Life history and bioenergetics of the brook trout of rivière au Saumon, northern Québec

Jean-François Doyon

Department of Renewable Resources Macdonald College of McGill University, Montréal

> June, 1990 FINAL 7/1

A Thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science

c Jean-François Doyon, 1990

"FINISHING IS BETTER THAN STARTING"

ł

#

•

Ecc 7:8 .

À mon père.

Î

.

ABSTRACT

Seasonal movements of anadromous brook trout (<u>Salvelinus fontinalis</u>) were studied in rivière au Saumon, James Bay, during 1986 to 1988. A comparison of the biology and energetic parameters between sea run and freshwater brook trout was made in the same system. Anadromous brook trout started their downstream movements in May and displacements peaked in June, but some also occurred in fall. Downstream movements were correlated with spring and fall freshets. Important interannual variation was observed in the movement pattern. Seaward movements of anadromous trout were limited to the brackish waters, as fish congregated at the river mouth. I suggest that movements into brackish waters are passive . Upstream movements began in late July and continued until freezing (November), with the intensity of movement varying annually according to climatic conditions.

Comparison between anadromous and freshwater trout showed very little difference in mean length at age, age at maturity, egg size and fecundity hetween the two groups. However, examination of energetic parameters indicated that sea run brook trout had a greater increase in condition factor during the summer than the freshwater residents. This raise in condition factor is accompanied by a decrease in water content and a lower water content in the eggs of anadromous fish. These results indicate that benefits associated with anadromous migrations in brook trout reside in the seasonal pattern of energy storage, which is important for the recovery from energy expenditure associated with spawning and overwintering.

i

RÉSUMÉ

Nous avons étudié à rivière au Saumon, baie James, de 1986 à 1988, les mouvements saisonniers de l'omble de fontaine (Salvelinus fontinalis) anadrome et comparé les paramètres biologiques entre les ombles anadromes et ceux résidant en rivière. Les mouvements de dévalaison des ombles anadromes débutent à la débâcle en mai, s'intensifient en juin, mais se produisent aussi à l'automne. Ces mouvements sont significativement corrélés avec le niveau, peu importe la saison. L'analyse des captures par unité d'effort (CUE) révèle que les poissons avant dévalé se tiennent pour la plupart à l'embouchure de la rivière dans le lagon et leur abondance dans la baie James diminue avec la distance de l'embouchure. La dévalaison accentuée en période de crue, la variation interannuelle du patron de dévalaison et la persistance des ombles dans l'estuaire suggèrent que la dévalaison est un phénomène passif chez l'omble de fontaine de rivière au La montaison dure de la fin juillet jusqu'au gel automnal Saumon. (novembre), et son intensité varue annuellement suivant les conditions climatiques. Les facteurs environmentaux en particulier les rapides fluctuations de niveau de la rivière en période de crue, exercent une forte influence sur l'incidence et l'intensité des mouvements saisonniers de l'omble de fontaine.

L'étude comparée des ombles anadromes avec ceux résidants en eau douce, nous a permis d'observer très peu de différence entre les 2 groupes de poissons au niveau de la croissance, de l'âge à maturité et de la fécondité. Toutefois, l'examen des paramètres énergétiques montre que les

ii

poissons anadromes durant l'été, avaient une augmentation plus élevée du coefficient de condition, une diminution plus prononcée de contenu en eau dans les tissus somatiques et leurs oeufs avaient un plus faible contenu en eau que les individus ayant résidé en eau douce. Ces observations indiquent que les avantages liés aux mouvements des ombles anadromes se situent au niveau de leur accumulation saisonnière d'énergie, ce qui est important pour le recouvrement des réserves énergétiques épuisées suite au frai et à l'hivernation.

ţ

TABLE OF CONTENT

.

the second sold reasons are a

1

;

こうしょうで

• • • • • •

.

į

;

t,

2 . 5.4 .

I

| ABSTRACT | 1 |
|------------------------------------|------|
| RESUME | 13 |
| ACNOWLEDGEMENTS | V 1 |
| LIST OF FIGURES | V11 |
| LIST OF TABLES | vtli |
| PREFACE | 1 |
| LITERATURE CITED | 4 |
| REGULATION FOR THESIS PRESENTATION | 1 |

CHAPTER ONE: MOUVEMENTS SAISONNIERS DE L'OMBLE DE FONTAINE ANADROME

| À LA BAIE JAMES: ÉVIDENCE DE DÉPLACEMENTS PASSIFS | 9 |
|---------------------------------------------------|----|
| Résumé | 10 |
| Introduction | 11 |
| Site d'étude | 13 |
| Méthodes |]4 |
| Analyse statistique | 16 |
| Résultats | 17 |
| Discussion | 23 |
| Remerciements | 28 |
| Références | 29 |
| | |

TABLE OF CONTENT

CHAPTER TWO: A COMPARISON OF GROWTH, SELECTED LIFE HISTORY CHARAC-TERISTICS AND BIOENERGETICS BETWEEN ANADROMOUS AND FRESHWATER BROOK TROUT..... 55 56 Abstract..... Introduction..... 57 58 Study area..... Methods..... 59 63 Statistical analysis..... Results..... 63 Discussion..... 68 72 Acknowledgements..... 73 References..... 95 CONCLUSION

ACKNOWLEDGEMENTS

The present study could not have succeeded without the help of many individuals.

I am particularly grateful to my supervisors, C. Hudon and F. G. Whoriskey, for their enthusiasm, encouragement and support throughout this study and for their constructive criticism on seminar presentations, posters and earlier drafts of my thesis.

I particularly wish to thank Roderick Morin, who trained me in the field, and helped me in almost all the steps of my project. Thanks also go to D. Hope for field assistance, S. Leach for help in reading otoliths, and J. Fife for sharing his experience with the micro bomb calorimeter.

I appreciated the field work of B. Gagnon, B. Morin, S. C. Riley and A.- M. Savaria. I also thank the Snowboy family from Chisasibi whose members acted as guides during the field seasons and with whom I learned the joy of the north.

Dr. B. Simpsom from the Food Science Department kindly let me use their freeze dryer.

Throughout this project my family and many members of my church were a special source of support and encouragement.

Finally, I am very grateful to the Lord Jesus for the enthusiasm and the perseverance He gave me to complete this great challenge.

vi

こうちょうちょうしい こうちょうない していたい

LIST OF FIGURES

•

CHAPTER ONE

1

-**8** 1

| FIGURE | 1: | Localisation de rivière au Saumon | 42 |
|--------|----|----------------------------------------------------|----|
| FIGURE | 2: | Variation saisonnière de temperature et salinité | 44 |
| FIGURE | 3: | Mouvements de dévalaison de l'omble de fontaine | 46 |
| FIGURE | 4: | Mouvements de montaison de l'omble de fontaine | 48 |
| FIGURE | 5: | Fréquence des longueurs des ombles capturés en mer | 50 |
| FIGURE | 6: | Schéma général des mouvement saisonniers | 52 |

CHAPTER TWO

| FIGURE 1: | Location of rivière au Saumon | 83 |
|-----------|-------------------------------------------------------|----|
| FIGURE 2: | Length at age of migrant and resident trout | 85 |
| FIGURE 3: | Age at maturity for male and female brook trout | 87 |
| FIGURE 4: | Seasonal changes in condition factor | 89 |
| FIGURE 5: | Seasonal changes in water content | 91 |
| FIGURE 6: | Length at age for different populations of anadromous | |
| | brook trout | 93 |

LIST OF TABLES

CHAPTER ONE

l

+ .

| TABLEAU | 1: | Conditions climatiques mensuelles pour 1986 à 1988 | 36 |
|---------|----|----------------------------------------------------------|----|
| TABLEAU | 2: | Longueur moyenne des ombles en migration | 37 |
| TABLEAU | 3: | Comparaison de la taille des ombles durant les périodes | |
| | | de dévalaison et de montaison pour 1986, 1987 et 1988 | 38 |
| TABLEAU | 4: | Corrélations non paramétrique entre le nombre de pois- | |
| | | sons en montaison et les facteurs physiques | 39 |
| TABLEAU | 5: | C.U.E. des ombles aux stations d'échantillonnage dans le | |
| | | lagon et la baie, durant l'éte | 40 |
| TABELAU | 6: | Comparaison des mouvements de dévalaison et de montaison | |
| | | de l'omble de fontaine anadrome de différentes régions | |
| | | géographiques | 41 |
| | | | |

CHAPTER TWO

| TABLE 1 | 1: | Number of fish sampled in 1987 for comparison of bio- | |
|---------|----|---------------------------------------------------------------------------|----|
| | | energetics between migrant and freshwater trout | 77 |
| TABLE 2 | 2: | Length and instantaneous growth rates in length for fry | |
| | | (O+) and yearlings (1+) in 1988 | 78 |
| TABLE 3 | 3: | Development of egg diameters throughout the summer | 79 |
| TABLE 4 | 1: | Seasonal variation in condition and hepatosomatic index for | |
| | | anadromous and freshwater immature fish | 80 |
| TABLE 5 | 5: | Energetic parameters before spawning for anadromous and | |
| | | freshwater trout | 81 |
| TABLE 6 | 5: | Energetic parameters of mature freshwater trout before and after spawning | 82 |

PREFACE

The brook trout (<u>Salvelinus fontinalis</u>), a member of the genus which includes the Arctic char (<u>S. alpinus</u>), the Dolly Varden (<u>S. malma</u>) and the lake trout (<u>S. namaycush</u>), is a very popular game fish and also a major species in the fish culture industry. In northern Quebec, this species plays an important role in the subsistence fisheries of the Cree and Inuit Communities (Dutil and Power 1980; Morin and Dodson 1986).

The brook trout, like other salmonids, shows different life history strategies at different sites. Some populations are freshwater residents, spending their entire life cycle in lakes or rivers. However, in coastal areas where rivers flow into the sea, some populations make use of the saltwater as 'sea run' or 'anadromous' fish. These 'sea trout' have a silver colour (White 1940) and usually reach a bigger size than freshwater fish (Dutil and Power 1980; Whoriskey et al. 1981; Castonguay et al. 1982).

The majority of studies on anadromous trout have been conducted in southeastern Canada. Their general pattern of movements consists of a spring migration into saltwater to feed for the summer and a return movement into freshwater in the fall for overwintering and/or spawning. However, this seasonal pattern is inversed in a few populations (Smith and Saunders 1958; Frimeth 1986). Migrations usually occurs over short distances (<20 km, Naiman et al. 1987) and are often limited to brackish water (Dutil and Power 1980). The duration of the sojourn at sea varies between 2 to 4 months and is shorter at northern compared to southern

latitudes (Power 1980). Smaltification is poorly developed in sea trout in comparison to other salmonids (McCormick et al. 1985), and before going to sea, the trout may need to acclimate in brackish water to better tolerate high salinities (McCormick and Naiman 1984). Salinity tolerance is reported to be size dependent, and the literature also reports a minimum size for tolerance to high salinities of 14 cm (McCormick and Naiman 1984). Movements are influenced by many environmental factors including river level and temperature (White 1940; Smith and Saunders 1958). In addition, the harsh climate of northern latitudes might also influence movement patterns of anadromous trout. Salmonids located at the northern limits of their distribution can show unusual migration patterns e. g. The Atlantic salmon (<u>Salmo salar</u>) of Ungava Bay which undergo 3 month estuarine migrations instead of two-year sojourn at sea (Robitaille et al. 1984).

\$

While migrations in general have been well documented in salmonids, the reasons for these marine migrations are less clear. A fish migrating to sea presumably benefits from a rich food supply which can enhance growth, fecundity and survival (Northcote 1978; Gross 1987). Fish from the genus <u>Salvelinus</u> exhibit shorter migrations and sojourns in sea water (2-4 months, Power 1980) than members of the genera <u>Oncorhynchus</u> and <u>Salmo</u> (1-3 years, Scott and Crossman 1973). However, anadromous brook trout often show higher growth rates and fecundity than freshwater resident individuals (Naiman et al. 1987).

In northern areas, anadromous movements can be important in rebuilding energy stores depleted over the winter (Cunjak and Power 1986; Dutil 1986). In the Northwest Territories, non-reproductive Arctic char lost 30% of their fall reserves of energy during winter, but recovered them

after a two month sojourn in the sea. Reproductive individuals required more than one summer at sea to rebuild reserves due to high energetic cost associated with spawning and overwintering (Dutil 1986).

A comparison of the feeding ecology of anadromous and freshwater trout in northern Quebec (Cunjak and Power 1986) showed that although both types of fish recovered by mid-summer, sea water migrants had higher lipid levels than freshwater trout. Presumably, the accumulation of a large energy store is important due to the high costs of spawning and overwintering at northern latitudes (Dutil 1986).

Rivière au Saumon is located in northeastern James Bay, in the northern part of the range of the brook trout distribution. At these northern latitudes, physiological constraints due to the extreme environmental condition (the site is located in a tundra zone) may generate unusual life history traits. Rivière au Saumon also contains both sea run and freshwater trout, making it an ideal site to compare life history characters of the two forms. My first objective was to describe the seasonal movements of the anadromous individuals. The second objective was to compare growth, selected life history characteristics (egg size, fecundity) and energetics parameters between anadromous and nonanadromous fish to determine whether a sojourn in brackish water leads to higher fitness and/or energetic benefits for anadromous fish compared to freshwater trout.

- Castonguay, M., G. J. Fitzgerald and Y. Côté. 1982. Life history and movements of anadromous brook charr, <u>S. fontinalis</u>, in the St-Jean River, Gaspé, Québec. Can. J. Zool. 60: 3084-3091.
- Cunjak, R. A. and G. Power. 1986. Seasonal changes in the physiology of the brook trout <u>Salvelinus fontinalis</u>, in a sub-Arctic river system. J. Fish. Biol. 29 : 279-288.
- Dutil, J.-D. 1986. Energetics constraints and spawning interval in the anadromous arctic charr (<u>Salvelinus alpinus</u>). Copeia 1986: 945-955.
- Dutil, J.-D. and G. Power. 1980. Coastal populations of brook trout, <u>Salvelinus fontinalis</u>, in lac Guillaume-Delisle (Richmond Gulf), Québec. Can. J. Zool. 58: 1828-1835.
- Frimeth, J. P. 1986. Parasites as indicators of brook charr (<u>S. fontinalis</u>) biology in the Tabusintac River, N. B.. Ph. D. Thesis, University of New Brunswick. 348p.
- Gross, M. R. 1987. Evolution of diadromy in fishes. Am. Fish. Soc. Symp. 1: 14-25.

- McCormick, S. D. and R. J. Naiman. 1984. Osmoregulation in the brook trout, <u>Salvelinus</u> fontinalis. II. Effect of size, age, and photoperiod on seawater survival and ionic regulation. Comp. Biochem. Physiol. 79A : 17-28.
- McCormick, S. D., R. J. Naiman and E. T. Montgomery. 1985. Physiological smolt characteristics of anadromous and non-anadromous brook trout (<u>Salvelinus fontinalis</u>) and Atlantic salmon (<u>Salmo salar</u>). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 529-538.
- Morin, R. and J. J. Dodson. 1986. The ecology of fishes in James Bay, Hudson Bay and Hudson Strait, p. 293-318. In I. P. Martini [ed.] Canadian Inland Seas. Guelph, Ont.
- Naiman, R. J., S. D. McCormick, W. L. Montgomery, and R. Morin. 1987. Anadromous brook charr, <u>Salvelinus</u> <u>fontinalis</u>: Opportunities and constraints for population enhancement. Mar. Fish. Rev. 49 (4): 1-13.
- Northcote, T. G. 1978. Migratory strategies and production in freshwater fishes. p. 326-359. In S. D. Gerking, [ed.] Ecology of freshwater fish production. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England.
- Power, G. 1980. The brook charr, <u>Salvelinus</u> <u>fontinalis</u>. p. 141-203. In E. K. Balon, [ed.] Charrs: salmonid fishes of the genus <u>Salvelinus</u>. Dr. W. Junk, The Hague, The Netherlands.

- Robitaille, J. A., Y. Côté, G. Shooner et G. Hayeur. 1984. Croissance estuarienne du saumon Atlantique (<u>Salmo salar</u>) dans le fleuve Koksoak, en Ungava. Rapport Technique Canadien des Sciences Halieutiques et Aquatiques 1314.
- Scott, W. B., and E. J. Crossman. 1973. Freshwater fishes of Canada. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 184: 966 p.
- Smith, M. W. and J. W. Saunders. 1958. Movements of the brook trout, <u>Salvelinus fontinalis</u> (Mitchill), between and within fresh and salt water. J. Fish. Res. Bd. Can. 15: 1403-1449.
- White, H. C. 1940. Migrating behavior of sea-running <u>Salvelinus fontinalis</u>. J. Fish. Res. Bd. Can. 5: 258-264.
- Whoriskey, F. G., R. J. Naiman, and W. L. Montgomery. 1981. Experimental sea ranching of brook trout, <u>Salvelinus fontinalis</u> Mitchill. J. Fish Biol. 19: 637-651.

6

Ĩ

REGULATION ON THESIS PRESENTATION

The following is included in accordance with the regulations of the McGill University Faculty of Graduate Studies:

"The candidate has the option, subject to the approval of the Department, of including as part of the thesis the text of an original paper, or papers, suitable for submission to learned journals for publication. In this case the thesis must still conform to all other requirements explained in this document, and additional material (e.g. experimental data, details of equipments and experimental design) may be provided. In any case, abstract, full introduction and conclusion must be included, and when more than one manuscript appears, connecting texts and common abstract introduction and conclusion are required. A mere collection of manuscripts is not acceptable; nor can reprints of published papers be accepted.

While the inclusion of manuscripts co-authored by the Candidate and others is not prohibited for a test period, the Candidate is warned to make an explicit statement on who contributed to such work and to what extend, and supervisors and others will have to bear witness to the accuracy of such claims before the Oral Committee. It should also be noted that the task of the External Examiner is much more difficult in a such case."

I will submit the two manuscripts from my thesis to the Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, and each uses the style for this journal. The coauthors on these papers will be my supervisors, Dr.

C. Hudon and Dr. F. G. Whoriskey. However, the execution of this study, as well as the data collection and analysis were entirely my responsibility.

Ĩ

ĩ

Chapter One:

1

Mouvements saisonniers de l'omble de fontaine anadrome (<u>Salvelinus</u> <u>fontinalis</u>) à la baie James: évidences de déplacements passifs.

Résumé

Les mouvements de dévalaison et de montaison de l'omble de fontaine anadrome de rivière au Saumon ont été suivis en 1986, 1987 et 1988 au moyen d'une barrière de comptage. Les mouvements de dévalaison débutent à la débâcle en mai, s'intensifient en juin, mais se produisent aussi à l'automne. Ces mouvements sont significativement corrélés avec le niveau de la rivière, peu importe la saison. Le patron de dévalaison a varié beaucoup d'une année à l'autre. L'analyse des captures par unité d'effort (C.U.E.) révèle que les poissons ayant dévalé se tiennent pour la plupart à l'embouchure de la rivière dans le lagon et leur abondance dans la baie James diminue avec la distance de l'embouchure. La dévalaison accentuée en période de crue, la variation interannuelle du patron de dévalaison et la persistance des ombles dans l'estuaire suggèrent que la dévalaison est un phénomène passif chez l'omble de fontaine de rivière au Saumon. La montaison dure de la fin juillet jusqu'au gel automnal (novembre), et son intensité varie annuellement suivant les conditions climatiques. Ainsi, à l'été 1988, particulièrement sec, le patron de montaison a été altéré alors que très peu de géniteurs ont remonté la rivière. Les facteurs environnementaux, et en particulier les rapides fluctuations de niveau de la rivière en période de crue, exercent une forte influence sur l'incidence et l'intensité des mouvements saisonniers de l'omble de fontaine.

Introduction

1

Les poissons sont qualifiés d'anadromes lorsqu'ils passent une partie de leur cycle vital en milieu marin, et reviennent en eau douce pour se Chez les salmonidés, les avantages des reproduire (McDowall 1987). migrations anadromes ont été reliés à la croissance accrue en mer, permettant aux géniteurs d'atteindre une plus grande taille, une fécondité plus élevée et une meilleure survie que les poissons résidant en eaux douces (Northcote 1978; Thorpe 1987; Naiman et al. 1987). Parmi les salmonidés, le genre Salvelinus est celui qui démontre l'anadromie la En effet, on rapporte chez l'omble de fontaine une moins prononcée. smoltification très peu développée (McCormick <u>et al.</u> 1985) et un séjour en mer restreint aux mois d'été. Par ailleurs, ce séjour est relativement de plus courte durée chez les populations nordiques d'ombles de fontaine que celles situées plus au sud (Power 1980) et leurs mouvements ne semblent pas s'étendre sur de longues distances, mais se limiter à la région côtière, aux abords de leur rivière d'origine (Dutil et Power 1980; Power 1980).

Certains auteurs suggèrent que les mouvements de cette espèce soient plutôt de nature passive que déterminés (McCormick et Naiman 1984; Swanson 1986; Swanson et Kansas 1987). On pourrait s'attendre à ce que les conditions climatiques extrêmes des hautes latitudes puissent exercer un effet additionnel sur le patron de mouvement de cette espèce. Par exemple, les salmonidés anadromes vivant à la limite nord de leur distribution démontrent des différences particulières dans leur patron de migration,

comme le saumon Atlantique d'Ungava effectuant un séjour estival en estuaire plutôt qu'un séjour de 1 an ou 2 en mer (Robitaille <u>et al.</u> 1984).

1

Si les mouvements sont passifs, nous devrions observer des mouvements de dévalaison et de montaison durant toute la saison estivale, sans patron particulier, ainsi que des corrélations significatives entre la dévalaison et l'augmentation de niveau de la rivière. Si les mouvements sont déterminés, nous prédisons des mouvements de dévalaison et de montaison très brefs et concentrés dans le temps étant donné la courte durée de l'été à ces latitudes, permettant de maximiser la période du séjour en mer. De même, ces mouvements devraient être indépendants du niveau et des facteurs abiotiques.

Cette étude décrit les mouvements saisonniers d'une population d'omble de fontaine anadrome vivant en toundra sub-arctique, soit au nord de sa distribution. Plus particulièrement nous examinons le synchronisme et la durée de la dévalaison, de la montaison, la durée du séjour en mer et aussi l'influence de certains facteurs abiotiques (température de l'eau, niveau, pluie, etc.) sur le patron des mouvements.

Site d'étude

Rivière au Saumon est une petite rivière boréale située à la limite septentrionale (54⁰ 38' N, 79⁰ 35' W, fig. 1) de la baie James. C'est un cours d'eau alimenté par plusieurs lacs, qui coule en toundra subarctique, où le pergélisol descend rarement en deçà de 1 m de la surface du sol. La superficie du bassin de drainage est de 92 km². De l'embouchure au premier lac, le troçon principal mesure environ 8 km, a une largeur moyenne de 21,9 m et une profondeur moyenne de 30 cm. Le fond en est de sable, de gravier, de cailloux et de blocs. La période de dégel de la rivière va de mai à la fin octobre, tandis qu'elle s'étend de la mijuin à décembre pour la baie James. Rivière au Saumon se déverse dans la baie via un lagon peu profond (profondeur maximale = 1 m). Le lagon subit périodiquement des apports d'eau salée provenant de la baie James, causant des fluctuations importantes de salinité (fig. 2).

Dans le bassin de rivière au Saumon, l'omble de fontaine cohabite avec une autre espèce anadrome, l'omble chevalier (<u>Salvelinus alpinus</u>). Les communautés lacustres se composent du touladi (<u>Salvelinus namaycush</u>) et du meunier noir (<u>Catostomus commersoni</u>), alors que dans le lagon et la baie, on retrouve l'épinoche à neuf épines (<u>Pungitus pungitus</u>), l'épinoche à trois épines (<u>Gasterosteus aculeatus</u>), le chaboisseau à quatre cornes (<u>Myoxocephalus quadricornis</u>), le grand corégone (<u>Coregonus clupeaformis</u>), le cisco (<u>Coregonus artedii</u>) et la morue du Groenland (<u>Gadus ogac</u>).

Méthodes

Les conditions climatiques journalières (tableau 1) ont été mesurées sur place matin et soir (d'après Environnement Canada 1974, 1978). La température de la rivière (1 m), du lagon (1 m), et de la baie (2,5 m) furent enregistrées en continu avec des thermographes (Ryan Modèle J, données disponibles dans Walker et al. 1987, et Gregory et al. 1988). Le niveau de la rivière (cm) et la vitesse du courant($m \cdot s^{-1}$) étaient mesures 2 fois par jour au moyen d'un mètre et d'un débitmètre (General Oceanics Inc. modèle 2030) respectivement. Les variations de niveau d'eau du lagon ont été mesurées avec un marégraphe (Service Hydrographique du Canada, modèle MSBF-0519), au cours de la saison de 1987. Les mouvements de dévalaison et de montaison des poissons anadromes ont été suivis au moyen d'une barrière de comptage, munie de 2 trappes orientées vers l'aval et vers l'amont (Kristofferson et al. 1986). Les mouvements migratoires de l'omble chevalier feront l'objet d'une publication séparée (Morin en prép.). La barrière fut installée à environ 80 m en amont de l'embouchure de la rivière sur le lagon (fig. 1), pour les saisons 1986 (5 juin au 24 septembre) et 1987 (27 mai au 22 octobre). En 1988, la barrière fut déplacée de 50 m vers l'amont (fig. 1), dans une zone à plus fort courant, et la période d'échantillonnage à été concentrée sur la montaison (1) juillet-11 octobre). La barrière sélectionnait les poissons de taille supérieure à 14 cm environ, de sorte que les poissons de taille inférieur ne représente qu'un sous échantillon.

Les trappes furent vérifiées chaque jour à 09:00 h, à 14:00 h et au coucher du soleil (19:00-22:00 h). Les poissons capturés à la trappe

étaient mesurés (longueur à la fourche mm), pesés (\pm 20 g), étiquetés et relâchés. Les ombles les plus vigoureux ont été anesthésiés au MS 222 pour faciliter leur mesure. Les poissons de taille > 200 mm étaient étiquetés (1987:Floy Anchor (Dell 1968), 1986: Carlin (Saunders 1968)), tandis que les individus < 200 mm étaient marqués en coupant le bout d'une nageoire. Approximativement 10 % des ombles passant à la barrière furent prélevés pour la détermination d'age, du sexe, et de la maturité. Les poissons adultes résidant en rivière furent capturés à la pêche à la ligne en juillet et août 1987 et 1988, marqués et relâchés.

Dans le lagon, des verveux (mailles de 10 mm) et des filets maillants expérimentaux (1 m x 50 m) constitués de six panneaux de 8,3 m (mailles de 25, 38, 51, 64, 76 et 102 mm), furent utilisés pour capturer les poissons. Ces engins furent mouillés pour des périodes de 24 heures hebdomadairement (1986), ou bi-mensuellement (1987), à trois différents emplacements (fig. 1) durant les périodes intenses de mouvements (fin mai à début juillet, août à octobre). Les ombles capturés furent à nouveau mesurés, pesés, étiquetés, relâchés, et les recaptures provenant de la rivière notées. Sur la côte (baie), des filets maillants expérimentaux (2 m x 50 m) similaires aux précédents, furent mouillés pour 24 heures bi-mensuellement, à différents endroits (fig. 1) en juillet et août pour les 3 années. lous les poissons capturés aux filets furent échantillonnés. À chaque échantillonnage dans le lagon et dans la baie, on mesurait la température et la salinité (Beckman modèle RS5-3) de la surface au fond par intervalle de 1 m.

Dans cette étude, on qualifie d'anadrome les poissons se déplaçant de l'eau douce à l'eau salée, peu importe si les mouvements sont actifs ou

Ž.

passifs. La taille de 300 mm fut utilisé comme critère de maturité sexuelle (≥ 50% maturité sexuelle, Doyon <u>et al.</u> soumis), permettant d'analyser les patrons de mouvements des poissons selon deux groupes distincts (matures et immatures).

Analyse statistique

L'analyse de coefficient de direction (path analysis, Legendre et Legendre 1984) a été employée pour évaluer l'effet causal probable de plusieurs facteurs abiotiques sur le nombre de poissons en dévalaison, en incluant les relations indirectes existant entre les facteurs abiotiques, ce que ne peut faire la régression multiple. Cette analyse a été réalisée par le programme Piste du progiciel R (Legendre 1985) et permet de calculer les différents coefficients de direction et leur signification à partir d'une matrice de corrélations. Il est ainsi possible de décrire le reseau de relations entre les variables au moyen d'un modèle maximisant la portion de la variance expliquée.

Parmi les variables abiotiques, seulement celles directement liées au milieu aquatique (température de la rivière, du lagon, de la baie, précipitations, variation des niveau de la rivière et du lagon) furent retenues pour l'analyse effectuée sur les 2 années regroupées. Ces critères furent sélectionnés pour obtenir un seul modèle utilisant les descripteurs les plus susceptibles d'expliquer les mouvements saisonniers des salmonidés (Castonguay <u>et al.</u> 1982; Dutil et Power 1980; Jonsson et Ruud-Hansen 1985; Jensen <u>et al.</u> 1986; Smith et Saunders 1958; White 1940).

calculées séparément pour chacune des années pour tenir compte de l'importante variation interannuelle. Les corrélations de Spearman ont aussi été utilisées pour voir l'effet du niveau et de la température de l'eau sur la dévalaison automnale. L'analyse de variance non paramétrique Kruskal Wallis a été utilisé pour comparer la taille des individus à l'intérieur de chacune des périodes de dévalaison et de montaison, afin de vérifier si les mouvements variaient selon la taille et/ou leur stade de maturité.

Résultats

į

Facteurs physiques

La localisation de rivière au Saumon dans la toundra et son faible volume rendent cette rivière très sujette aux fluctuations météorologiques, que ce soit à l'échelle journalière, saisonnière ou annuelle. Ces conditions devraient en retour exercer leurs effets sur la biologie et le comportement de l'omble de fontaine.

Le bassin de rivière au Saumon est situé en milieu de toundra à moins de 5 km des côtes des baies James et d'Hudson, ce qui le place sous l'influence des vents. Les journées où le vent souffle très faiblement ou pas du tout (< $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) sont très peu nombreuses (< 3 jours·mo⁻¹), alors que les journées venteuses (> 5 m·s⁻¹) sont fréquentes, constituant jusqu'à la moitié du total des jours de juin à août (tableau 1).

À rivière au Saumon, la température de l'air durant la journée franchit les 10 ^OC dès la fin mai, s'élève fréquemment à 20 ^OC ou plus en juillet notamment, et parfois même jusqu'à 28 ^OC (le 15 août 1987).

Cependant la température de l'air chute durant la nuit, ce qui explique les températures moyennes mensuelles peu élevées ainsi que les fortes variations de températures dans la rivière (fig. 2).

À notre site d'étude, plusieurs des paramètres de l'environnement sont très fortement corrélés. Des corrélations significatives sont observées entre: la température de l'air et celle de la rivière (<u>r</u> = 0,86; n = 184; p < 0,01), la température de l'air et la durée de l'ensoleillement (r 0,40; n = 228 ; p < 0,05), la pluie et les variations de niveau de la rivière (\underline{r} = 0,54; n = 299; p < 0,01) ainsi qu'entre le niveau et la vitesse du courant de la rivière (r = 0.98; n = 270; p < 0.001). Par ailleurs, la température de la rivière, du lagon et de la baie varient en Durant l'été, la température de la baie est parallèle (fig. 2). inférieure à celle de la rivière et du lagon, quoique ce patron soit inversé à l'automne, lors du refroidissement plus lent des eaux de la baie. La variabilité à court terme en réponse aux conditions climatiques, est nettement plus prononcée dans le lagon et la rivière que dans la baie. Par exemple, une chute de pluie de 22 mm en matinée (14 juin 1987) se manifestait le soir même par une augmentation de niveau de 8 cm dans la rivière. De plus, on a observé des augmentations de 20 à 40 % du niveau en l'espace de quelques heures dans la rivière et le lagon lors de tempêtes. La salinité du lagon pouvait passer de 6 à 22 mg·L⁻¹ (fig. 2) a la suite des apports d'eau salée de la baie lors des marées de vives eaux.

Un examen des variations interannuelles des conditions climatiques indique que les années 1986 et 1987 montrent un patron similaire de précipitations concentrées en août et de températures modérés (tableau 1).

L'année 1988 fut comparativement beaucoup plus sèche et ensoleillée que les précédentes, résultant en des températures nettement plus élevées dans le lagon et de faibles niveaux d'eau dans la rivière.

Dévalaison

En 1986, la barrière de comptage a été installée le 5 juin, soit environ 2 à 3 semaines après la débacle, alors que la dévalaison était déjà amorcée. La dévalaison a atteint un maximum vers la fin juin, pour ensuite diminuer et cesser à la mi-juillet (fig. 3). En 1987, la dévalaison a été suivie dès la débâcle (27 mai). Un bon nombre d'individus dévalaient la rivière dans la semaine suivant la débâcle, tandis que les mouvements diminuèrent passablement par la suite, à la mi-juin, pour se terminer à la fin juin (fig. 3)., Malgré l'installation hâtive de la barrière de comptage en 1987, le nombre total de poissons dévalant est resté similaire en 1986 et 1987 (tableau 2). Ainsi, la dévalaison apparaît beaucoup moins concentrée dans le temps en 1987, où 63,5 % des poissons en dévalaison furent capturés entre le 27 mai et le 6 juillet contre 85 % en 1986 (5 juin au 6 juillet). Au total, moins d'individus ont dévalé en 1987 qu'en 1986 durant cette période (80 en 1987 et 100 en 1986). En 1987, 32 % des mouvements de dévalaison furent observés en automne (fig. 3).

Les poissons capturés en 1986 en dévalaison étaient de plus grande taille que les ombles capturés en 1987 (tableau 2). Cette différence résulte de l'abondance en 1987 des individus immatures et du faible nombre d'ombles matures [> 300 mm] (tableau 2). Pour les 2 années, il existe une tendance significative des ombles de petite taille à dévaler plus tôt que

ceux de grande taille (tableau 3). La capture d'omble immatures, dans le lagon en juin 1986 avant le pic de dévalaison vient supporter cette observation.

ł

L'analyse de coefficient de direction révèle que la pluie, les variations de niveau et la température de la rivière expliquent près de 50 % de la variance des captures de la dévalaison (n = 120; p < 0.01). Ces descripteurs ont tous des effets positifs soient directs (niveau, température de l'eau, pluie), ou indirects (la pluie par l'intermédiaire du niveau). Etant donné la forte corrélation du niveau et de la vitesse du courant (voir section sur les facteurs physiques), ce dernier facteur n'a pas été retenu dans l'analyse. Ainsi, après la débâcle, l'augmentation de la température et du niveau de la rivière lors de la fonte des neiges et des pluies printanières signalent le début de la dévalaison des ombles. Les mouvements de dévalaison observés en automne 1987 sont corrélés positivement (\underline{r}_{s} = 0,34; n = 74; p < 0,05) avec le niveau de la rivière et négativement avec la température de la rivière (<u>r</u>s= -0,42; n 14: p < 0,01). L'effet positif d'une augmentation de débit sur la dévalaison</p> se fait donc sentir peu importe la saison.

Il est à noter que durant les étés 1987 et 1988, un certain nombre d'ombles matures furent capturées en rivière en juillet et août, après que les mouvements intenses de dévalaison printanière eurent cessé. Les captures par unité d'effort étaient de 65,0 et de 31,7 poissons \cdot d⁻¹ en 1987 et 1988 respectivement.

Montaison

La montaison a débuté vers la fin juillet durant les 3 années d'étude, avec des pics successifs jusqu'en octobre (fig. 4). On note cependant que la montaison est beaucoup plus prolongée (août à octobre) que la dévalaison (fin mai à fin juin). Aussi, le nombre de poissons et l'intensité des mouvements de montaison furent plus importants en 1986 qu'en 1987 et 1988, même si la période d'étude a été plus courte en 1986. Par ailleurs, le nombre de poissons de taille \geq 200 mm diminuait d'une année à l'autre (136 en 1986, 105 en 1987 et 83 en 1988). Aussi, pour les années 1986 et 1987, le nombre d'ombles remontant la rivière excède le nombre d'omble ayant dévalé au printemps (fig. 3 et 4).

Il existe un patron de taille dans la montaison. Du 24 juillet au démantèlement de la barrière, la longueur moyenne des ombles tend à diminuer avec le temps (tableau 3). Les géniteurs sont les premiers à remonter la rivière en août pour le frai qui a probablement lieu au début de septembre, suivis plus tardivement (octobre) des individus immatures. Notons cependant qu'un patron de taille inverse fut observé lors de la montaison en 1988 (tableau 3). Une comparaison interannuelle des tailles des ombles en montaison indique que les ombles matures [≥ 300 mm] sont significativement plus nombreuses pour les montaisons de 1986 et 1987 que les ombles immatures (tableau 2). Les poissons de 150-300 mm étaient en abondance comparable en 1986 et 1987, tandis que l'on observait un grand nombre (n=258) d'ombles de petite taille [70-150 mm] en 1988 (tableau 2). L'abondance des petits individus en 1988 vient diminuer significativement la taille moyenne des ombles en montaison par rapport aux années

antérieures. Cette différence de taille persiste même si l'on exclut les poissons de petite taille [<150 mm] de la comparaison.

La pluie et les changements du niveau de la rivière sont correles positivement avec la montaison pour les 3 années d'études (tableau 4). La variation du niveau du lagon est corrélée positivement avec le nombre de poissons en montaison en 1987 (la seule année où elle fut mesurée). Les corrélations entre les mouvements de montaison et la température ne sont significatifs pour les trois années d'observations que pour la température de la rivière, révélant un retour en eau douce des ombles lors du refroidissement des eaux. La relation avec la température du lagon et de la baie est sgnificative dans un cas seulement et de signes inverses (tableau 4).

Séjour hors rivière

Des corrélations de Spearman entre la taille à la dévalaison et la durée du séjour hors rivière démontrent que les ombles de petite taille séjournent plus longtemps hors rivière que les ombles de plus grande taille ($\underline{r}_{s} = -0,36$; n = 22; p < 0,05). Les patrons de tailles rencontrés en dévalaison et en montaison (tableau 3) viennent aussi appuyer ces derniers résultats.

D'après les captures des filets maillants dans la baie, les ombles anadromes de rivière au Saumon migrent dans la baie pour la premiere fois à une taille d'environ 150-200 mm (2 ans) (fig. 5). Néanmoins, ce sont les individus de taille > 300 mm (3, 4 et 5 ans, fig. 5) qui sont les plus abondant, en 1986 et 1987 spécialement. Les individus de 1 an font des

incursions dans les eaux saumâtres (5-10 mg·L⁻¹) du lagon vers la fin de l'été alors qu'ils atteignent 120-150 mm.

En 1986 et 1987, trente pourcent des ombles ayant dévalé furent recapturés en montaison. Si l'on considère que la taille minimale pour les premiers mouvements en mer est de 200 mm , ces pourcentages sont de 31 et 26 % respectivement.

On note une baisse des captures à mesure que l'on s'éloigne de la rivière (tableau 5), indiquant que les poissons restent à moins de 4 km de l'embouchure. Ainsi, 20 % des poissons étiquetés à la dévalaison em 1987 furent recapturés dans le lagon au cours de l'été.

Nos données de recaptures démontrent un certain échange avec les rivières avoisinantes. Trois ombles parmi ceux étiquetés (3,5 %) ont été recapturés par des Cris, dont 2 dans un lac situé à la pointe Louis XIV (5 km), et 1 individu dans la rivière Roggan (35 km). Ce taux de recapture sous estime probablement le taux d'échange réel entre les rivières, en raison de l'effort de pêcne très localisé des autochtones et des difficultés de récupération des étiquettes sur ce grand territoire.

Discussion

D'après nos résultats, on peut décrire schématiquement le patron généralisé des mouvements (fig. 6) de l'ombles de fontaine anadrome de rivière au Saumon. À la débâcle de la rivière (mi- mai) lors des plus hauts débits de la saison, on assiste à la dévalaison des poissons immatures, dont la fréquence diminue et cesse à la fin juin. Ensuite vers la mi-juin lors des pluies printanières on observe la dévalaison des

ombles matures qui se prolonge jusqu'au début juillet. Du début aoùt au début septembre, on observe la montaison d'individus matures qui reviennent pour le frai. Les ombles immatures remontent ensuite la rivière, de la fin septembre jusqu'au gel. On assiste aussi à une dévalaison automnale d'individus immatures, liée aux crues durant cette période. Ces résultats sont très comparables à ceux de la rivière Wapiskau, Ontario (Weir 1980) où l'on rapporte un petit nombre d'ombles à effectuer des mouvements saisonniers ainsi que l'existence d'une dévalaison automnale reliee aux variations du niveau de la rivière.

De plus, la taille et le patron des ombles de fontaine de rivière au Saumon sont similaires à ceux précédemment observés dans le le Lac Guillaume-Deslile (Dutil et Power 1980) et la rivière Sutton, Ont. (Steele 1986, tableau 6). Cependant, les populations d'ombles de fontaine anadromes de rivières situées plus au sud comporte des individus de plus petite taille qui se déplacent parfois à des périodes différentes (Montgomery et al. 1989, Lear et Day 1977, Frimeth 1986; tableau 6).

À notre site d'étude, les ombles immatures dévalent plus tôt en saison, séjournent de plus longues périodes en eaux saumâtre et/ou salee et remontent plus tardivement que les géniteurs. Le même phénomène est rapporté à la rivière Sutton (Steele 1986) et à la rivière St-Jean (Castonguay <u>et al.</u> 1982). Ce long séjour hors rivière des poissons immatures est explicable par l'absence de contrainte due au frai et la nécessité d'une réacclimatation progressive lors de leur retour en eau douce (McCormick <u>et al.</u> 1984; Montgomery <u>et al.</u> 1989).

Plusieurs des résultats de notre étude indiquent que les ombles de fontaine anadromes de rivière au Saumon ont des mouvement de nature flexible et opportuniste.

Premièrement, plusieurs de nos observations suggèrent que la barrière a exercé un effet détracteur sur les mouvements des ombles de fontaine, particulièrement en 1987 où la barrière fut installée dès la débâcle. Tout d'abord, beaucoup moins d'omble de grande taille ont dévalé la rivière en 1987 qu'en 1986 (tableau 2). Ceci se manifestait par la capture de 2 fois plus d'ombles en rivière en 1987 qu'en 1988 (65,0 et 31,7 poissons \cdot d⁻¹ respectivement). La faible dévalaison des adultes se réflète aussi dans les faibles C.U.E. enregistrées en 1987 sur la côte (tableau 5) en comparaison avec 1986 et 1988. L'effet de la barrière n'a pas été aussi marqué pour l'omble chevalier (Morin, données inédites), qui est un migrateur plus actif que l'omble de fontaine (Dempson et Kristofferson 1987).

Deuxièmement, la dévalaison des individus de toutes tailles coincide avec les périodes d'augmentations du niveau de la rivière au cours de l'été, ainsi qu'aux périodes de crues printanières et automnales, ce qui souligne le caractère passif des mouvements de dévalaison de cette espèce à rivière au Saumon.

La dévalaison d'ombles de petite taille lors de la débâcle printanière correspond aussi à de faibles températures, qui réduisent encore plus la capacité natatoire des juvéniles (Rimmer <u>et al.</u> 1985). La dévalaison tardives des poissons matures pourrait être due à leur meilleure resistance aux forts débits en condition de basse température.
Troisièmement, après leur dévalaison, les ombles anadromes semblent passer leur séjour en eaux saumâtres à l'embouchure de la rivière. fect est reflété par la décroissance des captures au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la rivière. Il semble que les ombles ayant dévalé dans la baie tendent à minimiser leur exposition à l'influence marine et ce, malgré les salinités faibles (20-24 mg· L $^{-1}$) enregistrées sur la côte de la baie James. Ceci pourrait avoir pour conséquences de réduire les coûts d'adaptation osmorégulatrice dans ce milieu. Il est intéressant de noter que la plupart des individus de grande taille capturés en montaison n'arboraient pas la couleur argentée caractéristique des poissons migrateurs anadromes. Enfin, le caractère flexible et opportuniste des mouvements est souligné par l'importante variabilité interannuelle dans le patron des mouvements, en fonction des conditions climatiques. L'altération du patron de taille observé en 1988, ainsi que les différences annuelles des corrélations entre les variables physiques et les captures en montaison (tableau 3) indiquent l'importance des conditions climatiques pour le comportement migratoire de l'omble de fontaine. Cette influence est particulièrement prononcée pour les rivières de petite taille telle que rivière au Saumon, avec des conséquences importantes sur le mélange entre les populations des rivières avoisinantes.

Par ailleurs, certains de nos résultats semblent indiquer que l'échange d'ombles avec les rivières environnantes est fort probable. D'abord, les poissons capturés en montaison sont plus nombreux que ceux dévalant en 1986 et 1987 (tableau 2). Ensuite, les captures par unité d'effort dans la baie (tableau 4) sont nettement plus élevées en 1988 qu'en 1987 quoique le nombre d'individus (> 200 mm) capturés en montaison

soit resté comparable à 1987. Ces derniers résultats supportent l'hypothèse de Weir (1979) voulant que, dans les rivière de petite taille telles que la rivière Wapiskau (et rivière au Saumon), le faible niveau des rivières en été de sécheresse pourrait inciter les ombles à remonter certaines rivières proximales mieux abordables. Ceci semble avoir été le cas en 1988 au cours de laquelle très peu de géniteurs ont remonté la rivière, alors que l'été fut relativement chaud et sec. Ceci indique l'effet des conditions climatiques sur le patron des mouvements de l'omble de fontaine anadrome de rivière au Saumon. Or, rivière au Saumon étant une rivière très peu profonde, la température et le niveau y jouent aussi un rôle particulièrement important (voir la section sur les facteurs physiques). À l'automne, la montaison des individus immatures semble plutôt déterminée par le refroidissement des eaux, puisque les ombles ont une faible capacité d'osmorégulation à basse température (Saunders <u>et al.</u> 1975; Wandsvick et Jobling 1982). La montaison tardive des immatures permettrait donc de maximiser leur séjour en milieu saumâtre et/ou marin (fig. 6) et ainsi leur croissance (Doyon <u>et al.</u>, manuscrit soumis).

On peut donc se demander si les ombles tirent autant avantage d'un séjour estuarien restreint a l'embouchure de la rivière, que les populations où les mouvements en milieu marin sont beaucoup plus accusés. En effet, les populations d'ombles de fontaine effectuant des mouvements synchronisés en mer, peuvent avoir de meilleures réserves énergétiques (Cunjak et Power 1986) une croissance supérieure (Whoriskey <u>et al.</u> 1981; Castonguay et <u>al</u> 1982), et des fécondité plus élevées que ceux résidant en eau douces (Montgomery <u>et al.</u> 1989).

27

Ţ

En conclusion, le caractère passif de la dévalaison. le séjour des ombles en eau saumâtre à l'embouchure de la rivière, et l'importante variabilité interannuelle dans le patron de montaison en fonction des conditions climatiques supportent l'hypothèse des mouvements de nature µassive de l'omble de fontaine anadrome de rivière au Saumon.

Remerciements

Les auteurs remercient R. Morin pour sa contribution lors de l'échan tillonnage, de l'analyse des résultats et pour ses commentaires sur les versions antérieures du manuscrit. Le support technique et les conseils de S. Leach et D. Hope furent très appréciés. Benoit Gagnon, Clarence Lameboy, Bernard Morin, Steve C. Riley, Anne-Marie Savaria, Ron et Abraham Snowboy ont aidé à la collecte des données sur le terrain. Cette étude fut soutenue financièrement par la Station de Biologie Arctique du ministère des Pêches et des Océans, par les fonds F. C. A. R., et le centre des études nordique et de la recherche de l'université McGill. Les auteurs remercient Mark Curtis et E. M. P. Chadwick qui ont apporté leurs critiques à des versions antérieures du manuscrit. Cependant, les erreurs résiduelles qui pourraient être constatées dans le présent manuscrit sont entièrement nôtres.

Références

- Castonguay, M., G. J. Fitzgerald et Y. Côté. 1982. Life history and movements of anadromous brook charr, <u>S</u>. <u>fontinalis</u>, in the St-Jean River, Gaspé, Québec. Can. J. Zool. 60: 3084-3091.
- Chadwick, E. M. P. 1981. Biological characteristics of Atlantic salmon smolts in Western Arm Brook, Newfoundland. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1024, 45 p.
- Dell, M. B. 1968. A new fish tag and rapid, cartridge-fed applicator. Trans. Am. Fish. Soc. 97 : 57-59.
- Dempson, J. B., et A. H. Kristofferson. 1987. Spatial and temporal aspects of the ocean migration of anadromous arctic charr. Amer. Fish. Soc. Symp. 1: 340-357.
- Doyon, J.- F., C. Hudon et F. G. Whoriskey Jr..(Soumis). A comparison of growth, life history and bioenergetics between anadromous and freshwater brook trout (<u>Salvelinus fontinalis</u>).
- Dutil J.-D. et G. Power. 1980. Coastal populations of brook trout, <u>Salvelinus fontinalis</u> in lac Guillaume-Delisle (Richmond Gulf), Québec. Can. J. Zool. 58: 1828-1835.

Environnement Canada. 1974. Insolation. Manuel de procédures normalisées pour obtenir des relevées d'insolation. Service Atmosphérique. 27 p.

ł

- Environnement Canada. 1978. Manuel d'observation climatiques. Service Atmosphérique. 63 p.
- Gregory, D. N., E. Verge, D. Dobson, et C. Smith. 1988. Long term temperature monitoring program 1987: Scotia-Fundy. Gulf of St-Lawrence and Newfoundland. Canada. Departement of Fisheries and Oceans, Can. Data Rep. of Hydrogr. Ocean Sci. 65: 495 pp.
- Jensen, A. J., T. G. Heggberget et B. O. Johnsen. 1986. Upstream migration of adult Atlantic salmon, <u>Salmo salar</u> L., in the River Vefsna, northern Norway. J. Fish. Biol. 29: 459-465.
- Jonsson, B., et J. Ruud-Hansen. 1985. Water temperature as the primary influence on the timing of seaward migration of Atlantic Salmon (Salmo salar) smolts. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 593-595.
- Kristofferson, A. H., D. K. McGowan, et W. J. Ward. 1986. Fish weirs for the commercial harvest of sea-run Arctic charr in the Northwest Territories. Can. Ind. Rep. Fish Aquat. Sci. 174: 1v + 31p.
- Lear, W. H., and F. A. Day. 1977. An analysis of biological and environmental data collected at North Arbour River, Newfoundland during 1959-1975. Mar. Ser. Tech. Rep. 697 St-John's, Nfld. 61 p.

- Legendre, P. 1985. The R package for multivariate data analysis. Université de Montréal. Dept. Sciences Biologiques, C. P. 6128, Succ. A, Montréal. H3C 3J7.
- Legendre, P. et L. Legendre. 1984. Ecologie numérique. Vol 2: La structure des données écologiques. 2^e édition. Masson Editeur, Paris et les Presses de l'Université du Québec, Québec. pp. 196-201.
- McCormick, S. D. et R. J. Naiman. 1984. Osmoregulation in the brook trout, <u>Salvelinus</u> <u>fontinalis</u>. II. Effect of size, age, and photoperiod on seawater survival and ionic regulation. Comp. Biochem. Physiol. 79A: 17-28.
- McCormick, S. D., R. J. Naiman et E. T. Montgomery. 1985. Physiological smolt characteristics of anadromous and non-anadromous brook trout (<u>Salvelinus fontinalis</u>) and Atlantic salmon (<u>Salmo salar</u>). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 529-538.
- McDowall, R. M. 1987. The occurence and distribution of diadromy among fishes. Amer. Fish. Soc. Symp. 1: 1-13.
- Montgomery, W. L., S. D. McCormick, R. J. Naiman, F. G. Whoriskey Jr. et G. A. Black. 1989. Anadromous behavior of brook charr (<u>Salvelinus</u> <u>fontinalis</u>) in the Moisie River, Québec. Pol. Arch. Hydrobiol. (sous presse).

- Murray, A. R. 1968. Numbers of Atlantic salmon and brook trout captured and marked at the Little Codroy River, Newfoundland, counting fence and auxiliary traps, 1954-63. Fish. Res. Bd. Can. Tech. Rep. 84. 135 p.
- Naiman, R. J., S. D. McCormick, W. L. Montgomery, et R. Morin. 1987. Anadromous brook charr, <u>Salvelinus fontinalis</u>: Opportunities and constraints for population enhancement. Mar. Fish. Rev. 49: 1-13.
- Northcote, T. G. 1978. Migratory strategies and production in freshwater fishes. p. 326-359. In S. D. Gerking [ed.] Ecology of freshwater fish production. Blackwell Scientific Publications, Oxford, England.
- O'connell, M. F. 1982. The biology of anadromous <u>Salvelinus fontinalis</u> (Mitchill, 1815) and <u>Salmo trutta</u> (Linnaeus, 1758) in rivers flowing into Placentia Bay and St. Mary's Bay, Newfounland. Ph D Thesis. Memorial University of Newfounland. 253 p.
- Power, G. 1980. The brook charr, <u>Salvelinus fontinalis</u>. p. 141-203 In E. K. Balon, [ed.] Charrs: salmonid fishes of the genus <u>Salvelinus</u>. Dr. W. Junk, The Hague, The Netherlands.
- Rimmer, D. M., R. L. Saunders et U. Prim. 1985. Effect of temperature and season on position holding performance of juvenile Atlantic salmon (<u>Salmo salar</u>). Can. J. Zool. 63: 92-96.

I

- Robitaille, J. A., Y. Côté, G. Shooner et G. Hayeur. 1984. Croissance estuarienne du saumon Atlantique (<u>Salmo salar</u>) dans le fleuve Koksoak, en Ungava. Rapport Technique Canadien des Sciences Halieutiques et Aquatiques 1314.
- Saunders, R. L. 1968. An evaluation of two methods of attaching tags to Atlantic salmon smolts. Prog. Fish Cult. 105-109.
- Saunders, L. H., B. C. Muise, et E. B. Henderson. 1975. Mortality of salmonids cultured at low temperature in sea water. Aquaculture 5: 243-252.
- Smith, M. W. et J. W. Saunders. 1958. Movements of the brook trout, <u>Salvelinus fontinalis</u> (Mitchill), between and within fresh and salt water. J. Fish. Res. Bd. Can. 15: 1403-1449.
- Steele, P. O. 1986. Life history strategies of a north temperate salmonid, <u>Salvelinus fontinalis</u>, in Polar Bear provincial Park. Ph. D. Thesis, University of Western Ontario. 248 p.
- Swanson, G. M. 1986. An interim report on the fisheries of the lower Nelson River and the impacts of hydroelectric development. 1985 data. Manitoba Dept. of Natural Resources, Fisheries Branch, M. S. Report no. 86-19. 228 p.

- Swanson, G. M., et K. R. Kansas. 1987. A report on the fisheries resources of the lower Nelson River and the impacts of hydroelectric development. 1986 data. Manitoba Dept. of Natural Resources, Fisheries Branch. M. S. Report no. 87-30. 240 p.
- Thorpe, J. E. 1987. Smolting versus residency: developmental conflict in salmonids. American Fisheries Society Symposium 1: 244-252.
- Walker, R. E., D. Dobson et P. Stead. 1987. Long term temperature monitoring program 1986: Scotia-Fundy, Gulf of St-Lawrence and Newfoundland. Canada. Departement of Fisheries and Oceans, Can. Data Rep. of Hydrogr. Ocean Sci. No 53. 538 p.
- Wandsvik, A. et M. Jobling. 1982. Overwintering of migratory Arctic charr, <u>Salvelinus alpinus</u> (L.) reared in salt water. J. Fish. Biol. 20: /10 706.
- Weir, J. 1979. Anadromous brook trout (<u>Salvelinus fontinalis</u>) in the Hudson Bay Lowland of Ontario. Ontario Ministry of Natural Resources, Moosonee District, Unpublished Report. 25 p.
- White, H. C. 1940a. Life history of sea running brook trout (<u>Salvelinus</u> fontinalis) of Moser River, N. S. J. Fish. Res. Bd. Can. 5: 176 186.
- White, H. C. 1940b. Migrating behavior of sea-running <u>Salvelinus fontu</u> <u>nalis</u>. J. Fish. Res. Bd. Can. 5: 258-264.

Whoriskey, F. G., R. J. Naiman, et W. L. Montgomery. 1981. Experimental sea ranching of brook trout, <u>Salvelinus fontinalis</u> Mitchill. J. Fish Biol. 19: 637-651.

, ,

| Facteurs | Juin | Juillet | Mois Juillet Août | | |
|------------------------------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------|-----------------------|--|
| Vitesse du vent (nb d | e jour où | la vitesse < | 1 m sec ⁻¹) | | |
| 1987 1988 | 3 | 3 2 | 2 9 | 7 6 | |
| Vitesse du vent (nb d $(m \text{ soc}^{-1})$ | e jour où | la vitesse > | 5 m sec^{-1}) | | |
| 1987 1988 | 19 _ | 13 10 | 13 11 | 7 4 | |
| Précipitations (cumu) | atif) | | | | |
| 1986 ^a 1987 1988 ^o | 31,2 82,4 | 45,2 33,5 38,7 | 165,9 131,0 71,5 | 85,2 69,6 114,6 | |
| Durée d'ensoleillemen (heures) | t (cumulat | if) | | | |
| 1986 1987 1988 | 209,2 | 239,8 | 145,5 149,7 235,3 | 76,6 105,9 95,2 | |
| Température air (moye | nne) | | | | |
| 1986 1987 1988 | 5,4 5,1 - | 8,9 9,2 11,1 | 8,7 10,0 12,0 | 5,0 8,6 8,1 | |
| Température lagon (mo (^o C) | yenne) | | | | |
| 1986 1987 1988 | 5,2 7,1 - | 11,9 10,7 15,9 | 10,7 10,2 13,7 | 6,3 8,8 9,1 | |

Tableau 1: Comparaisons interannuelles des conditions climatiques à Rivière au Saumon.

Ĩ

٠

a: compilations climatiques du 18 juin au 26 septembre.

b: compilation à partir du 9 juillet.

Tableau 2: Longueur moyenne (x) et écart type (ET) des ombles en migration. Le nombre total (n) de poissons capturés à la barrière de comptage pour chaque classe de taille est indiqué.

| Année | Taille mm x (ET) | Classe c 70-150 | le taille (mm 150-300 | ı) →300 | Total n= |
|------------|------------------------|--------------------|--------------------------|------------------|-------------|
| Dévalaison | | | | | |
| 1986 | 300 (134) | 27 | 16 | 77b | 120 |
| 1987 | 217 ^a (134) | 56 ^b | 31 | 39 | 126 |
| Montaison | | | | | |
| 1986 | 392 (64) | 3 | 8 | 120 ^b | 131 |
| 1987 | 356 (104) | 11 | 17 | 69 ^b | 97 |
| 1988 | 171 ^a (91) | 258 ^b | 50 | 38 | 346 |

 $a_{=}$ différence significative (p < 0,05) interannuelle.

 $b_{=}$ différence significative (p < 0,05) entre les groupes

Tableau 3: Comparaison de la taille des ombles durant les périodes de dévalaison et de montaison pour 1986, 1987 et 1988.

•

| | Déval | aison | Montaison | | |
|-------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|--|
| 1986 | 6 juin-20 juin | 21 juin-6 juil | 31 juil-31 août | l sept-27 sept | |
| Longueur (mm) | 181 | 323** | 409 | 389* | |
| n= | 25 | 72 | 64 | 50 | |
| Et | 134,0 | 119,9 | 46,0 | 59,1 | |
| 1987 | 25 mai-8 juin | 9 juin-27 juin | 31 juil-14 sept | 15 sept 22 oct | |
| Longueur (mm) | 154 | 337** | 398 | 281** | |
| n= | 64 | 15 | 44 | 34 | |
| Et | 111,8 | 119,0 | 70,6 | 96,1 | |
| 1988 ^a | | | 30 juil-1 sept | 2 sept-11 oct | |
| Longueur (mm) | - | - | 164 | 266** | |
| n= | - | - | 113 | 76 | |
| Et | - | - | 95,7 | 93,8 | |

e.

•

** = p < 0,01
* = p < 0,05
a = barrière orientée vers l'amont seulement</pre>

Tableau 4: Corrélations non paramétriques (r Spearman) entre le nombre de poissons capturés en montaison et les variables physiques pour chaque année d'échantillonnage.

| Variables Physiques | 1986 n=60 | Année de capture 1987 n=149 | 1988 n=158 | 1986-88 n=367 |
|-----------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------|----------------------|
| Pluie | 0,2802* | 0,3193** | 0,3907** | 0,3162** |
| Variation de niveau de la rivière | 0,1559 ^{ns} | 0,2621** | 0,2743** | 0,2512** |
| I ^O C (riv.) | 0,1964 ^{ns} | | -0,2880** | -0,1311* |
| ¦ ^O C (lagon) | 0,1671 ^{ns} | 0,1645 ^{ns} | -0,2783** | 0,0208 ^{ns} |
| 1 ^O C (baie) | | 0,2704** | -0,1640 ^{ns} | 0,0641 ^{ns} |
| Variation de niveau du lagon | - | 0,3300** | - | - |

ns= non significatif
* = p < 0,05
** = p < 0,01.</pre>

.

÷

Tableau 5: Capture par unité d'effort (C.U.E.) des ombles de fontaine aux différentes stations d'échantillonnage de filets maillants dans le lagon et la baie James de juillet à septembre.

| Stations de captures (km de l'embouchure) | C.U.E. (poisson · filet ⁻¹ · d ⁻¹) 1986 1987 1988 | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|------|--|--|--|--|--|
| Lagon | | | | | | | | | |
| 201 (1,0) | - | 9,4 n=14,7 | 6,0 n=1 | 9,18 | | | | | |
| 202 (0,5) | - | 7,4 n=3,7 | 0,6 n=3,7 | 4,00 | | | | | |
| 203 (0,5) | - | - | 4,0 n=5 | 4,00 | | | | | |
| Baie | | | | | | | | | |
| 101 (3.0) | 1.0 n=5 | 0,8 n=3.7 | 0,2 n=5,5 | 0,44 | | | | | |
| 102 (2,0) | 44,0 n=1 | 3,6 n=5,5 | 25,0 n=1,5 | 8,19 | | | | | |
| 103 (4,5) | - | 1,8 n=5,5 | 2,0 n=3,7 | 1,88 | | | | | |

n = filet • d $^{-1}$

x = moyenne géométrique

*

I

| Région géographique | Rivière | Dévalaison | | | Montaison | Références | | |
|---------------------|--------------------------------|--------------|---------------------|----------------|---------------|---------------------|----------------|---------------------------------|
| | | déput | fin | taille (mm) | début | fin | taille (mm` | |
| Nouveau-Brunswick | Saint-Jean | - | - | - | 25 juin | 20 août | 240-540 | Castonguay <u>et al</u> 1982 |
| | Tabusintac | octobre | maı | 159-600 | mai | fin juil | - · | Frimeth 1986 |
| Nouvelle-Écosse | Moser | 17 avril | 9 juin ^C | - | l juil | 9 août ^d | - | White 1940,41 |
| Ontario | Sutton | 5 juin | 19 juil | 75-600 | 17 juil | 7 sept | 200-600 | Steele 1986 |
| Quêbec | À la Truite | 28 mai | 15 juin | 70-130 | 3 août | 26 sept | 120-300 | Montgomery <u>et al</u> 1989 |
| | Lac Guillaume - Delisle | mi-mai | - | 200~500 | fın juil | début sept | - | Dutil & Power 1980 |
| Terre-Neuve | North Arbour | début mai | fın juin | 100-300 | début juil | fın sept | 150-300 | Lear & Day 1977 |
| | Little Codroy ^a | 17 mai | 13 juil | - | l6 juil | l sept | - | Murray 1968 |
| | western Arm Brook ^b | | - | 75-274 | - | - | - | Chadwick 1981 |
| | Come By Chance | 5 mai | 30 juin | - | 10 juil | 5 août | 130-370 | O'Connel 1982 |

Tableau 6. Comparaison des mouvements de dévalaison et de montaison de l'omble de fontaine anadrome de différentes régions géographiques.

a = données provenant de 1959

b = données provenant de 1978

c = données provenant de 1940

d = données provenant de 194.

.

Fig. 1: Emplacement des stations d'échantillonnage à rivière au Saumon de 1986 à 1988. BC = Barrière de comptage, les triangles indiquent les stations situées dans le lagon et les rectangles celles dans la baie.

4

٠

*



Fig. 2: Variations saisonnières A) de température (1 m) de la rivière, dans le lagon et dans la baie, et de la salinité (1 m) B) dans le lagon et C) la baie.

ł





Fig. 3: Mouvements de dévalaison des ombles de fontaine anadromes à la barrière de comptage en 1986 et 1987. Les flèches indiquent les périodes d'opération de la barrière.

.



Nombre de poissons en dévalaison

ę 4

Fig. 4: Mouvements de montaison des ombles anadromes à la barrière de comptage en 1986, 1987 et 1988.

.

Ĩ

ł



Fig. 5: Histogramme de fréquence de la longueur à la fourche des ombles capturés dans la baie en 1986, 1987 et 1988.

•

Ī



~

Fig. 6: Schéma général des mouvements saisonniers de l'ombles de fontaine anadromes de rivière au Saumon.

Ī



1 .

× 4

CONNECTING STATEMENT

.

Chapter One documented the anadromous behaviour of brook trout while chapter Two investigates whether anadromous behaviour brings energetic and/or fitness benefits to the migrants compared to freshwater individuals. Chapter Two :

"A comparison of growth, selected life history characteristics and bioenergetics between anadromous and freshwater brook trout <u>Salvelinus</u> <u>fontinalis</u> of rivière au Saumon."

•

Abstract

Growth, selected life history characteristics and bioenergetics were compared between anadromous and freshwater trout of rivière au Saumon (James Bay) to determine whether fish moving to the estuary exhibit fitness and/or energetics benefits. At the life history level, we observed no significant differences in annual growth rates, age at maturity, fecundity and egg diameter between anadromous and freshwater individuals, indicating no overall long term benefit for sea run fish. Examination of seasonal energetic parameters revealed that in spring, mature fish moving downstream had significantly lower condition factors and higher water contents than freshwater fish. By August though, anadromous fish exhibited greater increases in condition and decreases in water content, and a lower water content in their eggs than freshwater trout. Immature fish returning from brackish water had significantly higher hepatosomatic index and condition factor than immature freshwater fish. These observations indicate that benefits associated with movements to the estuary in brook trout consist mostly of seasonal storage of energy, which is important for the recovery from energy depletion associated with spawning and overwintering. However, the fortuitous character for downstream movements prevents them from having а significant effect on biological characteristics such as overall growth and fecundity.

Introduction

1

Many salmonids move from freshwater to the marine environment with a subsequent return to freshwater for spawning. These sojourns in sea water vary in duration from months (e.g. trout and char) to years (Atlantic and Pacific salmon). Although important energetic costs for osmoregulation and migration are presumably associated with anadromous movements (Hutchings and Morris 1985), these fish gain access to rich marine food resources. The rich food supplies can result in major life history advantages (e.g. superior growth, size at maturity, fecundity, etc.) for sea run fish compared to freshwater residents. These advantages presumably result in superior reproductive success (fitness) of anadromous compared to freshwater animals.

Migratory fish (1-3 years at sea) from the genera <u>Oncorhynchus</u> and <u>Salmo</u> (Scott and Crossman 1973) exhibit greatly increased growth rates and size at maturity compared to freshwater residents. However, brook trout <u>(Salvelinus fontinalis</u>) whose sea runs occur over short distances and time periods (2-4 months; Power 1980) may not derive such spectacular life history advantages (Gross 1987; Hutchings and Morris 1985; but see Naiman et al. 1987). In some areas, especially in northern extremes of the species' distribution, movements to sea may be critical for the replenishment of energy reserves spent to survive the long, harsh winter (Cunjak et Power 1986; Dutil 1986). Lipids are a major energy source for fish, and are extensively stored in muscle and liver (McKeown 1984).

If food availability limits the fish in freshwater, and marine areas provide abundant food, then anadromous trout should exhibit life history or

energetic advantages when contrasted to freshwater fish. In thid study we compare life history parameters and energetics of anadromous and freshwater resident brook trout from rivière au Saumon, Québec. We compared growth rates, condition factors, fecundity, egg sizes, hepatosomatic indices and/or energy content in muscle and liver between the anadromous and freshwater groups. We predicted that the principal benefit to sea run fish in this tundra environment would be energetic.

Study area

Rivière au Saumon is a third order stream located at 54^0 38' N, 79° 35' W (Fig. 1), and flows into north east James Bay. The river passes through tundra via several lakes in the upper reaches of the watershed. The surface area of the watershed is 92 km² and in the lower 10 km of the river the average channel width is 21.9 m, and average depth 0.3 m. The river is free of ice from late May to late October while James Bay is clear of ice from mid-June to December. River current velocity varies from 0.2 m·sec⁻¹ during the low water period of late summer, to 1.3 m·sec. 1 during May floods. The river enters the bay via a shallow lagoon (average depth of 1 m). Lagoon salinity varies from 6 to 22 mg·L⁻¹, depending on the tide stage. The lagoon is elevated above the bay and semi-diurnal tides present in the bay irregularly influence water levels in the lagoon. Depending on tidal amplitude, the lagoon may show semi-diurnal variation, a single tidal cycle, or no tidal water level fluctuations. The salinity in the Bay fluctuates between 19 and 24 mg·L⁻¹.

Other species found in the watershed include the anadromous Arctic charr (<u>Salvelinus alpinus</u>), the lake whitefish (<u>Coregonus clupeatormis</u>), and the cisco (<u>Coregonus artedii</u>). In the headwater lakes the laketrout (<u>Salvelinus namaycush</u>), and white sucker (<u>Catostomus commersoni</u>) are also found. In the lagoon and the Bay, the threespine (<u>Gasterosteus aculeatus</u>) and the ninespine (<u>Pungitus pungitus</u>) sticklebacks, the four horned sculpin (<u>Myoxocephalus quadricornis</u>) and Greenland cod (<u>Gadus ogac</u>) are present.

Material and methods

The anadromous trout were captured with a portable counting fence with one trap facing downstream and the other upstream. The fence was placed about 80 m upstream of the lagoon (Fig. 1) and operated in 1986 (5 June to 26 September), 1987 (27 May to 22 October), and 1988 (11 July to 12 October, monitoring only the upstream movements). The fence was checked daily at 9:00, 14:00 and at sunset (19:00-22:00). All fish going through the fence were measured (fork length mm), weighed to the nearest 20 g, tagged and released. Fish over 200 mm were tagged (1986: Carlin, 1987: Floy Anchor), while smaller fish had a fin clipped. Approximately 10 % of the migrants were sacrificed at the fence moving downstream in June and upstream in the August-October period to determine age (using otoliths), sex, maturity, fecundity, egg diameter, and tissue energetic content before and after their sojourn in the estuary. During summer, sea-run fish sampled in the lagoon and in coastal James Bay. Fyke nets (10 mm were mesh size) and experimental gillnets (1 m x 50 m; consisting of six 8.3 m)

long panels of 25, 38, 51, 63, 76, 102 mm mesh) were used to capture fish in the lagoon. Twenty-four-h sets were made weekly (1986) or fortnightly (1987) at 3 stations from June to September. In James Bay, similar experimental gillnets (2 m x 50 m) were moored for 24 h at 3 m (high tide), every two weeks during July and August for the both years.

Sampling in freshwater was done in June, in late July and in mid September. This permitted comparisons of growth, life history variables and bioenergetics between the freshwater and anadromous trout for the periods corresponding to the anadromous downstream movement, sojourn at sea and the return to freshwater, respectively. Unmarked fish captured in the lakes or the river after the peak of downstream movements were classified as freshwater residents. Freshwater trout were sampled from the first 2 upstream lakes (Saatulik and Majuagaq, Fig. 1), or from the river (on spawning grounds within 1 km from the camp). We attempted to capture at least twenty five fish from each place on each sampling date (Table 1). Experimental gillnets with the same mesh as those used on the coast were set in the lakes until the required number of trout was captured.

Otoliths collected for aging (Dutil and Power 1977) were submerged in methyl salycilate and read 3 times. Gonads were weighed (0.1 g) and preserved in Gilson fluid for 2 weeks, after which all eggs in both gonads were counted. In 1987 only, one gonad was sampled to estimate fecundity and egg diameter, while the other gonad was used for bioenergetic analysis. Egg diameter (0.01 mm) was measured three times on ten eggs from each fish, and average values were used.

For the comparison between the anadromous and freshwater trout, fish were separated into mature and immature groups, because maturation and spawning affect several parameters including growth, condition factor and hepatosomatic index (Tveranger 1985). In this study, more than 50 % of trout matured at fork lengths (FL) greater than 300 mm (Fig. 3). Since fish over this size have the potential to mature they were classified as mature trout. Fish < 300 mm FL were considered immature.

Collection of tissues for bioenergetics was done in 1987 using only mature fish (fork length > 300 mm). Mature fish were selected to collect sufficient numbers of samples and/or enough tissue per sample for the energy content analysis. Tissues sampled for energetics included liver, muscle, and eggs. Muscle samples were collected on the left side of the fish between the caudal and the anal fin, in a relatively boneless area. Each sample was weighed to 0.1 g, frozen at -7° C and held in the field for a month before shipping to Montreal for laboratory analysis. They were stored at -15° C for about 6 months until they were freeze-dried. All samples were freeze-dried at -60° L for 4 days. Dry tissues were reweighed for estimation of water content and stored at -15° C for about two months before calorimetry analysis was done. Most of the tissue samples collected during late July were lost due to their thawing during their transportation to Montreal (Table 1).

Energy contents of tissue samples were determined using a Phillipson microbomb calorimeter (Phillipson 1964). Each sample was ground in a mortar and pelleted (4 replicates ranging from 5 to 14 mg). The pellets were placed in the oven at 60° C for 7-9 hours to eliminate any remaining water and were weighed to 0.001 g before the energetic determination was

61
done. The calorimetric bomb was recalibrated with a benzoic acid standard after every 40 determinations.

Condition factor (K) and gonadosomatic index (GSI) were calculated as follows:

(1) K= $\underline{\text{Total body weight(g)}}_{\text{Fork length(mm)}} \times 10^4$

5

(2) GSI= Gonad weight(g) x 100
Total body weight(g)

Instantaneous growth rates in length (IGRL) were determined with the equation:

(3) IGRL=
$$\frac{\ln(L_2) - \ln(L_1)}{t_2 - t_1}$$

where L_1 and L_2 represent fork length at times (t) 1 and 2, respectively. For the instantaneous growth rates in weight (IGRW), total body weight was substituted for length in the formula.

Hepatosomatic index (HSI) was estimated using the formula:

(4) HSI= [Liver weight (g)/total body weight (g)] * 100

.

Statistical Analysis

Statistical analyses were performed using analysis of variances (ANOVA). A nested ANOVA design was used for bioenergetics to account for variability among replicates within each sample. Where assumptions of homoscedasticity were violated, non parametric Kruskal-Wallis tests were employed. I-tests were used to compare the slopes and intercepts of linear regressions of the condition factor or water content between anadromous and freshwater trout. Spearman rank correlations were used to determine the relationship between duration of sojourn in brackish water and instantaneous growth rates or condition factor.

Results

Growth

1

Instantaneous growth rates in length (IGRL) of fry(0+) and yearlings(1+) in the river during the July- August period averaged 0.608 % mm d⁻¹ and 0.224 % mm d⁻¹, respectively (Table 2). Anadromous trout > 300 mm that were out of the river for over 14 d had an IGRL of 0.162 % mm· d⁻¹ (n=21) and an instantaneous growth rates in weight (IGRW) of 0.5 % g· d⁻¹ (n=12).

There were no significant differences in mean lengths at age between freshwater trout and migrants (Fig. 2). Instantaneous growth rates and condition factor of sea run fish were positively correlated with the duration of sojourn in brackish water. Fish staying for longer periods in the estuary had greater instantaneous growth rates in weight ($\underline{r}_{s} = 0.62$; n = 14; p < 0.05) and condition factor ($\underline{r}_{s} = 0.41$; n = 22; p < 0.05) than those staying for shorter periods. Three recaptured fish, out of a total

of 28 (10%), lost weight during their stay at sea, probably due to the tagging procedure.

Life History Characteristics

Age at maturity

Freshwater and anadromous trout showed similar maturation patterns and data from both these groups were pooled (Fig. 3). Mature females ranged from 313 to 522 mm FL, while males ranged from 172 to 495 mm. About 60 % of the females and 50 % of the males spawned at age 4. From age 5 and beyond, trout from Riviere au Saumon spawned every year.

Fecundity and egg diameter

Į

Anadromous and freshwater trout of similar size exhibited no significant differences in fecundity so data from both groups were pooled. Females sampled for fecundity ranged from 313 to 517 mm FL (n=53, mean length 425 mm) and were 3 to 10 years old. Fecundity ranged from 951 to 4250 eggs (x \pm SD, 2043 \pm 666). The relationship between fecundity and fork length is expressed by the equation:

(5) Fecundity = -3.281 length 1.794, $r^2 = 0.51$ p < 0.05

Fish of age 8-10+ exhibited a decline in fecundity and more variability, possibly indicating senescence. Optimal fecundity appeared to be reached at 7 years old. When fish over age 8 years old are omitted from our regression calculation, (thus respecting the linear, monotonous

increase required by linear regression), the equation between fecundity and length becomes:

(6) Fecundity = -6.646 length 2.358, $r^2 = 0.6$, p < 0.05 n=46

This equation explains a higher percentage of the variance than the previous equation.

Eggs were collected at different stages of development for migrants and freshwater trout, so the egg diameter was regressed on the gonadosomatic index (GSI) to remove the effect of sampling time. Egg diameter ranged from 2.08 to 4.69 mm and their pattern of development during the summer is shown in Table 3. No differences were found between the diameter of eggs from anadromous and freshwater fish so the data were pooled. The equation relating egg diameter to gonadosomatic index (GSI) is:

(7) egg diameter= 0.196 GSI $^{0.381}$, r² = 0.831 p < 0.05 n=53

Energetics Associated with Migration

Condition factor

Ţ

Considering only mature fish (> 300 mm), both anadromous and freshwater trout showed increases in body condition from June to August (Fig. 4). Condition factor was correlated significantly with the date (Julian day); however there was a significant difference of slope (t= 23.1; p < 0.001) and intercept (t=2.18; p < 0.05) between the two groups. These results indicate that sea run fish had lower condition factors when they moved

downstream in June compared to freshwater fish at the same time. Upon returning to freshwater in August, anadromous trout were in as good condition as the freshwater fish (Fig. 4). Thus, their increase in condition factor was significantly greater than mature freshwater trout during the same period.

Condition factor did not correlate significantly with Julian date or either anadromous or non anadromous fish less than 300 mm in length. However, immature fish returning from the estuary during September and October had significantly higher condition factors than freshwater fish sampled at the same time (F = 4.29; p < 0.05; n = 37, Kruskal Wallis Anova, Table 4).

Water content

Muscle and liver tissue of freshwater resident and migrant (ish contained similar percentages of water (79 %). For anadromous as well as freshwater fish, a significant negative correlation was found between water content in both muscle and liver, and date (Julian day). Regression lines for anadromous and non anadromous trout differed in slope (t 4.04; p < 0.01) and intercept (Fig. 5). Interestingly, in the spring, sea run fish had a higher percentage of water in their tissue than the freshwaler fish. They also showed a decrease in water content as the season advanced, while the freshwater trout had a slight but significant increase.

Water content in eggs averaged 64 % for freshwater and sea run fish pooled, and was lower than other tissues. We observed that the eggs of fish returning from the estuary had a lower water content than those of freshwater fish (F = S.11, p < 0.01 Kruskal Wallis Anova, Table 5).

Hepatosomatic index

The hepatosomatic indices of mature anadromous and freshwater trout were compared only for August, due to the small number of samples from June and July (Table 1). Our results showed no significant differences between the two groups (Table 6). However, immature anadromous fish did have significantly higher hepatosomatic indices than those remaining in freshwater during the August-September period (F = 5.75; p < 0.01, Kruskal Wallis Anova, Table 4).

Energy content in tissue

We found no differences in energetic content between anadromous and freshwater trout in any of the three tissues (nested ANOVA, Table 5). Large variations were evident among replicate analyses for a single individual. Energy content in eggs averaged 5.812 cal \cdot g⁻¹ dry weight, while muscle and liver values averaged 4.983 and 5.029 cal \cdot g⁻¹ respectively.

Energetics Associated with Spawning

1

Examination of changes in bioenergetics following spawning was done for the freshwater individuals only, due to insufficient samples (n=2) of migrant postspawning fish. Spawning appears to exert a significant effect on the short term energy reserves of freshwater fish, as their body condition decreased by 13%, hepatosomatic index decreased by 21 % and water content in muscle and liver increased by 3 % after spawning (Table 6). These changes were all significant (p < 0.05). Changes in the energetic value per gram of liver tissue, though significant, were less

important than the previous parameters, while the changes for muscle tissue were not significant.

Discussion

Our results indicate that the overall pattern of growth was similar for freshwater and anadromous trout. In other areas (Richmond Gulf, Dulil and Power 1980; North Shore of the St-Lawrence river, Whoriskey et al. 1981; St-Jean River, Castonguay et al. 1982), anadromous populations grow to larger sizes than freshwater residents of comparable ages. Our results cannot be attributed to slow growth rates of the anadromous individuals because when compared with other anadromous populations (Fig. 6), the mean length at age of fish from rivière au Saumon are similar.

We found that approximately 50 % of the trout of both sexes from Salmon River mature at age 4+. This is similar to fish in other northern sites such as the Sutton River (Steele 1986), but somewhat younger than those in Richmond Gulf (Dutil and Power 1980) where fish matured at age 6+. Also, trout spawned every year at rivière au Saumon. This is rather unusual for northern areas, especially in James Bay. Coregonids located at these latitudes spawned in alternate years (Morin et al. 1982) and brook trout from Richmond Gulf, Hudson Bay do not spawn every year (Dutil et Power 1980).

In our study, we found no significant differences in mean length at age, maturity, fecundity and egg sizes between anadromous and freshwater trout. These results indicate that no life history advantages or superior

reproductive success result directly from movements to sea water (see also Doyon et al. submitted). This appears to contradict the hypothesis that anadromy occurs when gains in fitness (reproductive success) from using a second habitat (marine sites) minus the cost of moving between habitats exceeds the fitness of staying in only one habitat (the river)(Gross 1987).

On an energetic level however, the results are different. There are advantages accruing to anadromous trout from their sojourn in brackish water. Mature fish returning from the estuary had greater increases in body condition and greater decreases in water content in their tissue (muscle and liver) than trout staying in freshwater during the summer. They also had lower water content in their eggs than freshwater fish. Since tissues levels of water content and lipids are inversely correlated (Cunjak and Power 1986, Cunjak 1988), this decrease of water in the tissue of sea run fish suggests an increase in lipid concentration. This interpretation is supported by other work in northern Quebec, which showed that by mid-summer, anadromous fish accumulated greater amounts of lipids in their body than freshwater fish (Cunjak and Power 1986).

Immature anadromous trout showed greater instantaneous growth rates in weight and increases in condition when staying longer periods in brackish water compared to fish staying shorter periods. Immature anadromous fish also had higher body condition and hepatosomatic indices (HSI) when they returned to the river compared to freshwater fish sampled at the same time. Greater liver weight reflects more stored energy. This has been shown for cod (<u>Gadus morhua</u>) which store large amounts of lipids in the liver (Janguard et al. 1967). These energetic advantages favouring

immature anadromous fish are particularly important when considering the potential for severe winter depletion of energy reserves.

Following spawning, freshwater trout experienced an important loss in body condition, in hepatosomatic index (HSI) and gained 3 % in tissue water content. It is interesting to note that even though on a per gram basis the liver tissue energetic loss was slight (3%) but significant, the hepatosomatic index decreased greatly (21%), indicating a big loss in liver weight, and hence an overall big loss of body energy stores. We found no significant changes in energy content of muscle following spawning, suggesting that energy stored in muscle might be used on the long term (e.g. for overwintering). Sockeye salmon use muscle energy during their extensive spawning migration of 250 km (Idler and Bitner 1959).

In spring, fish moving out of the river had lower body condition factors than those staying in freshwater. The downstream movements in rivière au Saumon are passive, and are apparently determined by increases in runoff in spring and fall (Doyon et al. submitted). It appears that post-spawn fish from the system, in poor condition in spring, may have an increased tendency to passively drift downstream, eventually reaching brackish water. Since they are large enough to tolerate the increased salinity (>150 mm, McCormick et al. 1984), they survive and potentially benefit from their stay in coastal waters. Because of the fortuitous nature of the downstream movements, all brook trout in rivière au Saumon basin may spend a season in the estuary at some point in their life span. The lack of well defined differences in life history parameters (growth,

fecundity, etc.) between anadromous and freshwater resident fish could be due to this factor.

Although immature trout of young ages moving downstream might benefit energically from their marine sojourn, they may encounter higher costs of osmoregulation than mature fish. They would also be more vulnerable to marine or bird predators. This might explain the small number of sea run trout moving to brackish water at length of 150-300 mm FL than those of sizes greater than 300 mm reported in Doyon et al. (submitted).

In our study we also found that sea run fish had greater increases in condition and decreases in water content over the summer than freshwater fish. The movement of trout form rivière au Saumon to sea may occur in alternate years. If mature sea run fish return to freshwater with higher condition and energy stored than freshwater fish before spawning, they should exhibit higher condition than freshwater fish the following spring (assuming similar cost of spawning and overwintering). They would then be more likely to remain in freshwater for the summer while fish of poorer condition would drift passively to brackish water. A long term study is required to determine the existence of such pattern.

Acknowledgements

We thank R. Morin for his help with the planning of the field seasons and for his constructive criticisms on earlier drafts of the manuscript. We are grateful to D. Hope for field assistance, S. Leach for help in reading otoliths and to J. Fife for sharing his experience with the micro bomb calorimeter. We thank B. Gagnon, B. Morin, S. C. Riley and A. M. Savaria, for their help with collecting field data. We also thank the Snowboy family from Chisasibi whode members acted as guides during field Most equipment and travel costs were funded by the northern seasons. Quebec Fisheries section of the Arctic Biological Station (Dept. of Fisheries and Oceans). The 1987 summer trip was funded by the Northern Scientific Training Program of Indian and Northern Affairs (administered by Centre for Northern Studies and Research of McGill University). Financial aid (Grant to JFD) was also provided by F.C.A.R.. Mark Curtis and E. M. P. Chadwick critiqued a draft of this manuscript. We thank them for their comments, however any remaining errors are our own.

References

- Castonguay, M., G. J. Fitzgerald and Y. Côté. 1982. Life history and movements of anadromous brook charr, <u>S. fontinalis</u>, in the St-Jean River, Gaspé, Québec. Can. J. Zool. 60: 3084-3091.
- Cunjak, R. A. and G. Power. 1986. Seasonal changes in the physiology of the brook trout <u>Salvelinus fontinalis</u>, in a sub-Arctic river system. J. Fish Biol. 29 : 279-288.
- Cunjak, R. A. 1988. Physiological consequences of overwintering in streams: the cost of acclimitization? Can. J. Fish. Aquat Sci. 45: 443-452.
- Doyon, J.- F., C. Hudon and F. G. Whoriskey Jr.. Mouvements saisonniers de l'omble de fontaine (<u>Salvelinus fontinalis</u>) à la baie James. (Submitted)
- Dutil J.-D. 1986. Energetics constraint and spawning interval in the anadromous arctic charr (<u>Salvelinus</u> <u>alpinus</u>). Copeia 1986: 945-955.
- Dutil J.-D. and G. Power. 1977. Validité de la lecture des otholites comparée à celle de la lecture des écailles pour la détermination de l'age de l'omble de fontaine (<u>Salvelinus</u> <u>fontinalis</u>). Nat. Can. 104: 361-367.

Dutil J.-D. and G. Power. 1980. Coastal populations of brook trout, <u>Salvelinus fontinalis</u>, in lac Guillaume-Delisle (Richmond Gulf), Québec. Can. J. Zool. 58: 1828-1835.

ł

- Frimeth J. P. 1986. Parasites as indicator of brook charr (Salvelinus <u>fontinalis</u>) biology in the Tabusintac River, N. B., Ph. D. Thesis, University of New Brunswick. 333 p.
- Gross, M. R. 1987. Evolution of diadromy in fishes. Am. Fish. Soc. Symp. 1: 14-25.
- Hutchings, J. A. and D. W. Morris. 1985. The influence of Phylogeny, size and Behavior on patterns of covariation in salmonid life histories. Oikos 45: 118-124.
- Idler, D. R. and I. Bitner . 1959. Biochemical studies on Seckeye Salmon during spawning migration. IX. Cholesterol, fat, protein and water in the body of the standard fish. J. Fish. Res. Bd. Canada. 16: 235 241.
- Jangaard, P. N., Brockerhoff, H.,Burgher, D. and Hoyle, R. J. 1967. Seasonal changes in general condition and lipid content of cod from inshore waters. J. Fish. Res. Bd. Can. 24: 607-612.

- McCormick, S. D. and R. J. Naiman. 1984b. Osmoregulation in the brook trout, <u>Salvelinus fontinalis</u>. II. Effect of size, age, and photoperiod on seawater survival and ionic regulation. Comp. Biochem. Physiol. 79A : 17-28.
- McKeown, B. A. 1984. Fish migration. Timber Press, Portland Oregon. Pages 87-105 .
- Morin, R., J. J. Dodson, and G. Power. 1982. Life history variations of anadromous cico (<u>Coregonus artedi</u>), lake whitefish (<u>C. clupeaformis</u>), and round whitefish (<u>Prosopium cylindraceum</u>) populations of eastern James-Hudson Bay. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39:958-967.
- Naiman, R. J., S. D. McCormick, W. L. Montgomery, and R. Morin. 1987. Anadromous brook charr, <u>Salvelinus fontinalis</u>: Opportunities and constraints for population enhancement. Mar. Fish. Rev. 49 : 1-13.
- Phillipson, J. 1964. A miniature bomb calorimeter for small biological samples. Oikos 15 : 130-139.
- Power, G. 1980. The brook charr, <u>Salvelinus</u> <u>fontinalis</u>. Pages 141-203 in E. K. Balon, [ed.] Charrs: salmonid fishes of the genus <u>Salvelinus</u>. Dr. W. Junk, The Hague, The Netherlands.
- Scott, W. B., and E. J. Crossman. 1973. Freshwater fishes of Canada. Bull. Fish. Res. Bd. Can. 184: 966 p.

- Steele, P. O. 1986. Life history strategies of a north temperate salmonid, <u>Salvelinus fontinalis</u>, in Polar Bear Provincial Park. Ph. D. Thesis, University of Western Ontario. 248 p.
- Tveranger, B. 1985. Variation in growth rate, liver weight and body composition at first sexual maturity in rainbow trout. Aquaculture 49: 89-99.
- Whoriskey, F. G., R. J. Naiman, and W. L. Montgomery. 1981. Experimental sea ranching of brook trout, <u>Salvelinus fontinalis Mitchill</u>. J. Fish Biol. 19: 637-651.
- Wilder, D. G. 1952. A comparative study of anadromous and treshwater populations of brook trout (<u>Salvelinus fontinalis</u> (<u>Mitchill</u>)). J. Fish. Res. Bd. Can. 9: 169-203.

Table 1: Number of fish sampled before, during and after sojourns in coastal waters, for a comparison of energetics between anadromous and freshwater trout in 1987.

| Time with | | | Anadromous trout | | Freshwater |
|-------------------|---------------------------|--------|------------------|---------------|------------|
| sojourn ar sea | (month) | At the | fence | Coastal water | residents |
| Before | (June) | | 6 | n.a. | 58 |
| During | (Late July Early Aug.) | n | .a. | 17 | 15 |
| After | (August September) | | 19 | n.a. | 60 |
| | | | | | |

n.a. = data not available

ĺ

Table 2: Average fork length (FL) and instantaneous growth rates in length (IGRL) for fry (O+) and yearlings (1+) captured at the fence in 1988.

Ĭ

I

•

| Age | Date (1988) | n= | FL (mm) | lGRL % FL•d l |
|-----|----------------|----|------------|------------------|
| 0+ | 24 July | 8 | 64 | |
| 0+ | 27 July | 6 | 66 | 1.023 |
| 0+ | 6 August | 5 | 69 | 0.445 |
| 0+ | 14 August | 5 | 71 | 0.357 |
| 1+ | 15 July | 15 | 117 | |
| 1+ | 26 July | 33 | 118 | 0.077 |
| 1+ | 5 August | 13 | 120 | 0.153 |
| 1+ | 15 August | 10 | 122 | 0.165 |
| 1+ | 2 September | 5 | 133 | 0.500 |

Table 3: Egg diameters (mm)(pooled 1986 and 1987 freshwater and brackish water samples) collected from late July to early September.

| Time interval | n | Egg diameter (mm) x | S.D. |
|----------------|----|------------------------|------|
| 07-28 to 07-31 | 8 | 2.765 | 0.29 |
| 08-05 to 08-08 | 13 | 3.445 | 0.54 |
| 08-17 to 08-20 | 3 | 4.01 | 0.16 |
| 08-29 to 08-30 | 15 | 4.252 | 0.29 |
| 09-08 to 09-10 | 5 | 4.101 | 0.32 |
| | A | | |

x = mean value

ľ

S.D. = standard deviation

Table 4: Comparison of seasonal values of the condition factor and hepatosomatic index (HSI) between anadromous and freshwater immature trout. Data on condition pooled for 1986 and 1987; HSI were measured in 1987 only.

| | Condition <u>Anadromous</u> | n factor <u>Freshwater</u> | IIS <u>Anadromous</u> | I Freshwater |
|--------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------|---------------------|
| June | 0.973 | 0.990 ^{ns} | 1.077 | 1.644 ^{ns} |
| | n=10 | n=7 | n=3 | n - 6 |
| August | 1.054 | 1.049 ^{ns} | 1.439 | 1.479 ^{ns} |
| | n=13 | n=30 | n≈6 | n 2 |
| Sept-October | 1.074 n=37 | 1.026* n=37 | l.647 n=5 | 1.395* n 13 |

ns = not significant

Ĵ

* = significant difference between the two groups
 (Kruskal Wallis, p< 0.05)</pre>

Table 5: Tissue energetic parameters (water content, energy content) and hepatosomatic indices (HSI) of anadromous fish collected moving upstream and freshwater resident trout before spawning.

| | Migrant | Freshwater |
|----------------------------------------------|------------|---------------------------|
| Water(%) | | |
| Eggs | 62.39 n=9 | 64.44 n=16 * |
| Energy (cal• g dry weight ⁻¹) | | |
| Eggs | 5.761 n=9 | 5.88 n=16 ns |
| Muscle | 5.091 n=14 | 4.870 n=13 ⁿ s |
| Liver | 5.028 n=14 | 5.081 n=13 ns |
| HSI | 1.460 n=18 | 1.661 n=22 ns |
| | | |

ns = not significant

1

Ţ

* = significant (Kruskal Wallis p<0.05)</pre>

Table 6: Energetic parameters (condition, water and energy content, Hepatosomatic index HSI)of mature freshwater trout before and after spawning in 1987.

| | Pre spawning (August) | | Post spawning (Mid-September) | |
|-------------------------------------------|--------------------------|------|----------------------------------|---------|
| Condition factor | 1.111 | n=47 | 0.966 | n=18 * |
| Liver | | | | |
| water(%) | 79.02 | n=47 | 82.81 | n=18 * |
| HSI | 1.652 | n=47 | 1.298 | n=18 * |
| Energy Cal· g dry weight ⁻¹ | 5.081 | n=12 | 4.930 | n=13 * |
| Muscle | | | | |
| water(%) | 77.23 | n=43 | 80.23 | n=19 * |
| Energy Cal• g dry weight ⁻¹ | 4.870 | n=12 | 4.983 | n=14 ns |

* indicates a significant difference between August and September samples
 (Kruskal Wallis, p<0.05).</pre>

ns = non significant

.

Į

Fig. 1: Location of Rivière au Saumon. C. F. = counting fence.



Fig. 2: Mean length at age for anadromous and freshwater trout collected in 1987.

٠



Fig. 3: Percentage of mature fish by age for male and female brook trout (anadromous and freshwater pooled) collected in 1986, 1987 and 1988.

.



Ţ

Fig. 4: Regression lines of between condition factor and time, from spring to spawning for anadromous and freshwater trout > 300 mm captured in 1987.

.

.

.



Condition factor

Fig. 5: Regression lines betwenn water content in muscle and liver tissue and time during summer for migrant and freshwater fish.

٠

į



% water in tissue

* .

A

Fig. 6: Mean length at age for different populations of anadromous brook trout. References for these data are: Richmond Gulf (Dutil and Power 1980),Sutton River (Steele 1986), St-Jean River (Castonguay et al. 1982), Tabusintac River (Frimeth 1986), and Moser River (Wilder 1952 in Frimeth 1986).

۲ .



4

A,

CONCLUSION

My study on seasonal movements of anadromous brook trout in rivière au Saumon showed that the downstream movements started with ice break up in May and peaked in June, but sporadic movements also occurred in the fall. Downstream displacements were significantly correlated with increases in water level in spring and the fall. Movement patterns varied considerably between 1986 and 1987.

The analysis of the catch per unit of effort indicates that downstream migrants were found in greatest concentration in the lagoon, and their abundance in the bay decreased with distance from the river mouth.

These observations suggest that movements into brackish waters are passive.

Upstream movements began in late July and continued until freezing (November), with the intensity of movement varying annually according to climatic conditions. During the summmer of 1988, which was particularly hot and dry, the upstream movement pattern differed with few maturing fish ascending the river.

Environmental factors, especially rapid fluctuation of the river level during spring and fall runoff, strongly influenced the timing and the intensity of the seasonal movements of anadromous brook trout.

Comparison of life history variables between anadromous and freshwater individuals showed very little difference in mean length at age, age at maturity, fecundity and egg diameter between the two groups.

However, examination of energetics parameters revealed that in spring, mature migrants moving downstream had significantly lower condition factors and higher water contents than fish remaining in freshwater.

By August, anadromous fish exhibited greater increases in condition and decreases in water content, as well as a lower water content in their eggs, than freshwater trout. Immature fish returning from brackish water had significantly higher hepatosomatic indices and condition factors than immature freshwater fish.

These observations indicate that benefits associated with anadromous migrations in brook trout are linked to the seasonal patterns of energy storage, which is important for recovery from energy expenditures associated with spawning and overwintering.