dans le modèle de la ouananiche, la consommation allouée à chaque catégorie de proies était exprimée en g jour<sup>-1</sup> de ouananiche. Pour transformer cette consommation en équivalent d'éperlans, la consommation a tout d'abord été multipliée par la densité énergétique du saumon de l'atlantique puis divisée par la densité énergétique de l'éperlan. La ouananiche, se nourrissant essentiellement de juvéniles, la densité énergétique obtenue par Lantry et Stewart (1993) pour des individus 0<sup>+</sup> a été utilisée (4 435 J g<sup>-1</sup>). La même démarche a été appliquée pour les autres poissons et les insectes. Puisque aucune différenciation n'a été faite en ce qui concerne les autres espèces de poissons présentes dans le régime alimentaire de la ouananiche, la densité énergétique des poissons osseux a été utilisée, 6 248,2 J g<sup>-1</sup> (Cummins et Wuycheck 1971). En ce qui concerne les insectes, la densité énergétique, présentée par Cummins et Wuycheck (1971), pour l'ensemble des insectes autant aquatiques que terrestres, a été utilisée (3 176,4 J g<sup>-1</sup>).

### 3.2.1.3 Analyse de sensibilité

Le modèle bioénergétique appliqué aux ouananiches du lac Saint-Jean a également été soumis à une analyse de sensibilité comme décrite à la section 3.1.1.4. L'analyse a été

faite pour les quatre classes d'âge et ce pour une année de croissance favorable et pour une année de croissance défavorable.

#### 3.2.1.4 Estimation de la consommation de la ouananiche à l'aide des contenus stomacaux

La quantité de nourriture ingérée par une ouananiche durant une journée a été estimée à l'aide de la méthode d'Eggers (1977). La consommation journalière a été calculée à l'aide de l'équation suivante:

$$C = (CS) R 24 \quad (\text{équation 22})$$

où C est la consommation journalière (g humide), CS est le poids moyen du contenu stomacal (g humide), R est le taux d'évacuation gastrique ( $h^{-1}$ ) et 24 est le nombre d'heures dans une journée. Le volume de chaque contenu stomacal de ouananiche, dont la méthode a été décrite dans la section précédente, a été transformé en masse à l'aide de la relation volume-masse de l'annexe 6. Généralement, pour appliquer la méthode d'Eggers, il est recommandé d'effectuer un échantillonnage à intervalle régulier durant une période de 24 heures (Eggers 1977). Cependant, considérant que les pêcheurs ne pratiquent pas leur sport durant la nuit, il nous a été impossible d'obtenir un cycle d'alimentation complet (24 heures). Nous avons donc calculé le poids moyen du contenu stomacal avec les heures de la journée, sans celle de la nuit. Les heures utilisées correspondaient à l'heure de capture

du poisson par le pêcheur. Le taux d'évacuation gastrique a quant à lui été calculé selon la relation exponentielle développée pour la truite brune (*Salmo trutta*),  $y = 0,053 e^{0,073T}$  (He et Wurtsbaugh 1993).

### 3.2.2 Résultats

#### 3.2.2.1 Estimation de la consommation de la ouananiche à l'aide du modèle bioénergétique

La consommation estimée à partir du modèle bioénergétique de la ouananiche démontre que pour une année de croissance favorable, les ouananiches consommeraient davantage de nourriture lors de leur première année en lac (saumoneaux) que lors de leur deuxième année en lac (figure 10). La consommation totale de nourriture ingérée par les individus durant leur deuxième année en lac serait supérieure à celle obtenue lors de leur troisième année en lac, qui elle, serait supérieure à celle obtenue lors de leur quatrième année en lac. Le même phénomène est observé pour une année de croissance défavorable. En ce qui concerne la consommation totale d'éperlans, les saumoneaux en consommeraient davantage que les trois autres classes d'âge réunies. De plus, les ouananiches consommeraient une biomasse plus élevée d'éperlans lors de leur deuxième année en lac que lors de leur troisième année en lac et en ingérerait davantage durant leur troisième année en lac que durant leur quatrième année en lac et ce, pour les deux situations à l'étude. Les autres espèces de poissons et les insectes ne représenteraient qu'une très faible quantité de la consommation totale de nourriture ingérée.

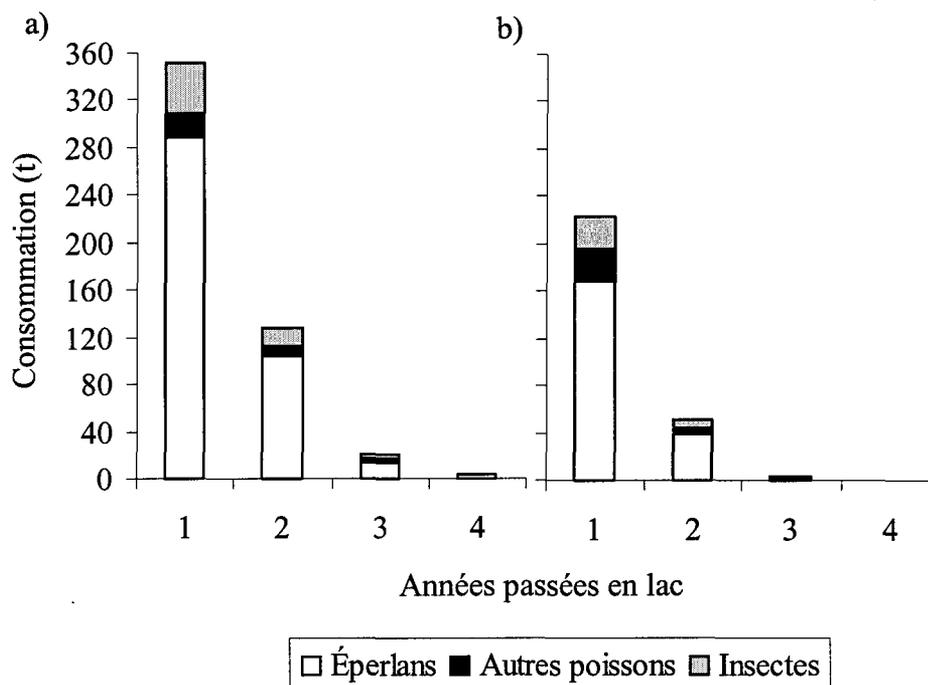


Figure 10. Consommation prédite par le modèle pour les ouananiches du lac Saint-Jean durant leurs quatre premières années de vie en lac pour a) une année de croissance favorable et b) une année de croissance défavorable.

Pour une année de croissance favorable, la consommation totale d'éperlans prédite par le modèle serait plus élevée durant la période estivale, soit de juillet à octobre (figure 11). Elle diminuerait, par la suite, pour atteindre des niveaux relativement bas du mois de novembre jusqu'au début du mois de juin. Une diminution de la consommation d'éperlans est observée au mois de mai pour l'ensemble des classes d'âge. De plus, la consommation totale d'éperlans prédite par le modèle serait plus élevée au début de la modélisation (juin) qu'à la fin de celle-ci (juin) et ce, pour les individus étant à leurs deuxième, troisième et quatrième années en lac (figure 11 à gauche). Pour une année de croissance défavorable, une première diminution de la consommation totale d'éperlans prédite par le modèle, est

observée en juillet. Les ouananiches ingèreraient, par la suite, une plus grande quantité de ce poisson fourrage du mois d'août au mois d'octobre. La consommation diminuerait par la suite graduellement jusqu'en mai où une diminution plus sévère est observée. Pour une année de croissance défavorable, la consommation totale d'éperlans serait plus élevée au début de la modélisation qu'à la fin de celle-ci pour les ouananiches étant à leurs deuxième, troisième et quatrième années en lac (figure 11 à droite). De plus, les ouananiches consommeraient plus d'éperlans durant leur première année en lac que durant leur seconde année en lac. Elles en consommeraient davantage durant leur deuxième que durant leur troisième années en lac et en ingèreraient une plus grande quantité lors de leur troisième que lors de leur quatrième année en lac. Ce phénomène est observé pour les deux situations à l'étude. Pour les quatre classes d'âge, la ouananiche consommerait plus d'éperlans durant une année de croissance favorable que durant une année de croissance défavorable.

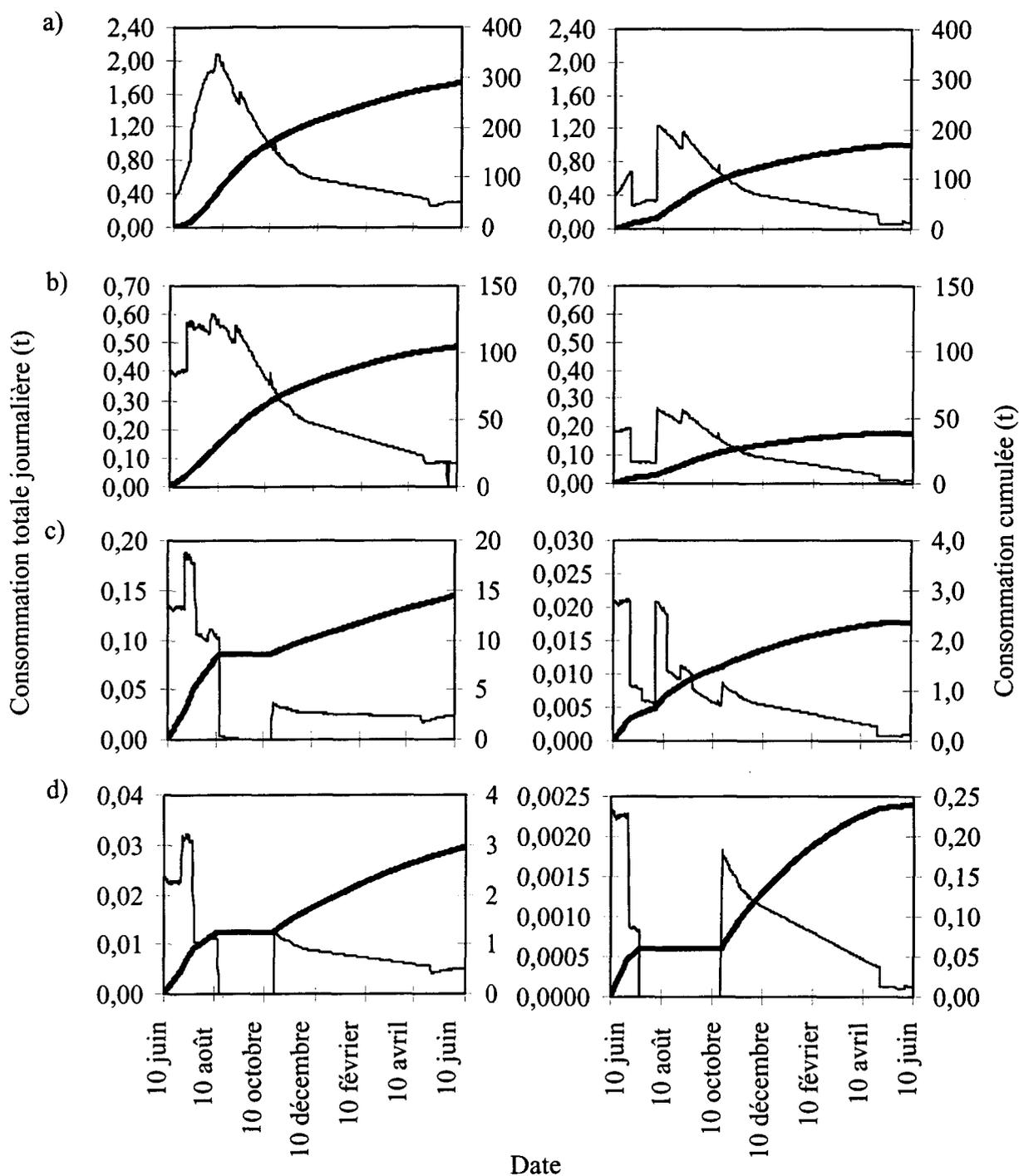


Figure 11. Consommation journalière d'éperlans ingérés par les ouananiches du lac Saint-Jean durant leurs a) première, b) deuxième, c) troisième et d) quatrième années en lac pour une année de croissance favorable (à gauche) et défavorable (à droite). La courbe en gras représente la consommation cumulée et celle plus fine, la consommation totale journalière.

Suite à la transformation de la biomasse ingérée en quantité d'éperlans consommés, les résultats démontrent que les ouananiches ingèreraient 379 millions de jeunes éperlans de l'année durant leur première année en lac (figure 12). Cette quantité diminuerait par la suite à 128 millions, à 29 millions et à 5 millions durant leurs deuxième, troisième et quatrième années en lac et ce, pour une année de croissance favorable. Pour une année de croissance défavorable, la quantité de jeunes éperlans consommés serait moins élevée que la quantité consommée lors d'une année de croissance favorable. Le nombre d'éperlans ingérés par les ouananiches passerait donc respectivement de 172 millions à 38 millions à 4 millions à 0,1 millions durant la première, deuxième, troisième et quatrième année en lac.

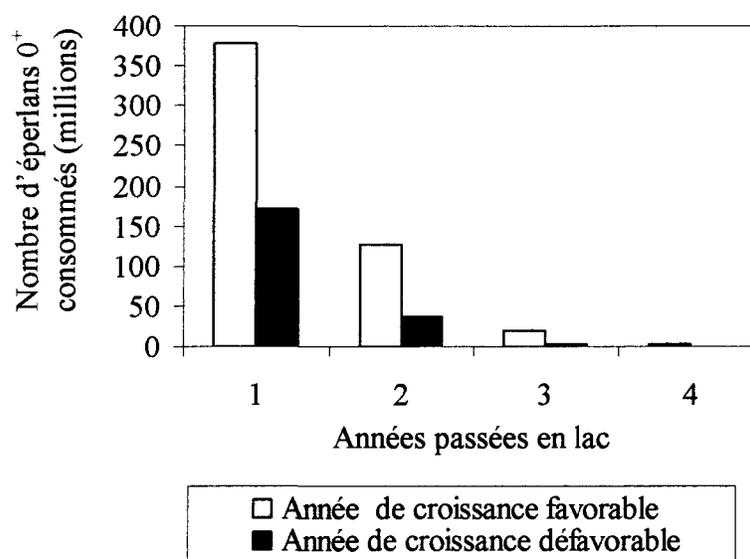


Figure 12. Nombre total d'éperlans 0<sup>+</sup> consommés par les ouananiches du lac Saint-Jean durant leurs quatre premières années de vie en lac pour une année de croissance favorable et défavorable.

### 3.2.2.2 Analyse de sensibilité

La figure 13 présente les résultats de l'analyse de sensibilité du modèle bioénergétique de la ouananiche durant leurs quatre premières années de vie en lac pour une année de croissance favorable et défavorable. Pour les deux scénarios, les résultats obtenus pour l'ensemble des classes d'âge démontrent que la consommation est peu sensible (peu variable) lorsque les valeurs des divers paramètres varient de  $\pm 10\%$  ou de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Toutes les valeurs de sensibilité ( $S(p)$ ) obtenue se situent dans la zone de faible sensibilité, soit entre  $-1$  et  $1$ , à l'exception de la valeur du  $\beta$  du métabolisme standard qui semble être légèrement plus sensible ( $1,62$  pour une année de croissance favorable et  $1,4$  pour une année de croissance défavorable).



### 3.2.2.3 Estimation de la consommation de la ouananiche à l'aide des contenus stomacaux

Le tableau 7 démontre que la consommation journalière prédite par le modèle de la ouananiche est plus élevée que celle estimée à l'aide de la méthode d'Eggers (1977). Pour une année de croissance favorable, la consommation prédite par le modèle serait de 2 à 4 fois plus élevée tandis que pour une année de croissance défavorable, elle serait de 3 à 7 fois supérieure à la consommation estimée avec la méthode d'Eggers (1977).

Tableau 7. Consommation prédite par le modèle bioénergétique de la ouananiche et estimée avec la méthode d'Eggers (1977).

Mois	$C_{\text{Eggers}}$ (g)	$C_{\text{Eggers}}$ % masse corporelle	$C_{\text{modèle}}$ (g)	$C_{\text{modèle}}$ % masse corporelle
Mai-favorable	13,81	0,82	26,16	1,92
Juin-favorable	18,92	1,10	36,44	3,36
Juillet-favorable	15,99	0,91	71,11	6,26
Juin-défavorable	10,47	1,18	34,89	4,30
Juillet-défavorable	4,66	0,51	31,61	3,72

### 3.2.3 Discussion

#### 3.2.3.1 Estimation de la consommation de la ouananiche à l'aide du modèle bioénergétique

Au lac Saint-Jean, quelques études ont été réalisées en ce qui concerne l'alimentation de la ouananiche. Cependant, ces études portaient essentiellement sur la description du

régime alimentaire de ce salmonidé et non pas sur la quantité de nourriture qu'il ingère. L'approche bioénergétique, même s'il est question de prédiction, nous fournit une bonne idée ou du moins un ordre de grandeur de l'impact de la prédation sur l'éperlan. Nous avons effectué la modélisation pour les quatre principales classes d'âge de ouananiches susceptibles d'être rencontrées dans le lac. Les résultats suggèrent que ce soit les saumoneaux qui exerceraient une plus forte pression de prédation sur les éperlans 0<sup>+</sup>. La prédation serait donc un facteur important affectant le recrutement des jeunes éperlans de l'année. En effet, durant leur première année en lac, les saumoneaux consommeraient plus de 70% de la quantité totale d'éperlans ingérés par les quatre classes d'âge. Cette proportion diminuerait à moins de 25% lors de leur deuxième année en lac, à moins de 4% lors de leur troisième année en lac et à moins de 1% lors de leur quatrième année en lac. Ce phénomène est observé autant pour une année de croissance favorable que pour une année de croissance défavorable. De plus, les résultats obtenus démontrent que la quantité d'éperlans consommés par la ouananiche varie tout au cours de l'année et ce, pour les quatre classes d'âge à l'étude. Ces variations sont principalement dues à la proportion qu'occupait l'éperlan dans la diète de la ouananiche.

Depuis 1996, la FAPAQ effectue un suivi d'abondance des juvéniles d'éperlans au lac Saint-Jean. Ceci a permis d'obtenir une estimation grossière du nombre de jeunes éperlans produits à chaque année. Cette estimation représente entre 122 et 765 millions d'individus (Données non publiées Michel Legault FAPAQ). Lorsque ces valeurs sont comparées à la quantité totale d'éperlans 0<sup>+</sup> consommés (prédite par le modèle) par les quatre classes d'âge

de ouananiches (531 millions d'individus pour une année de croissance favorable et 213 millions d'individus pour une année de croissance défavorable), nous remarquons que ces dernières consommeraient une très grande proportion des jeunes éperlans produits annuellement.

Les salmonidés ont le potentiel de diminuer l'abondance de leurs proies et par le fait même, de créer des conditions où les proies deviennent un facteur limitant. Ceci a pour conséquence de réduire la croissance, la condition et la survie des prédateurs (Stewart et al. 1981; Kitchell et Crowder 1986; Stewart et Ibarra 1991; Rand et Stewart 1998). Cette situation provoque, par la suite, le phénomène inverse où une faible abondance de prédateurs permet aux proies de recouvrer des niveaux d'abondance plus élevés (Rand et al. 1994). Selon les résultats obtenus au lac Saint-Jean, l'arrivée d'une cohorte importante de saumoneaux aurait comme conséquence de réduire la quantité d'éperlans. Ce serait alors les saumoneaux qui exerceraient une plus forte pression de prédation sur les éperlans disponibles dans le milieu. Étant donné que la ouananiche se nourrit principalement de juvéniles, elle affecterait ainsi le recrutement de ce poisson fourrage. Par contre, l'arrivée d'une cohorte moins abondante de saumoneaux, permettrait un meilleur recrutement de l'éperlan, donc une abondance plus élevée de ces derniers. Les résultats obtenus suggèrent ainsi que l'abondance des saumoneaux aurait une incidence importante sur le recrutement de l'éperlan au lac Saint-Jean.

Les résultats obtenus, suite à l'estimation de la consommation à partir du modèle bioénergétique, suggèrent que ce sont les saumoneaux qui exercent la plus forte pression de prédation sur les jeunes éperlans. Un surnombre de saumoneaux pourrait occasionner une réduction excessive de l'éperlan dû au dépassement de la capacité de support du lac Saint-Jean. De 1990 à 1999, la FAPAQ a procédé à l'ensemencement de ouananiches juvéniles en rivière afin de restaurer les populations. Si les ensemencements de juvéniles ont été effectués durant une période défavorable ou de faible abondance pour l'éperlan, l'impact de la prédation sur ce poisson fourrage aura été d'autant plus importante.

#### 3.2.3.2 Analyse de sensibilité

Le modèle bioénergétique de la ouananiche s'avère très robuste lorsqu'il est appliqué aux ouananiches du lac Saint-Jean. Tout comme pour les ouananiches en bassin, le modèle semble être plus sensible à la variation du métabolisme standard et ce seulement pour les individus qui en sont à leur quatrième année en lac. En effet, la consommation se voit augmenter de 16,2% (année de croissance défavorable) et de 14% (année de croissance défavorable) lorsque la valeur  $\beta$  du métabolisme standard varie de  $\pm 10\%$ .

### 3.2.3.3 Estimation de la consommation de la ouananiche à l'aide des contenus stomacaux

Les résultats obtenus, suite à l'estimation de la consommation, à l'aide de la méthode d'Eggers (1977) suggèrent que le modèle bioénergétique de la ouananiche surestime la consommation. En effet, la consommation prédite par le modèle est de deux à sept fois supérieure à celle observée avec la méthode d'Eggers (1977). Nous avons utilisé la méthode d'Eggers d'une façon non conforme. En effet, habituellement la consommation est estimée à partir de l'analyse de contenus stomacaux échantillonnés dans la même journée sur une période de 24 heures. Dans le cadre de ce projet, nous avons utilisé des contenus stomacaux ne provenant pas de la même journée, en plus de ne pas avoir de donnée durant la nuit. Par contre, le manque de données durant la nuit ne peut qu'occasionner une surestimation de la consommation.

Le modèle bioénergétique serait donc très fiable pour estimer la consommation de ouananiches en laboratoire mais perdrait de la fidélité lorsqu'il serait appliqué à des ouananiches en milieu naturel. Suite à l'estimation de la consommation, à l'aide du modèle bioénergétique et de la méthode d'Eggers (1977), il est possible que la valeur réelle de la consommation se situe entre celles prédites par ces deux méthodes. La surestimation de la consommation, prédite par le modèle, pourrait être dû à une estimation trop élevée de l'activité, seul paramètre ayant été modifié lors de l'application du modèle aux ouananiches du lac Saint-Jean. Afin de calculer ce paramètre, nous avons utilisé l'équation décrite par

Boisclair et Tang (1993) pour une activité de nage routinière. Une des variables de cette équation était la vitesse natatoire de la ouananiche du lac que nous n'avions pas. Nous avons donc dû l'estimer à l'aide de l'équation développée par Beauchamp et al. (1989). Il est possible que cette dernière ne fût pas adéquate, ce qui aurait causé la surestimation de la valeur de l'activité (entre 39 et 46% du budget énergétique total). De plus, le métabolisme total prédit par le modèle, pour une année de croissance favorable et défavorable, représente entre 68 et 78% du budget énergétique total, ce qui ne concorde pas avec ce qui a été suggéré pour les poissons piscivores (entre 37 et 51%) par Brett et Groves (1979). L'énergie perdue sous la forme fécale et urinaire représente quant à elle une proportion similaire à celle proposée par Brett et Groves (1979) tandis que la croissance prédite par le modèle représente entre 1 et 13% du budget énergétique total comparativement à une proportion se situant entre 23 et 35% (Brett et Groves 1979). Lorsque nous statuons à 0 l'activité journalière de la ouananiche, la proportion du budget énergétique total pour l'ensemble des paramètres du modèle concorde avec ce qui est suggéré pour les poissons piscivores par Brett et Groves (1979). Quoiqu'il en soit, même avec une valeur d'activité corrigée, la plus forte pression de prédation sera tout de même exercée par les saumoneaux. Les différences observées de la consommation, entre les diverses classes d'âge, dépend essentiellement de l'abondance de la ouananiche, car les taux de survie de la ouananiche en lac sont très faible.

CHAPITRE IV

CONCLUSION

L'étude des contenus stomacaux nous a permis de confirmer, qu'au lac Saint-Jean la ouananiche est un prédateur très sélectif en ce qui concerne le choix de ses proies. Elle se nourrit majoritairement d'éperlans arc-en-ciel et les autres catégories de proies (autres poissons et invertébrés) représentent une proportion variable de son régime alimentaire. Le doré jaune semble quant à lui être un prédateur opportuniste. Il se nourrit d'une grande variété de proies quoique au lac Saint-Jean, il semble se nourrir en grande proportion d'insectes aquatiques. Ce phénomène semble être particulier aux dorés peuplant les lacs qui se situent au nord de son aire de répartition car cette espèce est généralement piscivore. Les résultats portent à croire la ouananiche ne semblerait pas être affectée négativement par la compétition du doré jaune.

Nous avons utilisé un modèle bioénergétique pour estimer la consommation de quatre classes d'âge de ouananiches au lac Saint-Jean. Les résultats obtenus démontrent que ce serait lors de leur première année en lac que les ouananiches consommeraient la plus grande quantité de nourriture. En effet, les saumoneaux consommeraient plus de 69% de la quantité totale d'éperlans ingérés par les quatre classes d'âge. Cette proportion diminuerait à moins de 25% lors de leur deuxième année en lac, à moins de 5% lors de leur troisième année en lac et à moins de 1% lors de leur quatrième année en lac. Ce serait les saumoneaux qui exerceraient la plus forte pression de prédation sur l'éperlan. Étant donné l'importance de cette prédation par rapport à l'abondance de l'éperlan dans le milieu, le recrutement de ce poisson fourrage serait en partie contrôlé par l'abondance des saumoneaux.

Les résultats obtenus suggèrent que la consommation prédite par le modèle soit de deux à sept fois plus élevée que la consommation estimée avec la méthode d' Eggers. Ceci serait dû à une estimation inadéquate de l'activité en milieu naturel. Il serait donc intéressant d'améliorer ce paramètre pour obtenir des valeurs de consommation plus représentatives.

Au lac Saint-Jean, les conditions naturelles ont été perturbées par l'homme et ce depuis le début du 20<sup>ième</sup> siècle. L'urbanisation, la construction de barrages, la stabilisation des berges pour ne nommer que ceux-ci, sont autant de facteurs ayant modifié les conditions naturelles du lac (Legault et Gouin 1985). Lorsque nous comparons nos estimations de la consommation à la quantité d'éperlans produits annuellement dans le lac, nous constatons qu'actuellement le lac n'est pas en mesure de supporter une production élevée de ouananiches. Donc, augmenter la production de ouananiches artificiellement pour satisfaire les besoins de la pêche sportive n'est certes pas une bonne idée. D'autres moyens devront être mis de l'avant pour restaurer les populations d'éperlans et par le fait même les populations de ouananiches du lac Saint-Jean.

## LISTE DES RÉFÉRENCES

Bagenal, T. 1978. Method for assessment of fish production in fresh waters. Third edition. IBP Handbook No3. Blackwell scientific publication. Oxford. 365 p.

Beauchamp, D.A., D.J. Stewart et G.L. Thomas. 1989. Corroboration of a bioenergetics model for sockeye salmon. Trans. Am. Fish. Soc. 118: 597-607.

Bernatchez, L. et M. Giroux. 2000. Les poissons d'eau douce du Québec. Édition Broquet. Ottawa. 350 p.

Boisclair, D. et W.C. Leggett. 1989. The importance of activity in bioenergetics models applied to actively foraging fishes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46: 1859-1867.

Boisclair, D. et P. Sirois. 1993. Testing assumptions of fish bioenergetics models by direct estimation of growth, consumption, and activity rates. Trans. Am. Fish. Soc. 122: 784-796.

Boisclair, D. et M. Tang. 1993. Empirical analysis of the influence of swimming pattern on the net energetic cost swimming in fishes. J. Fish. Biol. 42: 169-183.

Bolding, B., S.A. Bonar et M. Divens. 1998. Walleye diet in a shallow impoundment: relative importance of pumpkinseed sunfish and yellow perch. J. Freshwater Ecol. 13: 9-14.

Brett, J.R. et N.R. Glass. 1973. Metabolic rates and critical swimming speeds of sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) in relation to size and temperature. J. Res. Board Can. 30: 379-387.

Brett, J.R. et T.D.D. Groves. 1979. Physiological energetics. Dans Fish physiology, volume 8. Academic Press, New York. Pp. 279-352.

Burke, B.J. et J.A. Rice. 2002. A linked foraging and bioenergetics model for southern flounder. Trans. Am. Fish. Soc. 131: 120-131.

Caron, F. et J.-p. Le Bel, éditeurs. 1991. Normes biologiques applicables dans le cadre du programme de développement économique du saumon. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction de la gestion des espèces et des habitats, Service de la faune aquatique, Québec. 58 p.

Centre écologique du lac St-Jean inc. 1997. Recherches de frayères à éperlans arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) dans le lac St-Jean en 1996. Ministère de l'Environnement du Canada, Ministère des Pêches et des Océans du Canada, Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec. 59 p.

Christie, W.I. 1972. Lake Ontario: effects of exploitation, introductions and eutrophication on the salmonid community. J. Fish. Res. Board Can. 29: 913-929.

Cummins, K.W. et J.C. Wuycheck. 1971. Caloric equivalents for investigation in ecological energetics. Mitt. Int. Theor. Angew. Limnol. 18: 1-151.

Desjardins, R. 1989. Régime alimentaire de différentes espèces de poissons du lac St-Jean. Rapport préliminaire, Centre écologique du lac St-Jean inc. 55 p.

Eggers, D.M. 1977. Factors in interpreting data obtained by diel sampling of fish stomachs. Fish. Res. Board Can. 34: 290-294.

Elliott, J.M. et W. Davison. 1975. Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. Oecologia. 19: 195-201.

Elliott, J.M. et L. Persson. 1978. The estimation of daily rate of food consumption for fish. J. Anim. Ecol. 47: 977-991.

Gleason, T.R. et D.A. Bengtson. 1996. Size-selective mortality of inland silversides: evidence from otolith microstructure. *Trans. Am. Fish. Soc.* 125: 860-873.

Hanson, J.M. et W.C. Leggett. 1986. Effect of competition between two freshwater fishes on prey consumption and abundance. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 1363-1372.

Hargreaves, N.B. et R.J. Lebrasseur. 1986. Size-selectivity of coho (*Oncorhynchus kisutch*) preying on juvenile chum salmon (*Oncorhynchus keta*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 581-586.

Hartman, K.J. et F.J. Margraf. 1992. Effects of prey and predator abundances on prey consumption and growth of walleyes in western lake Erie. *Trans. Am. Fish. Soc.* 121: 245-260.

Havey, K.A. 1974. Population dynamics of landlocked salmon, *Salmo salar*, in Love lake, Maine. *Trans. Am. Fish. Soc.* 3: 448-455.

Hazel, P. et R. Fortin. 1986. Le doré jaune (*Stizostedion vitreum* Mitchell) au Québec: biologie et gestion. Gouvernement du Québec, ministères du Loisir de la Chasse et de la Pêche. 417 p.

He, E et K.J. Wurtsbaugh. 1993. An empirical model of gastric evacuation rates for fish and an analysis of digestion in piscivorous brown trout. *Trans. Am. Fish. Soc.* 122: 717-730.

Hewett, S.W. et B.L. Johnson. 1992. Fish bioenergetics model 2. University of Wisconsin, Sea Grant Institute, WIS-SG-91-250, Madison. 79 p.

Hill D.K. et J.J. Magnuson. 1990. Potential effect of global climate warming on the growth and prey consumption of Great Lakes fish. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119: 265-275.

Jones, G. H., M. Leclerc, M. Ouelette, L. Potvin, P. Couture, D. Cluis, W. Sochanska et J. Sochanska. 1979. Productivité biologique des eaux du lac Saint-Jean. INRS-eau. Université du Québec. Rapport scientifique No. 76. Sainte-Foy. 568 p.

Jones, M.S., J.P. Goettl Jr et S.A. Flickinger. 1994. Changes in the walleyes food habits and growth following a rainbow smelt introduction. *N. Am. Fish. Manage.* 14: 409-414.

Juanes, F. et D.O. Conover. 1994. Piscivory and prey size selection in young-of-the-year bluefish: predator preference or size-dependent capture success? *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 114: 59-69.

Kircheis, F.W. et J.G. Stanley. 1981. Theory and practice of forage-fish management in New England. *Trans. Am. Fish. Soc.* 110: 729-737.

Kirn, R.A. et G.W. LaBar. 1996. Growth and survival of rainbow smelt, and their role as prey for stocked salmonids in Lake Champlain. *Trans. Am. Fish. Soc.* 125:87-96.

Kitchell, J.F., D.J. Stewart, et D. Weininger. 1977. Applications of a bioenergetics model to yellow perch (*Perca flavescens*) and walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*). *J. Fish. Res. Board Can.* 34: 1922-1935.

Kitchell, J.F. et L.B. Crowder. 1986. Predator-prey interactions in lake Michigan: model predictions and recent dynamics. *Environ. Biol. Fishes.* 16: 205-211.

Kraft, C.E. 1993. Phosphorus regeneration by lake Michigan alewives in the mid-1970s. *Trans. Am. Fish. Soc.* 122: 749-755.

Lantry, B.F. et D.J. Stewart. 1993. Ecological energetics of rainbow smelt in the Laurentian Great Lakes: An interlake comparison. *Trans. Am. Fish. Soc.* 122: 951-976.

Latour, N., J. Dubé, Y. Gravel et G. Pageau. 1980. L'alimentation de 18 espèces de poissons du fleuve Saint-Laurent. Gouvernement du Québec, ministères du Loisir, de la Chasse et de la Pêche. 121 p.

Legault, M et H, Gouin. 1985. La ouananiche: fierté du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Ministère du Loisir de la Chasse et de la Pêche, Direction régionale du Saguenay/Lac-Saint-Jean, Jonquière. 19 p.

Legault, M. 1998. Élaboration d'une méthode d'évaluation de l'abondance relative de l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) du Lac saint-Jean. Gouvernement du Québec. 43 pages.

Little, A.L., W.M. Tonn, R.F. Tallman et J.D. Reist. 1998. Seasonal variation in diet and trophic relationships within the fish communities of the lower Slave river, Northwest Territories, Canada. Environ. Biol. Fishes. 53: 429-445.

Mackenzie, B.R., W.C. Leggett et R.H. Peters. 1990. Estimating larval fish ingestion rates: can laboratory derived values be reliably extrapolated to wild? Mar. Ecol. Prog. Ser. 67: 209-225.

Mathers, R.A. et P.H. Johansen. 1985. The effects of feeding ecology on mercury accumulation in walleye (*Stizostedion vitreum*) and pike (*Esox lucius*) in Lake Simcoe. Can. J. Zool. 63: 2006-2012.

Mahy, G. 1975. Étude comparée des régimes alimentaires de la ouananiche, du doré et du brochet. Centre Moyen-Nord, contribution à la biologie de la ouananiche, rapport miméographié. 143 p.

Mills, D. 1989. Ecology and management of Atlantic salmon. Chapman and Hall ed. 351 p.

Nadon, L. 1991. Régime alimentaire et croissance de la ouananiche (*Salmo salar*) du lac St-Jean. Mémoire de maîtrise, Université du Québec à Chicoutimi, Chicoutimi. 97 p.

O'Gorman, R.A., Bergstedt et T.H. Eckert. 1987. Prey fish dynamics and salmonine predator growth in lake Ontario, 1978-84. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44(suppl.2): 390-403.

Pepin, P. et T.H. Shears. 1995. Influence of body size and alternate prey abundance on the risk of predation to fish larvae. Mar. Ecol. Prog. Ser. 128: 279-285.

Post, J.R. et D.O. Evans. 1989. Experimental evidence of size-dependant predation mortality in juvenile yellow perch. Can. J. Zool. 67: 521-523.

Priegel, G.R. 1963. Food of walleye and sauger in lake Winnebago, Wisconsin. *Trans. Am. Fish. Soc.* 92: 312-313.

Rand, P.S., B.F. Lantry, R. O'Gorman, R.W. Owens et D.J. Stewart. 1994. Energy density and size of pelagic prey fishes in lake Ontario, 1978-1990: implications for salmonine energetics. *Trans. Am. Fish. Soc.* 123: 519-534.

Rand, P.S. et D.J. Stewart. 1998. Prey fish exploitation, salmonine production, and pelagic food web efficiency in lake Ontario. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 55: 318-327.

Rice, J.A., L.B. Crowder et K.A. Rose. 1993. Interactions between size-structured predator and prey populations: experimental test and model comparison. *Trans. Am. Fish. Soc.* 122: 481-491.

Ruzycki, J.R., W.A. Wurtsbaugh et C. Luecke. 2001. Salmonine consumption and competition for endemic prey fishes in Bear lake, Utah-Idaho. *Trans. Am. Fish. Soc.* 130: 1175-1189.

Sayers, R. E. J., J.R. Moring, P.R. Johnson et S.A. Roy (1989). Importance of rainbow smelt in the winter diet of landlocked atlantic salmon in four Maine lake. *N. Am. J. Fish. Manage* 9: 298-302.

Schindler, D.E., J.F. Kitchell, S.R. Carpenter, J.R. Hodgson et K.L. Cottingham. 1993. Food web structure and phosphorus cycling in lakes. *Trans. Am. Fish. Soc.* 122: 756-772.

Scott, W.B. et E.J. Crossman. 1990. *Poissons d'eau douce du Canada*. Ministère de l'environnement Service des pêches et des sciences de la mer. Ottawa. 1026 p.

Shearer, W.M. 1992. Atlantic salmon scale reading guidelines. Conseil International pour l'Exploration de la Mer. Rapport des recherches collectives NO. 188. 46 p.

Stewart, D.J. et F.P.B. Binkowski. 1986. Dynamics of consumption and food conversion by lake Michigan alewives: an energetics-modeling synthesis. *Trans. Am. Fish. Soc.* 115: 643-661.

Stewart, D.J., J.F. Kitchell et L.B. Crowder. 1981. Forage fishes and their salmonid predators in lake Michigan. *Trans. Am. Fish. Soc.* 110: 751-763.

Stewart, D.J., D. Weininger, D.V. Rottiers et T.A. Edsall. 1983. An energetics model for lake trout, *salvelinus namaycush*: application to the Lake Michigan population. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 681-698.

Stewart, D.J. et M. Ibarra. 1991. Predation and production by salmonine fishes in lake Michigan, 1978-88. *Can. J. Fish. Aquat. Sc.* 48: 909-922.

Talbot, A. 1992. Le développement du suivi de la pêche à la ouananiche du lac Saint-Jean. Présenté au Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche, Direction du Saguenay/Lac Saint-Jean. 88 p.

Tonn, W.M. et C.A. Paszkowski. 1986. Size-limited predation, winterkill, and the organization of umbra-perca fish assemblages. *Can. J. fish. Aquat. Sci.* 43: 194-202.

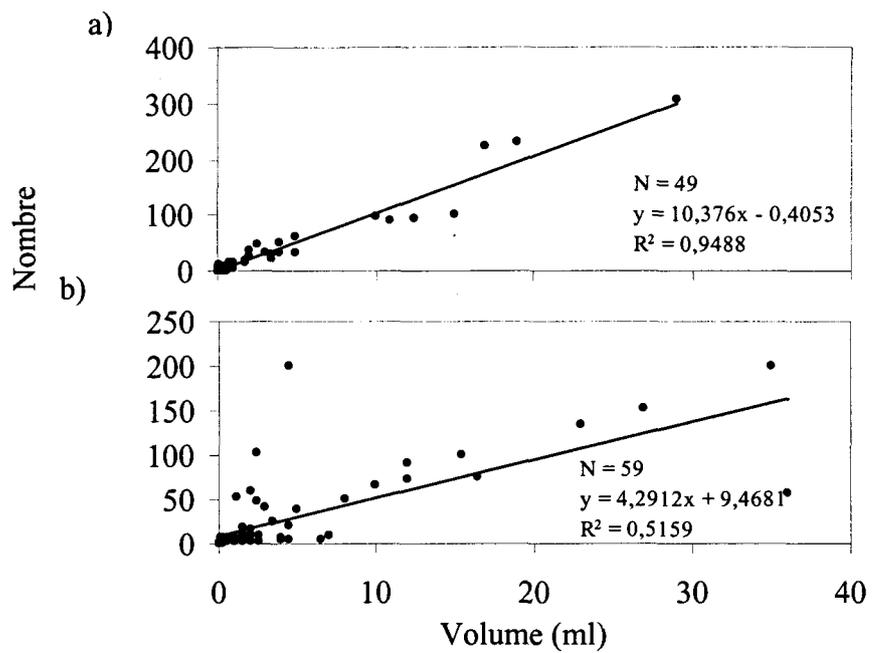
Tonn, W.M., C.A. Paszkowski et I.J. Holopainen. 1992. Piscivory and recruitment: mechanisms structuring prey populations in small lakes. *Ecology.* 73: 951-958.

Ware, D.M. 1978. Bioenergetics of pelagic fish: theoretical change in swimming speed and ration with body size. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 220-228.

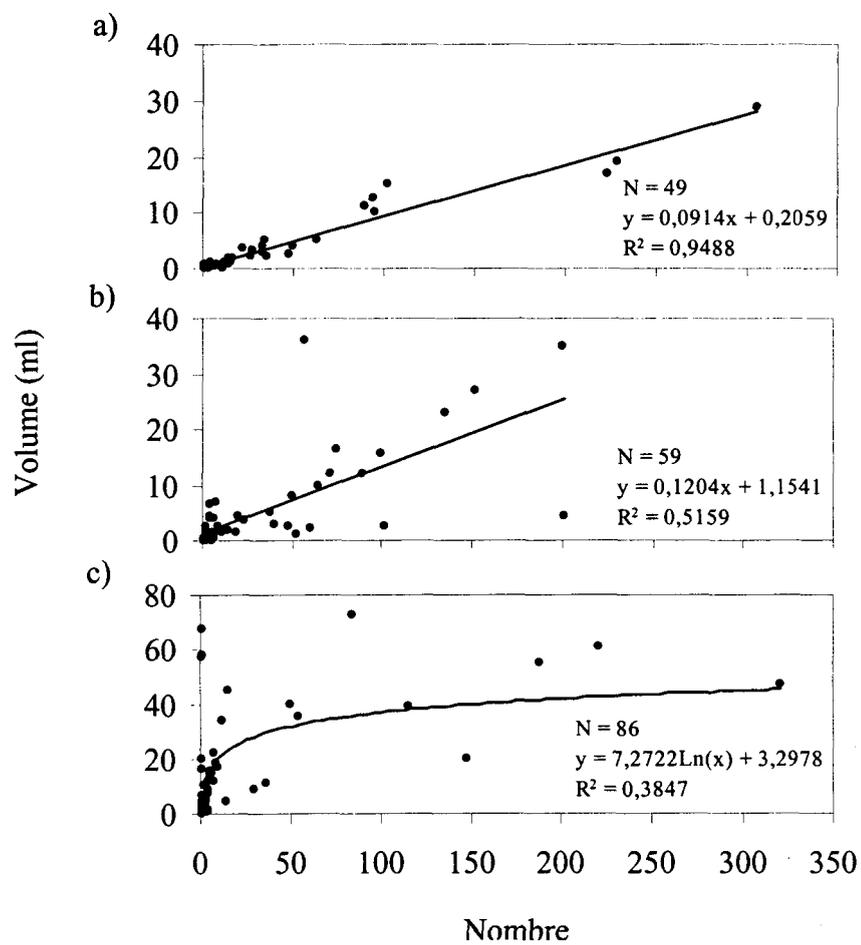
Zimmerman, M.P. 1999. Food habits of smallmouth bass, walleye, and northern pikeminnow in the lower Colombia river basin during outmigration of juvenile anadromous salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.* 128: 1036-1054.

## ANNEXES

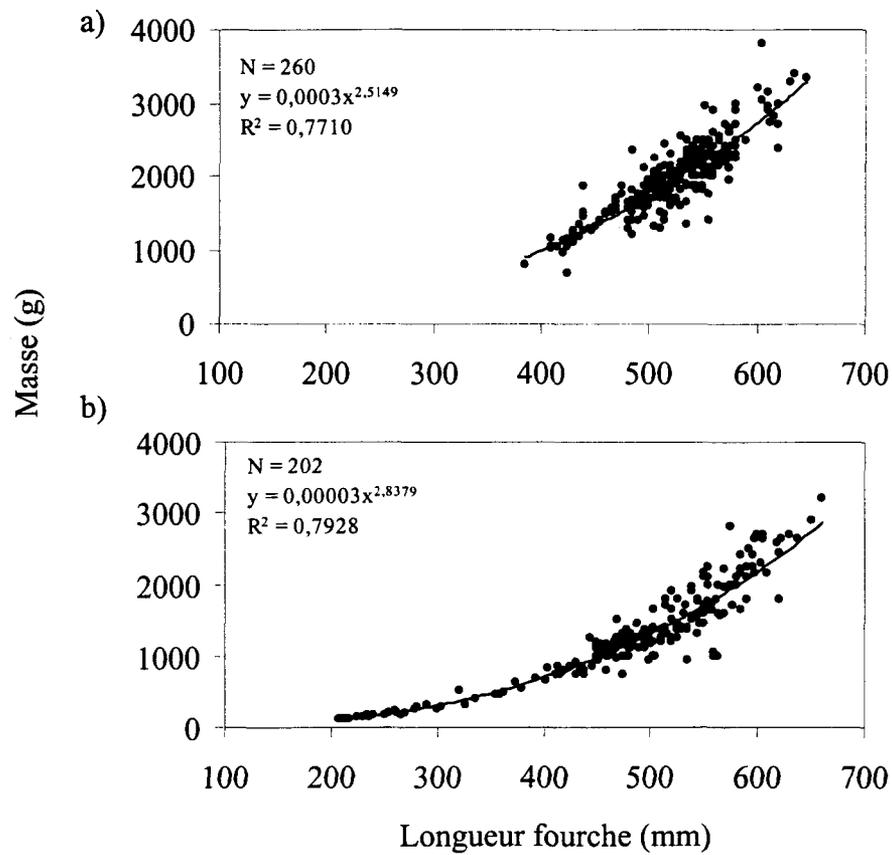
Annexe 1. Relations entre le volume et le nombre a) des insectes aquatiques et b) des insectes terrestres provenant des contenus stomacaux de dorés jaunes du lac Saint-Jean.



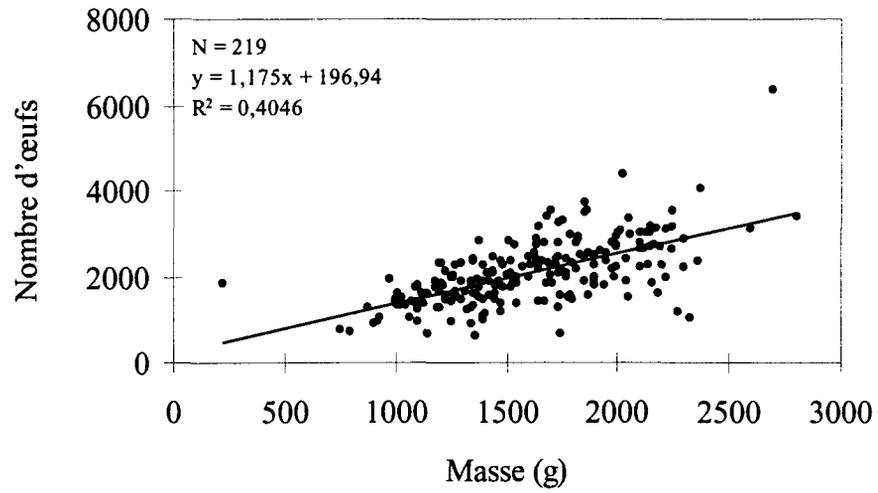
Annexe 2. Relations entre le nombre et le volume a) des insectes aquatiques, b) des insectes terrestres et c) des poissons provenant des contenus stomacaux de dorés jaunes.



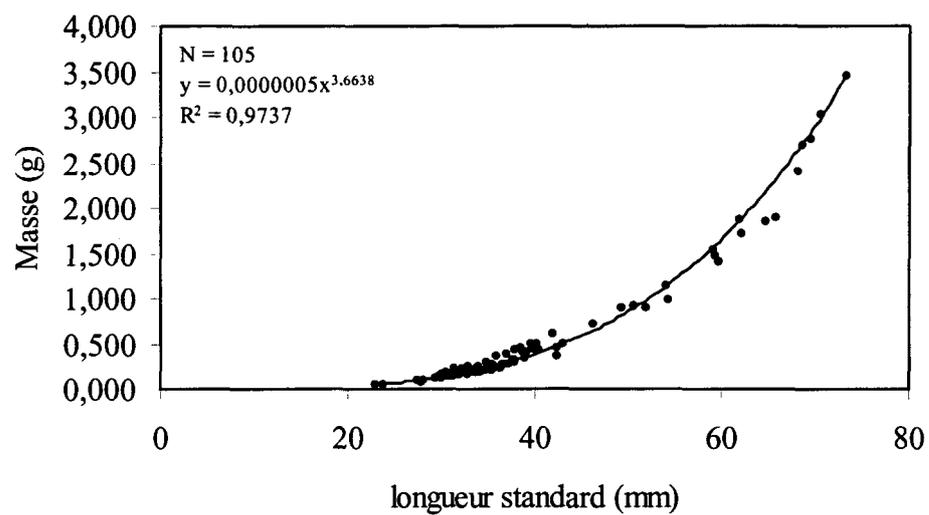
Annexe 3. Relation entre la longueur à la fourche et la masse des ouananiches du lac Saint-Jean pour a) une année favorable et b) une année défavorable.



Annexe 4. Relation entre la masse des ouananiches femelles et le nombre d'œufs pondus.



## Annexe 5. Relation entre la longueur et la masse de l'éperlan arc-en-ciel au lac Saint-Jean.



Annexe 6. Relations entre le volume et la masse des a) insectes aquatiques, b) insectes terrestres et c) poissons provenant des contenus stomacaux des dorés jaunes.

