

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
À LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR
MICHEL BARIL

ÉCOLOGIE ET COMPORTEMENT REPRODUCTEUR DE L'OMBLE DE FONTAINE,
SALVELINUS FONTINALIS, DANS UNE FRAYÈRE AMÉNAGÉE

DÉCEMBRE 1999

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

RÉSUMÉ

Le relief assez plat du bouclier canadien limite la disponibilité des sites de fraye adéquats des populations lacustres d'ombles de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) qui utilisent de préférence les tributaires et/ou émissaires. Dans un contexte d'exploitation de cette espèce à des fins de pêche sportive, il peut être avantageux d'aménager des sites de reproduction de cette espèce afin d'en soutenir les populations. L'objectif de ce projet a été d'étudier les conditions de reproduction qui prévalent dans une frayère artificielle qui a été aménagée entre 1987 et 1989 au lac Saint-Michel, dans la région de Charlevoix (Québec). Dans le premier volet de ce projet, un dispositif de capture érigé à l'entrée de la frayère a permis d'établir les patrons de migration des reproducteurs. En 1995, 745 poissons ont été recensés comparativement à 1148 en 1996. Les individus, qui ont commencé à migrer sur la frayère lorsque la température a descendu à 13⁰C, ont affiché un maximum d'activités migratoires à des températures de 9-10⁰C. Durant ces deux années, la taille des mâles a diminuée au fur et à mesure que la période de reproduction avançait. Les femelles se sont présentées sur la frayère sans patron de tailles défini en fonction du temps. Un total de 10 % des reproducteurs marqués en 1995 se sont présentés sur la frayère en 1996. Des échantillonnages nycthéméraux ont aussi démontré que les ombles étaient surtout actifs entre 20h et 8h. Une fois dans la frayère, les reproducteurs ont sélectionné des sites particuliers; la vitesse du courant était significativement plus élevée dans les sites sélectionnés ($18,5 \pm 11,5$ cm/s) que dans les sites non sélectionnés ($11,5 \pm 12,1$ cm/s). Aucune différence n'a été observée entre la profondeur des sites sélectionnés et celle des sites non sélectionnés. Nous avons observé une relation positive ($R^2 = 0,88$) entre le nombre de reproducteurs par site de fraye sélectionné et la superficie de ces sites. Le second volet de cette étude visait à évaluer la distribution spatio-temporelle des juvéniles de l'année (0+) dans la frayère. Les deux années, les premières captures de juvéniles ont été effectuées lorsque la température de l'eau a atteint 2⁰C. Les captures en montaison (vers le lac) ont augmenté en fonction du temps alors que la dévalaison a diminué en fonction du temps. En montaison, les captures ont toujours été plus nombreuses près du rivage qu'au centre de la rivière, alors qu'en dévalaison, aucune tendance n'a été observée. Les sites d'échantillonnage situés près du rivage présentaient des vitesses de courant et des profondeurs significativement plus faibles que ceux du centre de la rivière. Au

printemps 1997, un échantillonnage des larves avant la période d'émergence a permis d'établir à 13,3 % le pourcentage d'éclosion des œufs sur la frayère à l'étude (des décomptes de production moyenne d'oeufs par femelle ayant été effectués l'automne précédent). Pour continuer d'améliorer les techniques d'aménagement d'habitats de reproduction de l'omble de fontaine, les futurs travaux de recherche devront éclaircir la dynamique de la sélection des sites de fraye et établir s'il y a avantage à se servir des émissaires comme sites d'aménagement d'habitats de reproduction.

AVANT-PROPOS

Ce mémoire de maîtrise inclut la problématique et la rétrospective de la littérature mise à jour qui avaient été présentées dans le document de présentation de mon projet, dans le cadre du cours ECL-6005. Nous avons convenu, le Dr Magnan et moi, que les informations contenues dans ces parties pourront servir de point de départ à ceux qui, dans le futur, entreprendront des travaux dans le même champ de recherche.

REMERCIEMENTS

Ce projet, le premier réalisé par le Centre de recherche Gesti-Faune, a nécessité l'implication de plusieurs personnes pour en assurer la réalisation et je tiens à le souligner. Parmi celles-ci, je voudrais tout d'abord remercier le Dr Pierre Magnan pour le support scientifique qu'il m'a accordé, la rigueur scientifique qu'il m'a imposée et pour son implication personnelle. Je dois également remercier la Fondation de la Faune pour sa contribution financière ainsi que la direction du Centre de recherche Gesti-Faune pour le soutien financier et logistique qui m'a été accordé aux fins de ce projet.

Le concours de plusieurs personnes a aussi été nécessaire pour mener à bien les travaux d'échantillonnage sur le terrain. Steve Beauvillier, Claude Baril, Marco Bellavance, Isabelle Bernier, Dave Boulet, Martin Chevalier, Vincent Corriveau, Daniel Dussureault, Patrice Gagné, Andrée Giroux, Isabelle Gosselin, Marc-Andrée Juneau, Simon Labrie, André Lapointe, Patrick Laurin, Vincent Préfontaine, François Robert et Jacques Tremblay reçoivent mes remerciements les plus sincères. Je tiens aussi à remercier messieurs Pierre Bérubé, Jacques Boivin et Pierre Dulude pour l'intérêt qu'ils ont démontré envers mes travaux.

Je tiens à transmettre une pensée toute spéciale à ma compagne Manon pour la patience et la tolérance qu'elle a démontrées au cours de ces années et pour le soutien moral qu'elle m'a accordé, et à mes enfants qui, sans le savoir, m'ont apporté support et motivation tout au long de cette aventure.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
AVANT-PROPOS	iv
REMERCIEMENTS	v
TABLE DES MATIÈRES	vi
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	xi
LISTE DES ANNEXES	xii
 1. INTRODUCTION	 1
1.1 Problématique	1
1.2 Rétrospective de la littérature	3
1.2.1 Introduction	3
1.2.2 Reproduction de l'omble de fontaine	4
1.2.2.1 Comportements migratoires	4
1.2.2.2 Sélection des sites de fraye	5
1.2.2.3 Composition du substrat des sites de fraye	5
1.2.2.4 Comportements de fraye	6
1.2.2.5 Fécondité des femelles	8
1.2.3 Développement embryonnaire et larvaire	8
1.2.3.1 Phase embryonnaire	8
1.2.3.2 Émergence des larves	9

1.2.3.3 Dévalaison des larves	10
1.2.3.4 Comportements alimentaires des larves	11
2. MATÉRIEL ET MÉTHODES	13
2.1 Site de l'étude	13
2.2 Migrations de reproduction.....	13
2.2.1 Barrière de comptage	13
2.2.2 Marquage et prises des données.....	13
2.2.3 Cycles nycthéméraux	14
2.3 Sélection des sites de fraye	14
2.3.1 Cartographie de la frayère	14
2.3.2 Identification des sites de fraye	14
2.3.3 Compétition pour les sites de fraye.....	15
2.3.4 Caractéristiques physiques des zones de fraye	15
2.4 Montaison et dévalaison des juvéniles.....	15
2.4.1 Méthode de capture.....	15
2.4.2 Description des couloirs de migration.....	16
2.5 Estimation de la production potentielle de la frayère étudiée	16
2.5.1 Évaluation de la fécondité des femelles	16
2.5.2 Échantillonnage des larves	17
2.6 Analyses statistiques	17
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION	19
3.1 Migrations de reproduction.....	19
3.1.1 Nombre de reproducteurs entrés sur la frayère en 1995 et 1996	19
3.1.2 Chronologie de la migration	21
3.1.2.1 Entrée des reproducteurs en fonction du temps et de la température de l'eau	21
3.1.2.2 Entrée des reproducteurs en fonction de la taille et du sexe des individus	24

3.1.3 Mouvements amont-aval et retour annuel des reproducteurs	29
3.1.4 Activités nycthémérales des ombles reproducteurs.....	32
3.2 Sélection des sites de fraye.....	34
3.2.1 Répartition spatiale et déterminants de la sélection des sites de fraye	34
3.3 Montaison et dévalaison des juvéniles	38
3.3.1 Distribution temporelle des captures	38
3.3.2 Couloirs de migration	40
3.4 Production potentielle de la frayère étudiée	45
4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	48
5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	51

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Nombre de reproducteurs en montaison et en dévalaison sur la frayère du lac Saint-Michel, automnes 1995 et 1996	20
Tableau 2. Décompte des reproducteurs à déplacements multiples sur la frayère du lac Saint-Michel, automnes 1995 et 1996	30
Tableau 3. Vitesses et profondeurs moyennes (± 1 É.T.) mesurées aux sites sélectionnés et non sélectionnés par les ombles de fontaine, automne 1996.....	35
Tableau 4. Régression linéaire simple entre le nombre de reproducteurs et (i) la superficie de la section et (ii) la superficie de fraye, automne 1996.....	36
Tableau 5. Matrice de corrélations de Pearson (r) entre les variables indépendantes mesurées dans chacune des sections de la frayère étudiée, automne 1996.....	37
Tableau 6. Nombre d'ombles de fontaine juvéniles (0+) capturés en montaison et en dévalaison, près du rivage et au centre de la frayère étudiée, automnes 1995 et 1996.....	41
Tableau 7. Vitesses et profondeurs moyennes (± 1 É.T.) mesurées aux stations rivage et centre de la frayère étudiée, printemps 1996.....	42
Tableau 8. Matrice de corrélations de Pearson (r) entre les variables mesurées dans la frayère et la montaison des ombles de fontaine juvéniles (0+), printemps 1996.....	43

Tableau 9. Matrice de corrélations de Pearson (r) entre les variables mesurées dans la frayère et la dévalaison des omble de fontaine juvéniles (0+), printemps 1996.....	44
Tableau 10. Production potentielle d'embryons et production estimée en larves dans la frayère du lac Saint-Michel, mai 1997	46

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Nombre de reproducteurs mâles et femelles entrés sur la frayère en fonction du temps et de la température de l'eau, automne 1995	22
Figure 2. Nombre de reproducteurs mâles et femelles entrés sur la frayère en fonction du temps et de la température de l'eau, automne 1996	23
Figure 3. Fréquences d'entrée des reproducteurs femelles sur la frayère à l'étude en fonction de différentes classes de tailles, automne 1995.....	25
Figure 4. Fréquences d'entrée des reproducteurs femelles sur la frayère à l'étude en fonction de différentes classes de tailles, automne 1996.....	26
Figure 5. Fréquences d'entrée des reproducteurs mâles sur la frayère à l'étude en fonction de différentes classes de tailles, automne 1995.....	27
Figure 6. Fréquences d'entrée des reproducteurs mâles sur la frayère à l'étude en fonction de différentes classes de tailles, automne 1996.....	28
Figure 7. Fréquences d'entrée des reproducteurs dans la frayère en fonction du temps pour 4 journées (graphique a, b, c, et d) et pour l'ensemble des quatre journées (graphique e) de la période de fraye 1996.....	33
Figure 8. Évolution temporelle des captures d'ombles de fontaine juvéniles (0+) en fonction du temps et de la température de l'eau, 1995 et 1996.....	39

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Évolution de la pêche sportive versus les aménagements piscicoles au lac Saint-Michel.....	56
Annexe 2. Carte géographique de la frayère du lac Saint-Michel	57

1. INTRODUCTION

1.1 Problématique

Suite à la dernière période glacière, l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) s'est distribué sur l'ensemble du bouclier canadien (Lacasse et Magnan 1994). Cette zone présente un réseau hydrographique où l'omble de fontaine retrouve un grand nombre de plans d'eau possédant les conditions physico-chimiques nécessaires à son développement (Power 1980; Scott et Crossman 1974). La situation semble cependant différente pour les habitats de reproduction. En effet, l'omble de fontaine est reconnu comme une espèce se reproduisant surtout en eau courante (Power 1980; Fraser 1985) et qui utilise de préférence les tributaires et les émissaires comme habitats de fraye (Jonsonn 1985). Mais, en raison de son relief assez plat, le bouclier canadien offre rarement les conditions optimales de vitesse de courant et de granulométrie nécessaires aux fins de reproduction de cette espèce (Fraser 1985).

En 1995, 1 026 743 personnes ont pratiqué la pêche sportive pour des investissements totaux de plus de 1 380 000 000 \$ pour l'ensemble du Québec (Anonyme 1995). Sur l'ensemble des captures de ces pêcheurs, 38 % étaient des ombles de fontaine (Anonyme 1995), c'est à dire 22 757 296 poissons. Puisque la disponibilité des sites de fraye naturels semblent limitant sur le bouclier laurentien, l'aménagement de frayères peut constituer une intervention à préconiser dans un contexte d'exploitation des populations d'ombles de fontaine par la pêche sportive. L'aménagement de frayères peut aussi aider à contrer les effets d'activités anthropiques ayant contribué à la perte d'habitats de reproduction d'espèces piscicoles. On peut notamment citer l'ensablement des rivières par les opérations forestières (Hetherington 1987; Murphy et Milner 1997) et leur harnachement pour les installations hydroélectriques.

En 1987, une frayère a été aménagée au lac Saint-Michel dans la région de Charlevoix au Québec (Craig et Dulude 1995). Les gestionnaires du territoire faunique où se trouve ce lac avaient constaté dès la fin des années 70 le faible recrutement de l'omble de fontaine dans ce plan d'eau. Deux problèmes principaux ont été identifiés pour expliquer ce phénomène: l'absence de cours d'eau adéquats pour la reproduction de l'omble de fontaine dans le réseau

hydrographique adjacent au lac et un marnage annuel important dû à un barrage datant de 1917, dont la structure de bois avait été altérée par le temps. Jugeant que les ensemencements n'étaient pas une solution adéquate à ces problèmes, l'équipe de gestion du territoire a entrepris deux projets majeurs. En 1985, une nouvelle digue de pierre et remblai a été construite de façon à stabiliser le niveau du lac. Puis, à l'automne 1986, on a procédé à l'excavation d'un émissaire artificiel dans le but d'y planter un site de reproduction pour les omble de fontaine. Ces travaux de creusement étaient nécessaires car l'émissaire naturel du lac s'écoulait sur un lit de roc et avait une pente trop abrupte pour y envisager l'établissement d'une frayère. Un canal d'environ 5 mètres de largeur comportant des méandres a été creusé avec de la machinerie lourde sur plus de 150 mètres dans une zone plane et peu élevée au dessus du niveau du lac. De cet émissaire aménagé, l'eau rejoint l'ancien émissaire en suivant la pente naturelle du terrain. Ensuite, au printemps 1987, on a procédé à l'aménagement d'une frayère dans la partie creusée de la nouvelle rivière en y étalant 115 tonnes de gravier de 1,5 cm à 3 cm de diamètre. De 1987 à 1990, entre 300 et 400 reproducteurs capturés sur un autre site de fraye du lac ont été implantés chaque automne dans la nouvelle frayère pour y initier le cycle de reproduction. Depuis ces aménagements, plusieurs centaines d'omble viennent se reproduire dans la nouvelle frayère à chaque automne. Les statistiques de pêche indiquent une augmentation des prises, qui sont passées d'environ 300 en 1978 à plus de 3000 en 1994, jumelée à un arrêt des ensemencements (Craig et Dulude 1995; Annexe 1). Ceci suggère que les aménagements ont favorisé le recrutement de l'omble de fontaine dans ce milieu.

Le but général de mon projet de maîtrise a été d'étudier les conditions de reproduction de l'omble de fontaine dans la frayère aménagée du Lac Saint-Michel. Puisque ces travaux semblent avoir permis une augmentation significative des succès de pêche, cet endroit constituait un site expérimental intéressant pour améliorer nos connaissances sur les conditions de reproduction de cette espèce et, par conséquent, sur les normes d'aménagement de sites de fraye.

Les objectifs spécifiques de mon projet de recherche ont été les suivants :

- a) Déterminer la durée et la chronologie de la période de fraye et établir les patrons de migration des reproducteurs sur le site de reproduction (en fonction de la taille et du sexe des individus);
- b) Déterminer l'activité nycthémérale des reproducteurs en migration;
- c) Effectuer la cartographie de la frayère et identifier les sites de fraye préférentiels;
- d) Déterminer les caractéristiques (profondeur et vitesse de courant) des sites sélectionnés et non sélectionnés pour la reproduction;
- e) Établir le patron de migration spatio-temporel (montaison et dévalaison) des juvéniles de l'année (0+) dans la frayère aménagée;
- f) Déterminer les caractéristiques (profondeur et vitesse de courant) des couloirs de migration des juvéniles de l'année (0+) dans la frayère aménagée;
- g) Établir la fécondité relative des femelles et la production potentielle d'embryons sur la frayère.
- h) Échantillonner les larves benthiques afin de déterminer les succès d'éclosion des œufs;

1.2 Rétrospective de la littérature

1.2.1 Introduction

La distribution de l'omble de fontaine sur le territoire québécois découle d'une succession de phénomènes géologiques qui ont débuté lors de la dernière période glaciaire (Lacasse et Magnan 1994). À ces phénomènes se sont ajoutées au cours des dernières décennies des interventions humaines comme la construction de barrages, la formation de réservoirs hydroélectriques et l'introduction d'espèces compétitrices. L'omble de fontaine se retrouve donc de nos jours, soit en allopatrie, soit en sympatrie avec d'autres espèces sur l'ensemble du territoire du Québec (Lacasse et Magnan 1994). Ce poisson retrouve sur le bouclier canadien des plans d'eau présentant les conditions de température et d'oxygénéation nécessaires à son développement (Power 1980; Scott et Crossman 1974). Il semble cependant que cette espèce ne trouve que

rarement en lac (Curry et Devito 1996) ou en rivière (Fraser 1985) les conditions optimales de sa reproduction. La littérature scientifique présente plusieurs facteurs conditionnant les succès de reproduction de l'omble de fontaine dont la présence de zones de résurgence de la nappe phréatique, la vitesse du courant à l'émergence, la sédimentation sur le substrat de ponte ou le comportement des larves à l'émergence. Cette revue de littérature présente un aperçu des connaissances actuelles des différents aspects de la reproduction de l'omble de fontaine.

1.2.2 Reproduction de l'omble de fontaine

1.2.2.1 Comportements migratoires

L'omble de fontaine est reconnu comme une espèce pouvant se reproduire en lacs (Curry et Noakes 1995; Fraser 1985; Scott et Crossman 1974), en ruisseaux ou en rivières (Fraser 1985; Power 1980; Scott et Crossman 1974). En rivières, son cycle reproducteur se déroule sur une période pouvant aller de la fin août jusqu'en décembre selon la situation géographique (Power 1980; Scott et Crossman 1974). Durant la période de reproduction qui peut varier d'une année à l'autre pour une même région (Power 1980), des ombles résidents des lacs se dirigeront vers les cours d'eau pour s'y reproduire (Scott et Crossman 1974). Selon Jonson (1985), les tributaires et les émissaires peuvent l'un et l'autre servir d'habitats de reproduction et d'élevage. Peu d'informations sont disponibles sur la proportion des sexes de cette espèce se rendant sur les lieux de fraye. Selon Scott et Crossman (1974), les mâles surpassent souvent les femelles en nombre mais Fraser (1985) rapporte un nombre équivalent de mâles et de femelles ayant migré sur un site d'étude. Les raisons qui motivent les migrations en rivière sont encore peu connues mais elles seraient liées à des facteurs génétiques (Swain et Holtby 1989) ou à la plasticité des comportements (Grant et Noakes 1988). La période de fraye ne semble pas liée à la taille des femelles (Curry 1993). Très peu d'informations sont disponibles sur la chronologie des migrations de reproduction, du lac au site de fraye.

1.2.2.2 Sélection des sites de fraye

Rendus dans les rivières, les reproducteurs choisissent les endroits les plus propices à l'établissement des nids. Les facteurs qui déterminent le choix d'un site de fraye en particulier sur un ensemble de sites potentiels ne sont pas clairs (Power 1980). Cependant, la présence d'un substrat adéquat et la percolation de l'eau au travers de celui-ci semblent nécessaires pour permettre un bon succès de reproduction (Fraser 1985). D'après Kondolf et Wolman (1993), les salmonidés ont évolué pour utiliser des habitats extrêmes et ne sélectionnent pas seulement les sites de fraye en fonction de la grosseur du gravier. Webster et Eiriksdottir (1976), puis Fraser (1982) ont suggéré que le choix des sites de reproduction était davantage orienté par la présence de sources souterraines que par le substrat. Depuis, beaucoup d'attention a été accordée au rôle des zones de résurgence de la nappe phréatique dans la reproduction de l'omble de fontaine sur le bouclier canadien. Selon Curry et Noakes (1995) ainsi que Curry *et al.* (1995), la ponte et l'incubation des oeufs de l'omble de fontaine requièrent des zones d'écoulement d'eaux souterraines près des rives des lacs. Les sources d'eaux souterraines auraient également un rôle à jouer dans les sites de reproduction en rivière (Curry et Noakes 1995; Curry *et al.* 1995). Pour sa part, Schofield (1993) supporte l'idée que le succès de reproduction des populations d'ombles de fontaine des monts Adirondack est aussi fortement influencé par la présence de sources souterraines. La présence de ces sources primerait en importance sur la nature du substrat (Schofield 1993). Toutefois, lors d'une étude comportementale réalisée dans un cours d'eau du Minnesota, Essington *et al.* (1998) ont démontré que des facteurs non liés à l'habitat peuvent intervenir dans le choix des sites de ponte. Ceux-ci suggèrent que les ombles de fontaine femelles ont tendance à pondre dans des nids existants.

1.2.2.3 Composition du substrat des sites de fraye

Plusieurs études menées sur des sites de reproduction connus ont permis de caractériser les substrats les plus propices à la déposition des oeufs et au développement des embryons. Une bonne composition du gravier offre la perméabilité nécessaire à la circulation de l'eau qui approvisionne les oeufs en oxygène et permet l'élimination des métabolites des embryons en

développement (Power 1980; Crisp 1993). De plus, les espaces interstitiels constituent des micro-habitats dans lesquels les embryons peuvent se développer en sécurité pendant la saison hivernale. Snucins *et al.* (1991) ont cependant établi des différences entre les compositions de gravier retrouvées dans un lac ou une rivière. Selon eux, le courant d'eau de la rivière peut contribuer au nettoyage des particules fines du substrat lors de la construction des nids.

Witzel et MacCrimmon (1983) ont établi à 3,4 mm l'espacement nécessaire à un embryon pour se développer sans subir les pressions des couches supérieures du gravier. La composition du gravier n'est toutefois pas statique et plusieurs phénomènes tendent à la modifier avec le temps. On peut penser au régime hydrique des cours d'eau, à des crues particulièrement fortes pouvant déloger certaines particules du gravier et au dépôt de sédiments. Le dépôt de sédiments est souvent identifié comme principal facteur de détérioration de la qualité d'un site de fraye. En s'insérant à travers les cailloux du gravier, les sédiments en diminuent la conductivité hydraulique (Kondolf *et al.* 1993). Cependant, au moment de la reproduction, la femelle procède au nettoyage de son nid, ce qui en élimine les particules non souhaitables, établissant ainsi une dynamique entre la déposition des sédiments et leur remise en circulation (Power 1980).

Young et Hubert (1989) suggèrent d'ailleurs de juger avec précaution la relation entre le succès d'incubation et le dépôt de sédiments puisque les salmonidés procèdent à un nettoyage de leurs sites de fraye. Cependant, si on augmente la sédimentation par des activités humaines dans le bassin versant d'un cours d'eau, l'infiltration d'une trop grande quantité de particules dans le gravier peut rapidement inverser l'effet du nettoyage réalisé lors de la fraye (Kondolf *et al.* 1993).

1.2.2.4 Comportements de fraye

Les mâles, matures avant les femelles, se présentent avant celles-ci sur les frayères et y demeurent plus longtemps (Power 1980; Fraser 1985). Chaque mâle choisit un territoire sur

lequel il tente d'amener une femelle à frayer. Chaque femelle, dès son arrivée sur la frayère, choisit un site de ponte, qu'elle défend avec un mâle dominant.

Sur le site de ponte, la femelle procède au creusage d'un nid dont la morphologie présente typiquement une fosse en amont suivie d'une queue qui s'étire vers l'aval (Kondolf *et al.* 1993). Curry (1993) a observé dans un lac que les femelles peuvent prendre de quelques heures à deux jours pour fabriquer leurs nids, tout dépendant de la nature du substrat, du comportement même des femelles et des interactions avec les mâles. Les nids creusés peuvent être identifiés pendant un certain temps par l'apparence plus claire du gravier nettoyé et retourné (Bagenal et Braum 1971).

Selon Curry (1993), le diamètre d'un nid est typiquement inférieur à deux fois la longueur de la femelle qui l'a creusé. Différentes études ont eu pour objet d'établir s'il y avait une relation entre la grandeur des nids et la taille des poissons qui les ont creusés (Crisp et Carling 1989), ou encore, entre la profondeur de déposition des oeufs et les espèces de salmonidés (Weaver et Fraley 1993). Selon Kondolf et Wolman (1993), la profondeur de l'eau, la vitesse du courant ou d'autres facteurs peuvent influencer ces relations. Snucins *et al.* (1992) ont observé que les oeufs dans les nids d'un site d'étude en Ontario reposaient entre 7 et 19 cm de profondeur. Young *et al.* (1989) reconnaissent la difficulté de localiser la poche d'oeufs à l'intérieur même du nid. La connaissance de la morphologie des nids est importante pour l'implantation de dispositifs de capture des larves émergentes.

Selon Power (1980) ainsi que Scott et Crossman (1974), l'acte reproducteur est accompli par un seul mâle et une seule femelle. Toutefois, selon Scott et Crossman (1985), l'un et l'autre pourraient frayer à nouveau avec un autre partenaire. Par contre, Curry (1993) a observé qu'un nombre variable de mâles pouvaient fertiliser les oeufs ou demeurer dans l'entourage de la femelle pendant la ponte. Certains de ces mâle sont des juvéniles 1+ ou des jeunes de l'année qui consommaient des œufs (Curry 1993). Les oeufs sont déposés dans les nids en une ou plusieurs poches (Crisp et Carling 1989; Snucins *et al.* 1992; Weaver et Fraley 1993) qui sont difficiles à étudier ou à reproduire dans les travaux en laboratoire (Chapman 1966). Par la suite,

les oeufs sont recouverts de gravier par la femelle à l'aide de sa queue (Power 1980; Scott et Crossman 1974). La déposition des oeufs aurait vraisemblablement lieu au crépuscule, quand les faibles conditions lumineuses rendent les oeufs et les ombles moins visibles à leurs prédateurs (Curry 1993). Par contre, Power (1980) ainsi que Scott et Crossman (1985) supportent que la fertilisation des œufs a lieu le jour.

1.2.2.5 Fécondité des femelles

La fécondité de l'omble de fontaine varie en fonction de l'âge, de la taille, de l'alimentation et probablement en fonction de l'hérédité (Power 1980). La littérature rapporte que la fécondité varie aussi entre les individus et entre les stocks. Johnston et McKenna (1976) ont mesuré chez les femelles d'omble de fontaine de l'Île du Prince Édouard une fécondité qui est généralement le double de celle des ombles du Québec (ex : 271 œufs comparativement à 564 pour des femelles de 19,4 à 21,4 cm). Scott et Crossman (1974) donnent un diamètre variant entre 3,5 et 5,0 mm pour les oeufs. Pour ces grosseurs d'oeufs, Power (1980) rapporte respectivement des fécondités de 273 et 251 oeufs par 100 grammes de poids.

1.2.3 Développement embryonnaire et larvaire

1.2.3.1 Phase embryonnaire

Chez l'omble de fontaine, la durée d'incubation des œufs varie, entre autres, en fonction de la teneur en oxygène et de la température de l'eau (Bagenal et Braum 1971; Scott et Crossman 1974). Elle peut durer jusqu'à 5 mois dans l'eau à 1,5 °C (Power 1980). Pendant cette période, le développement embryonnaire amènera les oeufs à éclosion, c'est-à-dire au stade de larve vésiculée. Les larves, qui possèdent un phototactisme négatif, demeureront enfouies dans le gravier, résorbant leur sac vitellin en attendant le moment de l'émergence (Power 1980). Les phases du développement embryonnaire de même que celles des larves avant émergence sont bien connues à la suite de multiples observations en laboratoire (Bagenal et Braum 1971).

La mortalité aux stades embryonnaire et larvaire est fortement influencée par la composition du substrat de ponte (Bagenal et Braum 1971; Scott et Crossman 1974). La mortalité des oeufs en développement, quant à elle, est principalement causée par le mouvement du gravier (Bagenal et Braum 1971; Kondolf *et al.* 1991) qui survient lors des crues et lorsque les pontes successives de plusieurs individus sont déposées à un même endroit (Bagenal et Braum 1971). Fraser (1985) évoque aussi la possibilité de destruction des pontes par superposition des nids. L'importance de cette compétition pour les sites préférentiels est toutefois peu documentée.

Le stade de larve vésiculée est quant à lui affecté par la composition du substrat et par l'accumulation de sédiments qui influencent les comportements d'émergence. Hausle et Coble (1976) qui ont travaillé sur l'omble de fontaine, ainsi que Olsson et Persson (1988) qui ont étudié la truite brune (*Salmo trutta*), ont mis en évidence les effets néfastes que pouvait avoir le sable incorporé au gravier sur les larves de salmonidés. D'après Hausle et Coble (1976), une proportion de 20 % de sable mélangé à un substrat composé de particules variant entre 2 et 64 mm pourrait provoquer une mortalité des larves allant jusqu'à 70 %. De leur côté, Witzel et MacCrimmon (1983) ont obtenu jusqu'à 96 % de succès d'éclosion dans un substrat artificiel de 9,2 mm de diamètre moyen, sans sable. La composition du gravier influence également la condition des larves à l'émergence (Alanärä 1993). En se développant dans un gravier suffisamment gros, les larves vésiculées demeurent plus longtemps enfouies ce qui favorise la conversion du vitellus en tissus corporels plutôt qu'en énergie dépensée pour la nage.

1.2.3.2 Émergence des larves

Au printemps, les larves passent de l'environnement sécuritaire et stable dans lequel elles se sont jusque là développées, à un environnement où elles sont exposées aux courants et aux prédateurs. Elles doivent rapidement adopter les comportements alimentaires et territoriaux qui assureront leur survie (Bardonnet *et al.* 1993). Godin (1982) mentionne que la survie des jeunes à l'émergence dépend de la rapidité avec laquelle ils acquerront l'organisation spatiale et temporelle de leurs différents comportements. Par ailleurs, il semble que la vulnérabilité des jeunes ombles soit dépendante de leur taille au moment de l'émergence (Heggenes et Traaen

1988). Puisque l'ensablement provoque l'émergence prématuée des larves, on peut penser qu'il y a indirectement des effets sur le taux de mortalité, les larves prématuées n'ayant pas atteint un stade de développement assez avancé au moment de quitter le substrat. Selon Curry *et al.* (1995), la période d'émergence pourrait être plus critique pour les succès de reproduction que les périodes de développement embryonnaire et larvaire. Snucins *et al.* (1992) ont observé une période d'émergence s'étalant sur 71 jours dans une étude en Ontario. De façon générale, la période d'émergence reste critique pour l'omble de fontaine et le laps de temps qui s'écoule entre la sortie du gravier et les premières tentatives d'alimentation est en relation directe avec sa survie (Grant et Noakes 1987).

Les mécanismes qui régissent l'émergence des larves n'ont jamais été confirmés (Curry *et al.* 1991; Curry *et al.* 1995). On sait qu'elle coïncide avec le dégel printanier et l'augmentation de la vitesse du courant qui s'en suit (Snucins *et al.* 1992). La période d'émergence pourrait être conditionnée à l'origine par le moment de la fraye d'automne, qui permettrait aux larves d'atteindre le stade d'émergence avant la crue printanière (Kondolf *et al.* 1991). Curry *et al.* (1991) ont pour leur part observé lors d'une étude de la chronologie de l'émergence que celle-ci était liée au débit de la rivière et qu'elle augmentait après le pic de la crue printanière. Ce pic provoque un ensablement important qui entraînerait l'émergence. Chez l'omble de fontaine, l'augmentation de l'émergence dans les rivières serait donc fonction de la diminution du courant suivant le pic de la crue printanière. Les effets de l'ensablement sur la durée d'incubation ont aussi été mis en évidence par Hausle et Coble (1976) ainsi que par Witzel et MacCrimmon (1983). Ceux-ci attribuent à l'ensablement une émergence prématuée. Bardonnet *et al.* (1993) proposent plutôt qu'après la résorption du sac vitellin, l'alimentation exogène deviendrait essentielle, ce qui suggère que la motivation physiologique à l'émergence serait la faim.

1.2.3.3 Dévalaison des larves

Lorsqu'elles émergent du gravier, il est important pour les larves de trouver un site d'alimentation puisque le jeûne est la principale cause de mortalité chez les jeunes (Grant et Noakes 1987). Le courant que doivent affronter les larves à leur sortie du gravier et la

compétition pour l'obtention des sites d'alimentation sont les deux causes majeures qui peuvent intervenir dans le temps que mettra une larve pour commencer à s'alimenter (Grant et Noakes 1987).

Crisp et Hurley (1991) mentionnent qu'immédiatement après l'émergence du gravier, les jeunes salmonidés choisissent un territoire d'alimentation et adoptent un comportement territorial conduisant à la défense de ce dernier. Ainsi, les individus qui ne réussissent pas à acquérir un territoire sont soumis à la dévalaison. Cette dévalaison peut les amener sur des zones encore libres de compétition ou causer leur mortalité par un jeûne prolongé ou par l'exposition aux prédateurs.

Crisp et Hurley (1991) soutiennent que le phénomène de compétition-dévalaison est le principal moyen de régulation des populations chez les jeunes salmonidés. La dévalaison pourrait aussi être un excellent moyen de dispersion des populations de larves qui se retrouvent en grande densité sur les sites de reproduction (Crisp et Hurley 1991). Bardonnèt (1993) mentionne quant à lui que les larves de salmonidés, contrairement à celles d'autres espèces se reproduisant en eau courante, émergent près des emplacements propices à leur alimentation. Haggens et Traaen (1988) ont démontré que les ombles de fontaine récemment émergés sont capables d'affronter des vitesses de courant maximales variant entre 13 et 23 cm/s, selon la condition des individus et la température de l'eau. Ils mentionnent aussi que la dévalaison commence à 70 % de la vitesse critique.

1.2.3.4 Comportements alimentaires des larves

La nourriture des larves d'omble de fontaine est constituée principalement d'invertébrés qui sont soit benthiques, soit en dérive dans la colonne d'eau et à la surface de l'eau. Les larves capturent leurs proies selon deux comportements alimentaires de base : la chasse à l'affût et la chasse active (Grant et Noakes 1987). McNicol *et al.* (1985) estiment cependant que les larves sont typiquement des chasseurs d'affût. Leurs observations ont démontré que 80 % des efforts d'alimentation vont sur des proies en dérive sous la surface. Dès l'émergence, chaque individu

adoptera un type d'alimentation en particulier. Des diètes différentes ont été observées chez des individus capturés le même jour sur le même site d'alimentation (McLaughlin *et al.* 1994). Toutefois, l'importance relative des facteurs environnementaux et phénotypiques dans la détermination des comportements alimentaires demeure incertaine (McLaughlin *et al.* 1994). On peut penser que les individus les plus précoces s'approprieront les sites d'alimentation les plus propices et les plus susceptibles d'assurer leur survie et que les territoires conquis par les individus constituent des ressources qui sont défendables d'un point de vue coûts-bénéfices (McNicol et Noakes 1981). La dimension des territoires défendus est influencée par la vitesse du courant (McNicol et Noakes 1984). Il semble cependant qu'il n'y ait pas de liens directs entre le type d'alimentation et la croissance des individus (McLaughlin *et al.* 1994). Par contre, les caractéristiques des poissons et les conditions environnementales peuvent influencer le taux d'alimentation qui lui, peut affecter l'activité (Boisclair 1992).

Par ailleurs, Grant et Noakes (1987) suggèrent que les ombles de fontaine peuvent facilement passer d'une alimentation passive à une alimentation active. Puisqu'en rivière l'affût exige une certaine activité pour résister au courant, la barrière physiologique entre l'alimentation à l'affût et l'alimentation active serait facile à franchir. De plus, les sites de chasse à l'affût les plus convoités seraient ceux qui apportent le plus de nourriture en suspension, donc ceux qui affichent un plus grand courant (Grant 1990).

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 Site de l'étude

Cette étude a été réalisée de mai 1995 à mai 1997 au lac Saint-Michel, ($47^{\circ} 10' N$, $71^{\circ} 02' O$), un lac de 212 hectares situé au nord de la ville de Québec (Québec, Canada). La frayère aménagée s'étale sur 150 m, sa largeur varie entre 4 m et 9 m et sa profondeur entre 0,20 m et 1,5 m lors de la période estivale (Annexe 2).

2.2 Migrations de reproduction

2.2.1 Barrière de comptage

Pour dénombrer les reproducteurs qui se sont présentés sur la frayère au cours des automnes 1995 et 1996, un dispositif de clôtures et de trappes a été érigé à l'embouchure de la rivière. Ce dispositif, comportant des ouvertures vers l'aval et vers l'amont, a permis de capturer puis de relâcher dans le sens de leurs déplacements tous les ombles se dirigeant soit vers l'aval pour accéder à la frayère, soit vers l'amont pour retourner au lac. Les clôtures, fabriquées de grillage métallique, étaient fixées aux berges et disposées en entonnoir pour forcer les reproducteurs en migration à pénétrer dans une structure métallique de 3 m de longueur x 1,5 m de largeur x 1,5 m de hauteur. Cette structure soutenait deux cages de rétention amovibles de 1 m de longueur x 50 cm de largeur x 20 cm de hauteur fabriquées de grillage métallique enduit de caoutchouc. Les cages étaient vidées à chaque jour quand les déplacements étaient moins nombreux et deux fois par jour durant les pics de migration. Les poissons étaient transférés dans un bac de plastique d'où ils étaient directement manipulés.

2.2.2 Marquage et prises des données

Suite à leur capture, les poissons étaient sexés, mesurés au millimètre près (longueur totale), pesés au gramme près, puis marqués, sans anesthésie, par des coupes de nageoires pour

comptabiliser leurs déplacements amont-aval. Lors du premier passage, la nageoire adipeuse était coupée. Aux passages subséquents, les coupes de nageoires étaient réalisées dans l'ordre suivant : moitié de la pelvienne droite, moitié de la pelvienne gauche, totalité de la pelvienne droite, totalité de la pelvienne gauche. À leur retour vers le lac, les individus étaient comptabilisés en fonction de leur sexe, de leur longueur, de leur poids et des coupes de nageoires. Ces manipulations ont permis d'établir les relations entre les déplacements des individus, leur sexe et leur taille. Elles ont aussi permis de déterminer le patron de migration temporel de la fraye.

2.2.3 Cycles nycthéméraux

À l'automne 1996, le décompte des reproducteurs s'est fait à 16h, 20h, 24h, 4h, 8h et 12h pour les périodes du 20 au 21 septembre, du 30 septembre au 1^{er} octobre, du 4 au 5 octobre et du 9 au 10 octobre. Ces informations ont permis de déterminer les périodes d'activité des reproducteurs en migration.

2.3 Sélection des sites de fraye

2.3.1 Cartographie de la frayère

Une carte de la rivière a été réalisée dans le but de faciliter la prise des données comportementales et la caractérisation physique de la frayère. Une corde de nylon marquée à tous les 10 mètres a été tendue d'un bout à l'autre de la rivière pour servir de point de repère fixe pour la prise des mesures. La dénivellation de la rivière a été déterminée à l'aide d'un théodolite. Les mesures récoltées ont été rapportées sur une carte à l'échelle 1: 33 (Annexe 2).

2.3.2 Identification des sites de fraye

Pendant la période de fraye, des observations ont été faites pour localiser les zones où se retrouvaient les plus grandes concentrations de reproducteurs. Un dénombrement visuel des

individus sur chacun des sites de fraye a été effectué les 3, 4, 5, 9 et 11 octobre 1996 par deux observateurs indépendants sur 18 sections prédéterminées de la frayère. Ces informations ont été reportées sur la carte de la frayère (Annexe 2). Les surfaces des sections ont été établies par planimétrie.

À la fin de la période de fraye, des mesures ont été faites sur les zones de la rivière où des pontes avaient eu lieu. Les dimensions de ces zones ont été mesurées pour estimer la surface totale de la frayère effectivement utilisée par les reproducteurs pour la ponte (Annexe 2).

2.3.3 Compétition pour les sites de fraye

La compétition pour les sites de fraye a été étudiée à partir des observations comportementales, du décompte de reproducteurs par section et des mesures de surfaces utilisées pour la fraye. En mettant en relation l'aire d'un nid type et le nombre de poissons frayant dans une section de la rivière il a été possible d'établir si la surface utilisée par les poissons est proportionnelle au nombre de poissons qu'on y trouve.

2.3.4 Caractéristiques physiques des zones de fraye

Une caractérisation de la rivière a permis de comparer les sites préférentiels à ceux non sélectionnés par les reproducteurs. Sur l'ensemble des sites, les profondeurs ont été mesurées de même que les vitesses de courant avec un appareil de type "Mini current meter", modèle 1205. Une évaluation visuelle de la rivière a aussi été faite pour noter la nature du substrat, la morphologie des berges et la présence d'abris.

2.4 Montaison et dévalaison des juvéniles

2.4.1 Méthode de capture

Afin d'estimer la contribution effective de la frayère au lac Saint-Michel, 24 trappes à alevins

semblables à celles décrites par Breder (1960) ainsi que par Bagenal et Braum (1978) ont été disposées dans la rivière le 13 mai en 1995 et le 12 mai en 1996, en six transects de quatre trappes chacun répartis à distances équivalentes, de l'embouchure du lac jusqu'à une distance de 150 m . L'ouverture arrière des trappes avaient été modifiées par la pose d'un moustiquaire pour réduire la pression engendrée par le courant. Trois des séries de trappes ont été disposées afin de capturer les juvéniles en dévalaison, en alternance avec les trois autres séries qui ont été orientées pour capturer les juvéniles en montaison. Pour chaque série de trappes, deux ont été disposées de façon à échantillonner les zones de courant rapide, vers le centre de la rivière, alors que les deux autres échantillaient les zones de courant plus lent, près des berges. Tous les juvéniles capturés ont été comptabilisés. Les trappes ont été levées tous les jours en fin de journée, sauf à quelques occasions où elles ont été levées aux deux jours. Les trappes ont été laissées dans la rivière jusqu'au 30 juin en 1995 et jusqu'au 11 juillet en 1996. À la suite de ces échantillonnages, les proportions de juvéniles en dévalaison et en montaison ont été calculées.

2.4.2 Description des couloirs de migration

La disposition des trappes dans la rivière a contribué à l'évaluation des corridors de migration empruntés par les juvéniles. Pour chacune des trappes, les vitesses de courant et les profondeurs d'eau ont été mesurées à sept reprises au cours de la période d'échantillonnage, soit de la période de crue jusqu'à la période d'étiage.

2.5 Estimation de la production potentielle de la frayère étudiée

2.5.1 Évaluation de la fécondité des femelles

Pour évaluer la fécondité moyenne des individus qui ont utilisé la frayère, 29 femelles choisies dans différentes classes de tailles durant toute la période de fraye ont été sacrifiées en 1995 et 27 en 1996. Après avoir noté leur longueur et leur poids, leurs oeufs ont été prélevés puis conservés dans du liquide de Gilson (Bagenal et Braum 1978) pour dénombrement ultérieur.

Leur dénombrement s'est fait par comptage de tous les oeufs. La production potentielle d'embryons de la frayère a été déterminée en multipliant le nombre total de femelles s'étant rendues sur la frayère par la valeur de leur production moyenne d'œufs.

2.5.2 Échantillonnage des larves

Au printemps 1997, un échantillonnage des larves a été réalisé à l'aide d'un filet Surber avant la période prévue de l'émergence. Dix neuf transects ont été tracés perpendiculairement aux berges et ont été répartis de façon équidistante de l'embouchure de l'émissaire jusqu'à 150 m en aval. Deux échantillons ont été prélevés dans des zones sélectionnées et non sélectionnées par les reproducteurs sur chacun des transect pour un total de 38 échantillons. Cet échantillonnage a permis de vérifier la présence de larves dans les zones sélectionnées lors de la fraye de l'automne 1996 et de comparer l'abondance des larves entre les différentes zones utilisées. Cet échantillonnage a également permis d'estimer la production en larves du site de reproduction, en comparant la surface totale d'échantillonnage à la surface totale de la frayère.

2.6 Analyses statistiques

Nous avons utilisé des test de χ^2 pour déterminer si la proportion des reproducteurs mâles et femelles (1) en montaison, (2) marqués en dévalaison et (3) à déplacements multiples ont été homogènes entre les deux années d'échantillonnage. Nous avons aussi utilisé un test du χ^2 pour déterminer si l'activité des reproducteurs en migration était homogène en fonction de différentes périodes de la journée.

Dans le volet de la sélection des sites de fraye, les données de vitesses de courant ont été transformées pour s'approcher de la normalité et l'homogénéité des variances a été vérifiée à l'aide d'un test Fmax (Sokal et Rohlf 1981). Un test de t a servi à établir s'il y avait des différences entre les vitesses et les profondeurs moyennes des sites sélectionnés et non sélectionnés. Une régression linéaire simple a été établie entre le nombre de reproducteurs et la superficie des sections ainsi qu'entre le nombre de reproducteurs et la superficie de la zone de

fraye. Enfin une matrice de corrélations de Pearson a été réalisée à partir des variables indépendantes mesurées dans les sections de la frayère.

Pour le volet de l'étude de la distribution des juvéniles, un test de χ^2 a été utilisé pour déterminer si les proportions de juvéniles capturés près du rivage et au centre de la rivière étaient homogènes pour les années 1995 et 1996. Un test de t a servi à établir s'il y avait des différences entre la vitesse et la profondeur près du rivage et au centre de la rivière. L'homogénéité des variances a été vérifiée à l'aide d'un test Fmax (Sokal et Rohlf 1981). Des matrices de corrélations de Pearson ont été réalisées à partir des variables mesurées dans la frayère lors de la montaison des juvéniles ainsi qu'avec les variables recueillies lors de la dévalaison des juvéniles.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 Migrations de reproduction

3.1.1 Nombre de reproducteurs entrés sur la frayère en 1995 et 1996

En 1995, 745 poissons ont été marqués à leur entrée sur la frayère comparativement à 1148 en 1996 (Tableau 1). Pour les deux années, des poissons sont retournés vers le lac sans avoir été marqués (Tableau 1).

Les variations observées dans les dénombrem ents d'ombl es de fontaine reproducteurs peuvent avoir été causées par différents facteurs entre les périodes de fraye de 1995 et 1996. D'abord, le dispositif de capture de 1995 s'est avéré moins efficace que celui de 1996. En 1995, les cages de rétention de reproducteurs, faites de filet, ont subi des dommages par des rats musqués (*Ondatra zibethicus*) et des visons (*Mustela vison*). Les brèches faites par ces mammifères ont sans doute permis à une quantité appréciable de reproducteurs d'échapper au dénombrement. En 1996, le dispositif de capture a été modifié et les cages de rétention de filet ont été remplacées par des cages submersibles, fabriquées de grillage métallique enduit de caoutchouc. En plus des bris causés au filet, une crue importante est survenue suite à d'abondantes pluies dans la seconde moitié de la période de reproduction de 1995. Des ombl es ont alors pu circuler par dessus le système de capture pendant 3 à 4 jours. Des correctifs ont été apportés en 1996 pour prévenir ce problème.

On peut considérer que tous les reproducteurs qui ont accédé à la frayère en 1996 ont été dénombrés. Puisqu'une cascade infranchissable située à 250 m en aval de l'embouchure de la rivière limite l'accès aux poissons venant du réseau hydrographique, on peut assumer que tous les reproducteurs ayant accédé à la frayère proviennent du lac Saint-Michel. Pour la saison 1996, les différences qui existent entre le nombre de reproducteurs déterminé à l'entrée et à la sortie de l'habitat de fraye peuvent être en partie expliquées parce que, selon nos observations

Tableau 1. Nombre de reproducteurs en montaison et en dévalaison sur la frayère du lac Saint-Michel, automnes 1995 et 1996.

	Année	Mâles	Femelles	Total	χ^2
Reproducteurs en montaison	1995	373	372	745	0,41
	1996	592	556	1148	
Reproducteurs marqués en dévalaison	1995	73	113	186	7,33
	1996	423	419	842	
Reproducteurs non marqués en dévalaison	1995	-	-	162	
	1996	-	-	306	
Reproducteurs à déplacements multiples	1995	188	55	243	0,69
	1996	106	38	144	
Reproducteurs marqués en 1995	1996	43	39	72	

des ombles sont demeurés dans la rivière quelques jours après la période de fraye et le démantèlement des installations de capture. De plus, il est probable que des ombles se soient trouvés dans la portion de 100 m, entre la zone de fraie proprement dite et la cascade située à 250 m de l'embouchure du lac, lors de l'installation de la barrière de comptage. La campagne d'échantillonnage de 1996 a permis un décompte de reproducteurs retournant au lac significativement différents de celui de 1995 ($\chi^2 = 7,33$; $p < 0,05$; Tableau 1). Les valeurs pour les 2 années diffèrent pour les mêmes raisons que mentionné précédemment.

Les rapports des sexes observés chez les reproducteurs ont été de 1:1 pour les deux années ($\chi^2 = 0,41$; $p > 0,05$; Tableau 1). Bien que Scott et Crossman (1974) mentionnent que les mâles surpassent souvent les femelles en nombre, Fraser (1985) rapporte avoir observé un rapport de 1:1 lors d'une étude conduite en Ontario.

3.1.2 Chronologie de la migration

3.1.2.1 Entrée des reproducteurs en fonction du temps et de la température de l'eau

La période d'échantillonnage de l'automne 1995 (Figure 1) s'est déroulée pendant 40 jours alors que celle de 1996 a duré 48 jours (Figure 2). Les premières entrées massives ont été relevées le 15 septembre en 1995 et le 14 septembre en 1996. Les maximums d'entrées sont survenus le 2 octobre en 1995 et le 1er octobre en 1996. Les températures de l'eau pour ces deux journées étaient respectivement de 9 et 10°C. Au cours des deux périodes de reproduction, les activités de migration ont débuté lorsque la température de l'eau a descendue à 13°C.

En 1995, le dispositif de capture a été érigé le 14 septembre alors que l'eau était à 13°C. Dès le lendemain, des entrées massives de reproducteurs ont été enregistrées. Aucune observation préalable au 14 septembre n'avait laissé prévoir cette arrivée massive de reproducteurs. À cause de cette installation tardive du système de capture, il est impossible de juger avec précision du moment des premiers déplacements de reproducteurs vers la frayère pour cette année. Par contre, en 1996, le dispositif de capture a été monté dès la fin août et les premières migrations

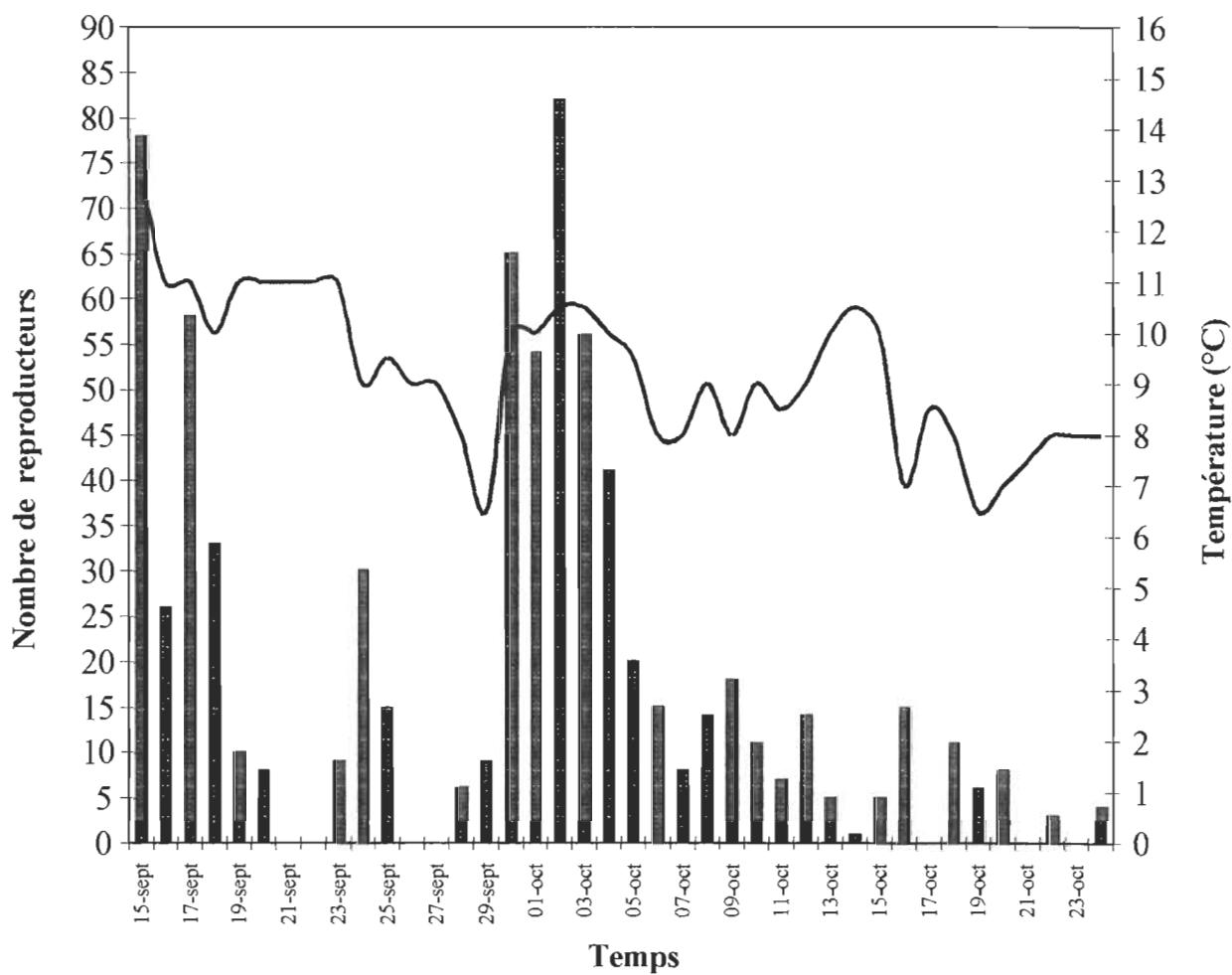


Figure 1. Nombre de reproducteurs mâles et femelles entrés sur la frayère en fonction du temps et de la température de l'eau, automne 1995.

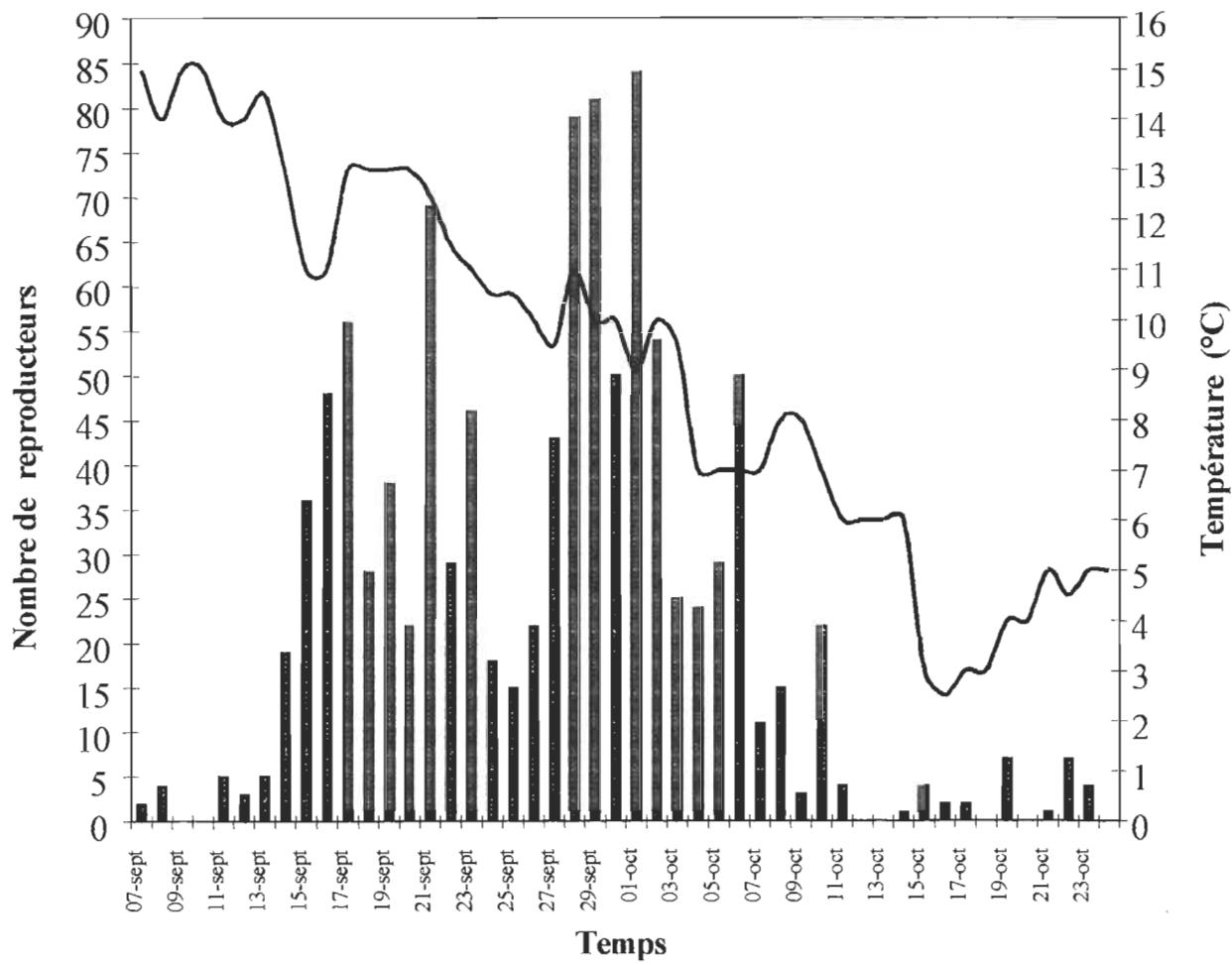


Figure 2. Nombre de reproducteurs mâles et femelles entrés sur la frayère en fonction du temps et de la température de l'eau, automne 1996.

de reproducteurs vers les sites de fraye ont débuté dans la deuxième semaine de septembre, lorsque la température de l'eau a descendue à 13°C. La baisse de température de l'eau à environ 13°C pourrait être un des éléments déclencheurs des activités de fraye sur ce site. Au cours des deux années de dénombrement, les activités de fraye se sont déroulées jusqu'à la troisième semaine d'octobre alors que la température de l'eau se trouvait à environ 7°C en 1995 et 5°C en 1996. Dans cette région, la température de l'eau baisse rapidement à partir de ce moment et le couvert de glace s'installe sur le lac dès le mois de novembre.

Des pics de montaison ont été observés vers le 1^{er} octobre à chacune des deux années. À ces périodes, la température de l'eau se situait à 9°C en 1995 et à 10°C en 1996. Ce seuil d'environ 10°C marquait les maximums d'entrées sur la frayère et c'est à partir de ce moment que les ombles semblaient les plus actifs pour la fraye. Les comportements territoriaux, reproducteurs et de préparation des nids étaient alors plus nombreux et les densités de poissons dans les sites préférentiels étaient à leur maximum. Selon Scott et Crossman (1978), la température létale supérieure des oeufs en voie de développement est d'environ 11,7°C. La ponte pourrait donc avoir lieu en deçà de cette limite.

3.1.2.2 Entrée des reproducteurs en fonction de la taille et du sexe des individus

Lors des deux années, les femelles et les mâles ont commencé à se présenter sur la frayère dès le début des périodes de reproduction (figures 3, 4, 5 et 6). Les patrons de distribution des classes de tailles des femelles sont similaires pour 1995 et 1996 (figures 3 et 4) tout comme ceux des mâles pour les mêmes périodes (figures 5 et 6). Pour ces deux années, les ombles femelles se sont présentées sur la frayère sans patron de tailles défini en regard de la période de fraye. Par contre, la taille des mâles a diminué au fur et à mesure que la fraye avançait. Castonguay *et al.* (1982) ainsi que Trépanier *et al.* (1995) ont observé une diminution de la taille des reproducteurs en migration vers leurs sites de fraye en fonction du temps, chez l'omble de fontaine anadrome et chez la ouananiche (*Salmo salar*) respectivement. L'étude de Trépanier *et al.* (1995), qui suggère que des variations de vitesse du courant influencent les mouvements migratoires de fraye des poissons de différentes tailles, a toutefois été réalisée dans un cours

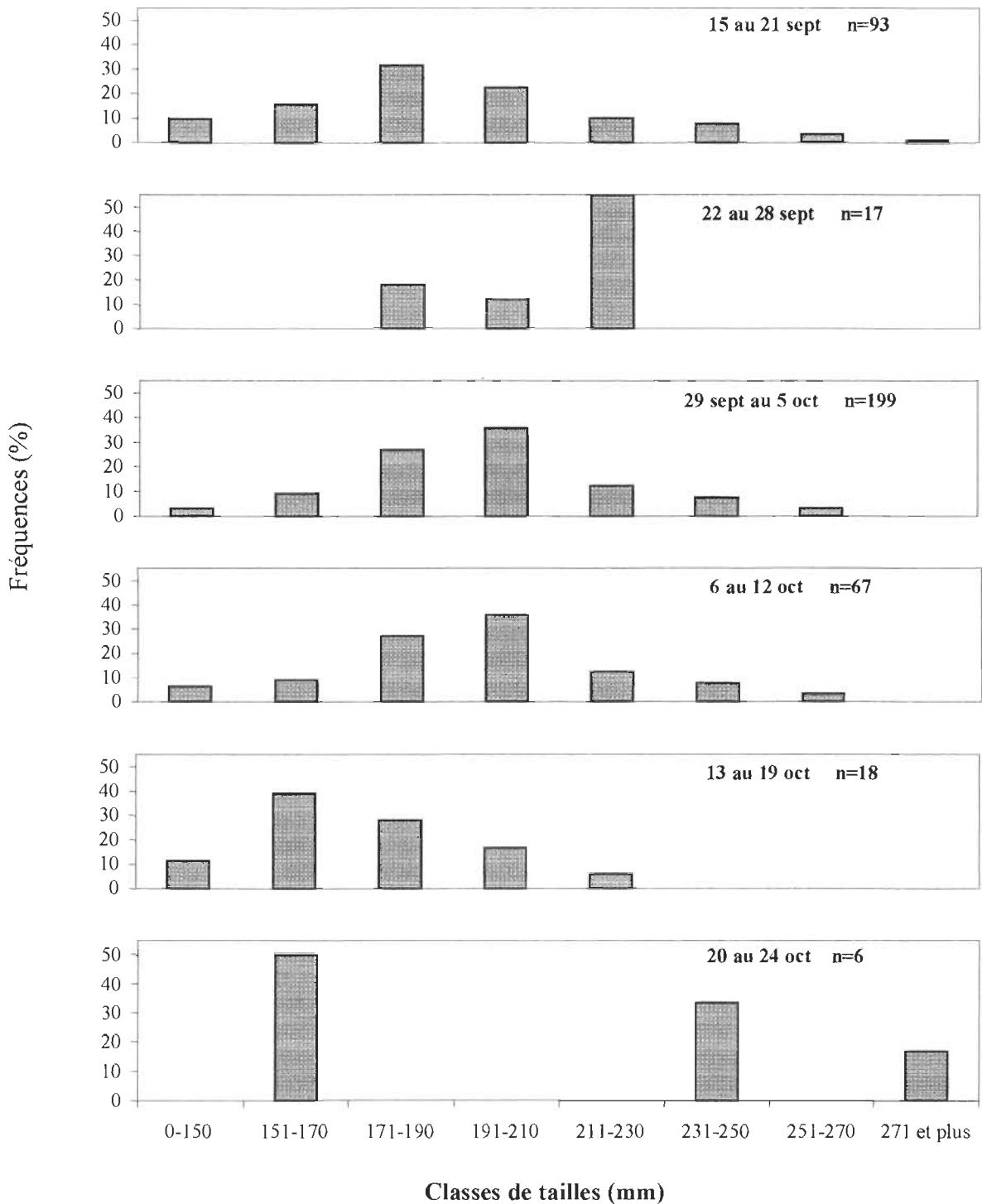


Figure 3. Fréquences d'entrée des reproducteurs femelles sur la frayère à l'étude en fonction de différentes classes de tailles, automne 1995.

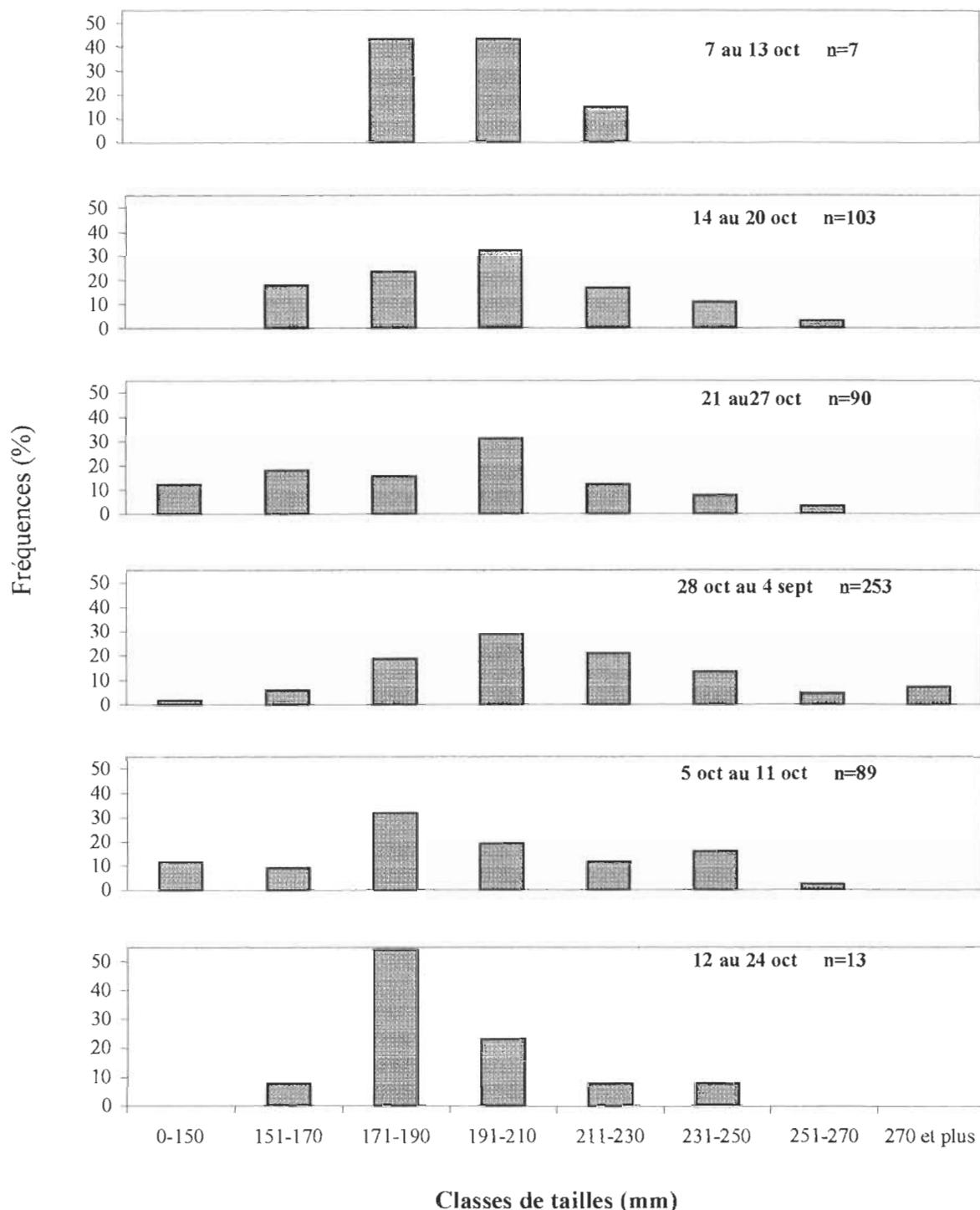


Figure 4. Fréquences d'entrée des reproducteurs femelles sur la frayère à l'étude en fonction de différentes classes de tailles, automne 1996.

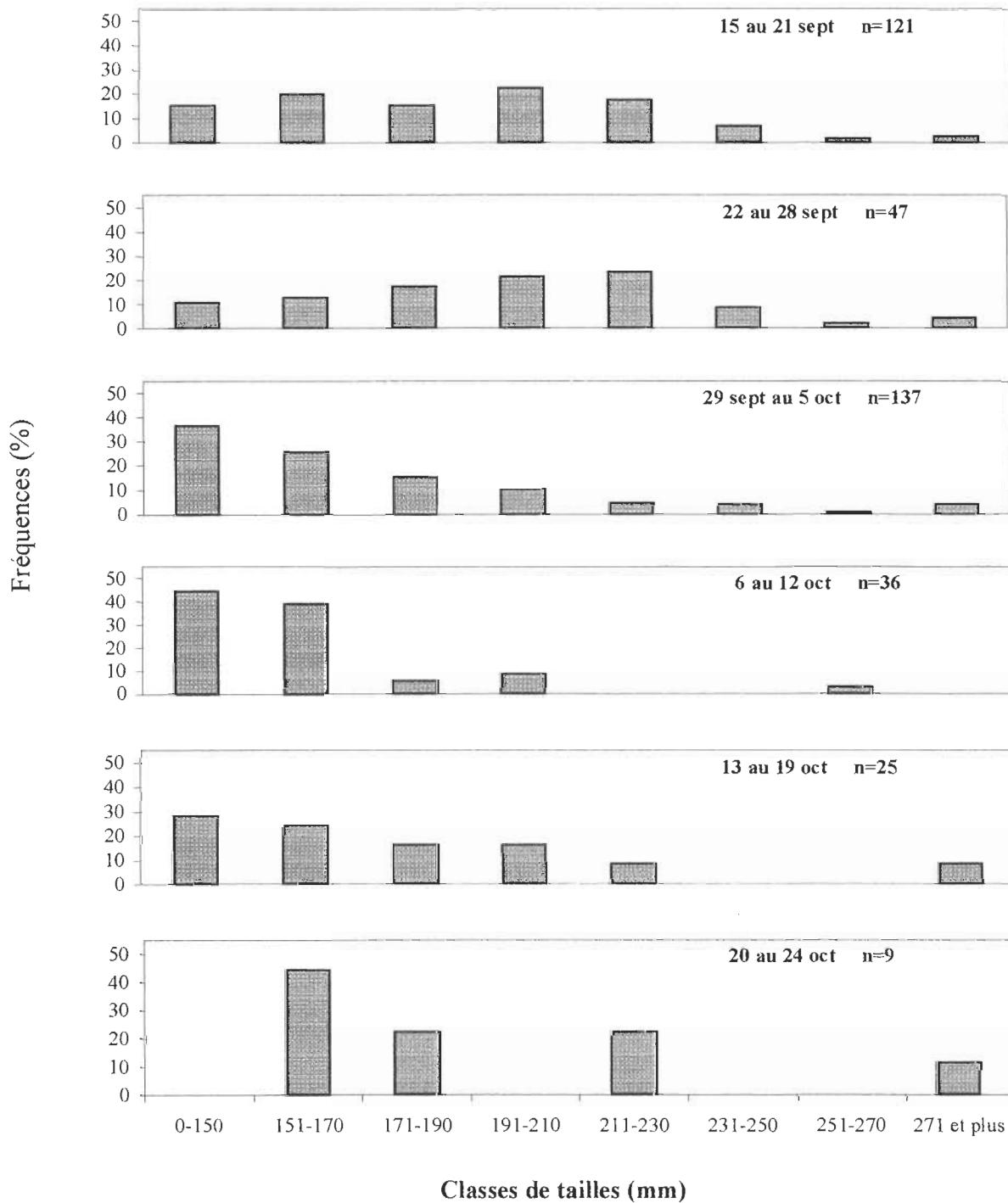


Figure 5. Fréquences d'entrée des reproducteurs mâles sur la frayère à l'étude en fonction de différentes classes de tailles, automne 1995.

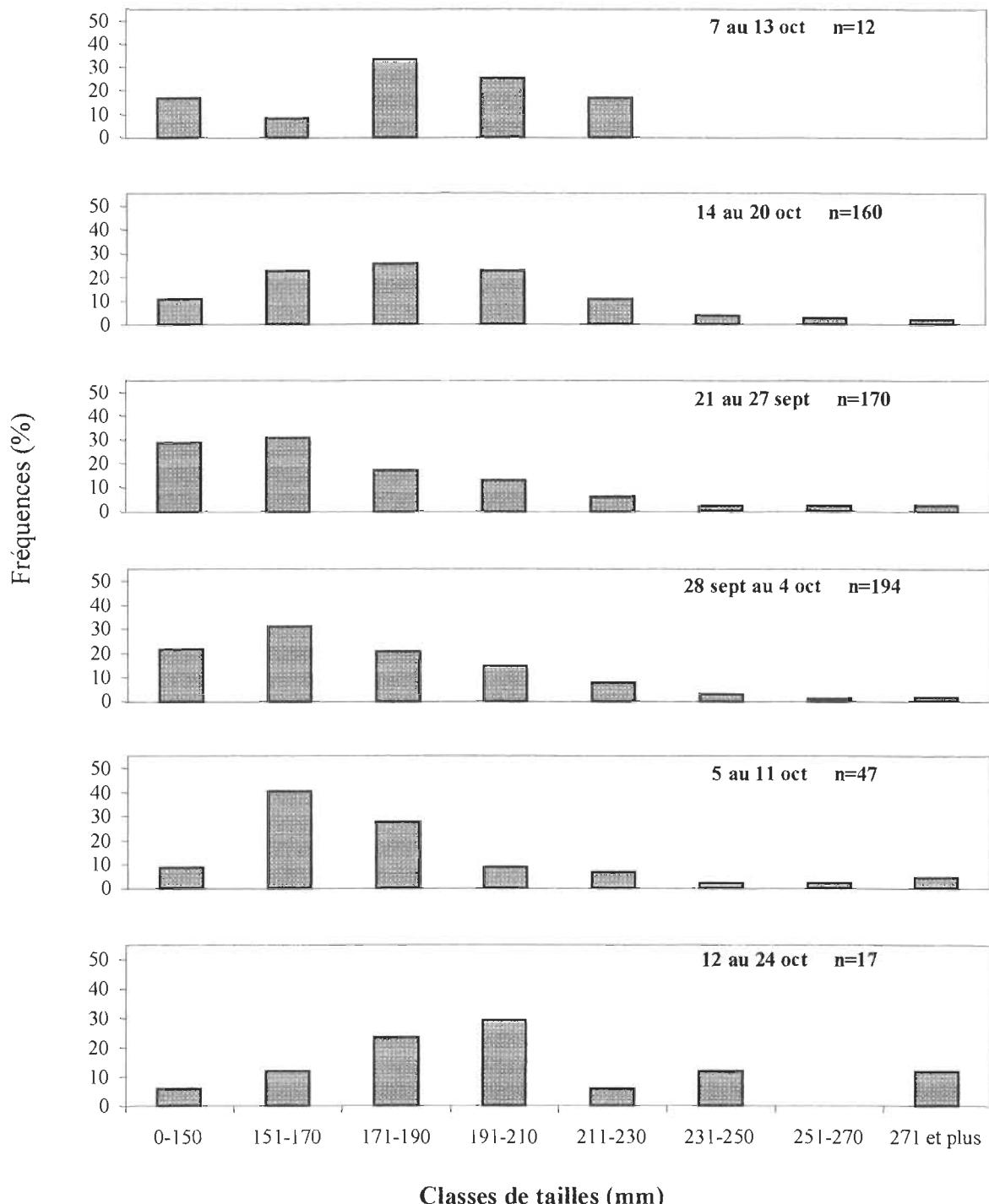


Figure 6. Fréquences d'entrée des reproducteurs mâles sur la frayère à l'étude en fonction de différentes classes de tailles, automne 1996.

d'eau où les poissons devaient remonter le courant. Dans le cas du lac Saint-Michel, les poissons doivent se diriger vers l'aval pour atteindre le site de fraye, ce qui diminue leurs possibilités de détecter des variations de vitesse du courant. Par ailleurs, l'arrivée plus hâtive des gros reproducteurs sur la frayère pourrait être liée à leur plus grande efficacité énergétique. Suite à leurs études sur le saumon Atlantique, Hawkins et Smith (1986) ont proposé que les plus gros poissons, possédant de plus grandes réserves énergétiques et un métabolisme de maintien par unité de poids moindre que les petits spécimens, seraient en mesure d'affronter plus longtemps le courant qui prévaut sur les sites de fraye. En se présentant plus rapidement dans les frayères, les plus gros mâles pourraient sélectionner les sites préférentiels et ainsi avoir la possibilité de s'accoupler dès que des femelles arrivent sur la frayère.

Parmi tous les poissons recensés en 1995 et 1996, une plus grande proportion d'individus de moins de 17 cm ont été retrouvés chez les mâles. Ces jeunes mâles, vraisemblablement des 1+ se tenaient à proximité des couples établis et profitaient de l'inattention des mâles dominants pour s'approcher des femelles. Plusieurs de ces jeunes mâles peuvent fertiliser une même femelle en même temps que le mâle dominant (Curry, 1993). Les manipulations ont démontré que ces jeunes mâles étaient féconds malgré leur petite taille.

3.1.3 Mouvements amont-aval et retour annuel des reproducteurs

Malgré l'augmentation du nombre de poissons marqués en 1996, les proportions d'omble qui ont effectué des déplacements multiples ont été comparables au cours des deux années ($\chi^2 = 4,15$; $p < 0,05$; Tableau 2) et les mâles ont été plus actifs que les femelles (1995: $\chi^2 = 11,11$; $p < 0,05$; 1996: $\chi^2 = 7,9$; $p < 0,05$; Tableau 2).

Les observations ont démontré que les poissons établissaient des nids à proximité de l'amont et de l'aval du dispositif de capture. Il est possible que les déplacements multiples aient été en réalité des déplacements de poissons à la recherche d'un territoire. On remarque aussi, à l'analyse des résultats, que plusieurs omble, soit 36 % des poissons en 1996, ont quitté la frayère sans avoir subi de coupes de nageoires. Lors d'observations préalables à la période de

Tableau 2. Décompte des reproducteurs à déplacements multiples sur la frayère du lac Saint-Michel, automnes 1995 et 1996

	1995 (n=243)				1996 (n=144)			
	2	3	4	5	2	3	4	5
Nombre de passages								
Femelles	49	5	1	0	37	1	0	0
Mâles	124	42	15	7	78	21	5	2
Total	173	47	16	7	115	22	5	2

fraye, plusieurs ombles ont été localisés dans la frayère. Ces ombles ont été confinés dans la rivière, y compris dans la portion de 100 m située entre la cascade et la frayère proprement dite, par l'installation du dispositif de capture, puis dénombrés à leur retour au lac. Il s'agissait presque toujours de poissons 1+, probablement résidents de la rivière pendant l'été. Tous les poissons, juvéniles et adultes, quittent la rivière pour la période hivernale et aucune observation de poissons n'a été faite dans la rivière ultérieurement à la période de fraye.

En 1996, lors du deuxième automne de dénombrement, 72 ombles de fontaine marqués en 1995 se sont à nouveau présentés sur la frayère (Tableau 1). Ce nombre représente 6 % du nombre total de reproducteurs dénombrés en 1996 et environ 10 % de ceux qui ont été marqués en 1995. Pour expliquer cette observation, on peut avancer comme première hypothèse que ces poissons sont disparus par des causes naturelles ou suite aux activités de pêche sportive entre 1995 et 1996. Par ailleurs, une analyse de la structure d'âge des populations d'ombles de fontaine du lac Saint-Michel par lectures d'otolithes réalisée à l'été 1996 (Labrie, communication personnelle) a démontré que les plus vieux poissons retrouvés dans ce lac étaient âgés de 4 ans (4+). Ce cycle vital court implique un renouvellement rapide des individus, ce qui favorise l'apparition d'un grand nombre de nouveaux reproducteurs à chaque année dans ce site de fraye.

Les prises de données sur les reproducteurs en migration ont aussi démontré qu'un grand nombre de reproducteurs dont la taille laissait croire qu'ils pouvaient en être à leur deuxième ou troisième saison de reproduction ont été marqués pour la première fois en 1996. Il a été mentionné plus haut que des problèmes d'étanchéité du système de capture sont survenus en 1995. Ces problèmes ont pu permettre à certains reproducteurs d'échapper au marquage et ainsi de pouvoir se présenter sur la frayère en 1996, sans marque de leur précédent passage sur la frayère. Par ailleurs, selon Power (1980), il est possible qu'à cause de conditions environnementales défavorables les ombles ne puissent frayer qu'aux deux ans. La saison de croissance très courte qui prévaut au lac Saint-Michel pourrait provoquer ce phénomène et expliquer pourquoi certains poissons frayeraient pour la première fois à trois ans. Par contre, le nombre important de petits individus (classe de taille 0-15 cm; figure 5) matures suggère que les poissons du lac Saint-Michel sont aptes à se reproduire très jeunes.

On peut aussi émettre l'hypothèse que ces reproducteurs aient précédemment fréquenté d'autres sites de fraye. De 1985 à 1986, un nouveau barrage a été érigé au lac Saint-Michel afin d'en stabiliser le niveau (Craig et Dulude 1995). Cette stabilisation à la hausse du niveau du lac semble avoir permis la formation de sites de fraye en plusieurs endroits de la zone littorale du lac (F. Guillemette communication personnelle). Un projet de recherche sur ces sites de fraye est présentement en cours. Essington *et al.* (1998) ont émis comme hypothèse que le choix d'un site de fraye par les ombles de fontaine pourrait être influencé par la présence de nids existants. Ce phénomène pourrait ainsi influencer la dynamique de dispersion des reproducteurs sur l'ensemble des sites de fraye du lac et expliquer, en partie, pourquoi certains reproducteurs se sont présentés sur la frayère à l'étude pour la première fois, à leur troisième ou quatrième année de vie. De plus, un suivi réalisé durant la saison de pêche de l'été 1996 a permis de localiser des poissons marqués l'automne précédent partout autour du lac, y compris dans les zones les plus éloignées, c'est-à-dire à plus de 3 km du site à l'étude. Ces longs déplacements augmentent les probabilités que des reproducteurs aient pu être en contact avec des poissons en activités de fraye sur différents sites du lac.

3.1.4 Activités nycthémérales des ombles reproducteurs

À l'automne 1996, les résultats de quatre journées d'échantillonnage montrent que les ombles n'ont pas effectué leurs déplacements au hasard en fonction des différentes périodes de la journée (Figure 7; $\chi^2 = 98,7$; $p < 0,05$). Un plus grand nombre de reproducteurs ont effectué leurs déplacements entre 20h et 8h. Ces résultats suggèrent que les ombles de fontaine profitent de la période entre le crépuscule et l'aube pour effectuer des déplacements et être probablement plus actifs dans leurs activités de fraye. Comme les activités de fraye obligent en général les ombles à se regrouper, il pourrait s'agir d'un comportement visant à diminuer le risque de prédation (Curry 1993). Bien que Scott et Crossman (1974) affirment que les ombles frayent le jour, Curry (1993) a proposé cette hypothèse pour expliquer le fait que les accouplements surviennent pendant la période nocturne. Castonguay *et al.* (1982) ont aussi observé une plus grande activité de migration de fraye la nuit chez des ombles de fontaine anadromes dans la

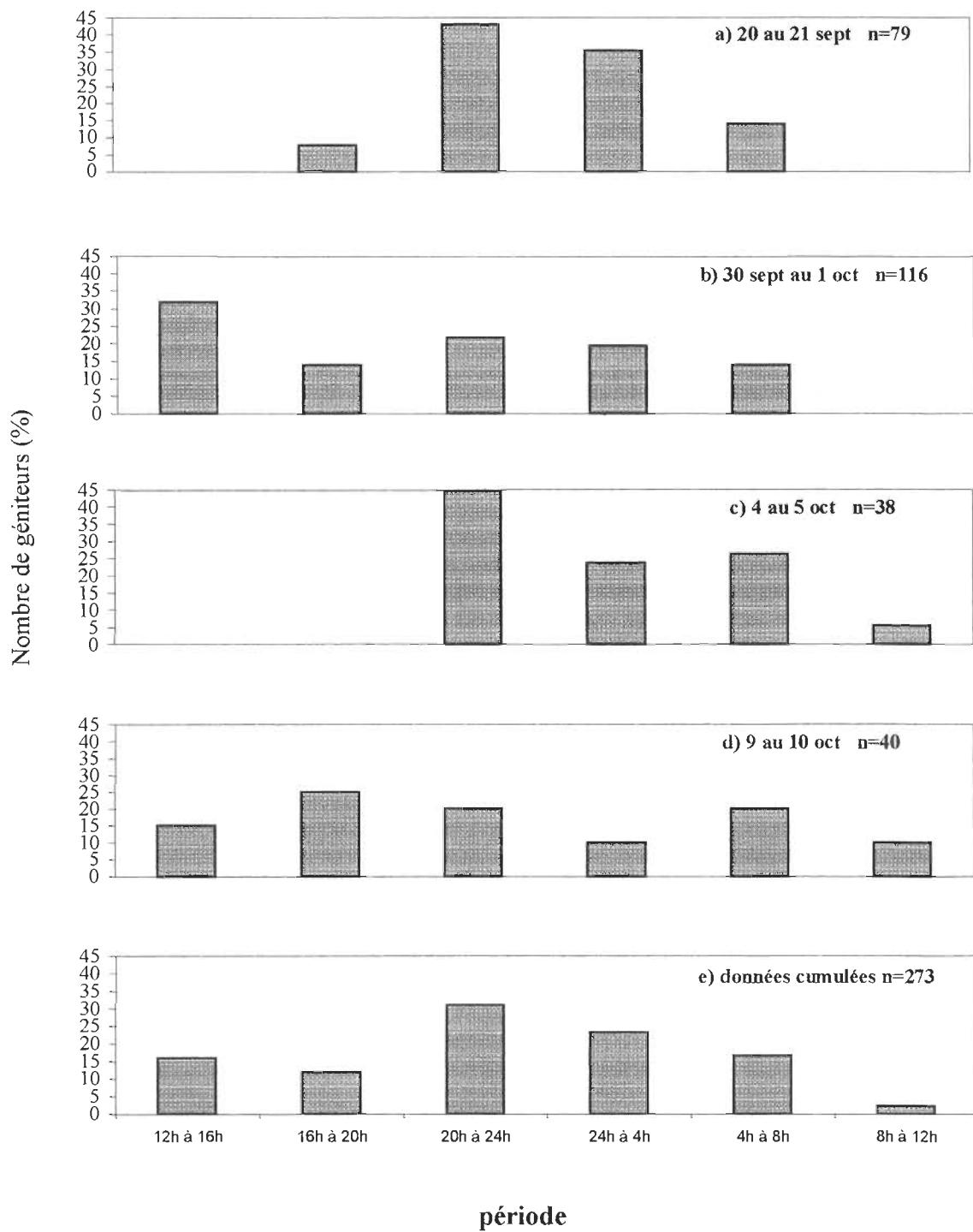


Figure 7: Fréquences d'entrée des reproducteurs dans la frayère en fonction du temps pour 4 journées (graphiques a, b, c et d) et pour l'ensemble des quatre journées (graphique e) de la période de fraye 1996.

rivière St-Jean au Québec. Cela pourrait également expliquer pourquoi aucun accouplement n'a été observé le jour au cours des deux années d'observations sur notre site d'étude.

3.2 Sélection des sites de fraye

3.2.1 Répartition spatiale et déterminants de la sélection des sites de fraye

L'habitat de fraye étudié dans l'émissaire aménagé du lac Saint-Michel s'étend sur 151 m, présente une surface totale de 1039 m² et une dénivellation de 2,5 m (Annexe 2). Les observations ont démontré que les ombles sélectionnent certaines sections de la rivière pour établir leurs sites de fraye. La majeure partie de la surface de certaines de ces sections est utilisée pour la reproduction. D'autres sections de la rivière ne présentent que peu de zones de fraye, sinon aucune. La surface effectivement utilisée pour la fraye est de 87,55 m², soit 8,4 % de la surface totale de la frayère.

Selon les observations de 1996, la vitesse du courant était significativement plus élevée dans les sites sélectionnés que dans ceux non sélectionnés ($t = 2,88$; $p < 0,005$; Tableau 3). La profondeur des différentes sections du cours d'eau n'a toutefois pas eu d'influence sur le choix des sites de fraye ($t = 0,37$; $p > 0,716$; Tableau 3). Nous avons observé une corrélation significative entre le nombre de reproducteurs dénombrés dans chacune des sections et la superficie effectivement utilisée pour la fraye dans ces mêmes sections ($R^2 = 0,88$; $p < 0,0001$; Tableau 4). Aucune relation significative n'est apparue entre la superficie des sections et le nombre de reproducteurs qui y ont été dénombrés. Enfin, une corrélation significative ($r = 0,58$; $p < 0,05$; Tableau 5) existe entre la superficie de la section et la surface de fraye.

Les résultats obtenus suggèrent que la vitesse du courant, et non la profondeur, joue un rôle dans la sélection des sites de ponte dans la frayère aménagée du lac Saint-Michel. Lors de la construction de la rivière, des méandres ont été aménagés dans le but de favoriser des variations dans l'écoulement des eaux. Cette multiplicité des conditions a permis de créer des sites qui

Tableau 3. Vitesses et profondeurs moyennes ($\pm 1 \text{ É. T.}$) mesurées aux sites sélectionnés et non sélectionnés par les ombles de fontaine, automne 1996. Les chiffres entre parenthèses correspondent au nombre de stations.

	sites sélectionnés	sites non sélectionnés	t	p
vitesse du courant (cm/s)	18.5 ± 11.5 (n = 42)	11.5 ± 12.1 (n = 36)	2,88	< 0,005
profondeur (cm)	43.7 ± 14.6 (n = 42)	42.4 ± 16.41 (n = 36)	0,36	> 0,716

Tableau 4. Régression linéaire simple entre le nombre de reproducteurs et (i) la superficie de la section et (ii) la superficie de fraye, automne 1996.

Variable dépendante	variable indépendante	ordonnée à l'origine	Pente	R ²	p
nombre de géniteurs	superficie de section	33,56	-0,34	0,20	0.036
nombre de géniteurs	superficie de fraye	4,47	1,99	0,88	<0.0001

Tableau 5. Matrice de corrélations de Pearson (r) entre les variables indépendantes mesurées dans chacune des sections de la frayère étudiée, automne 1996.

	Superficie de la section	Superficie de fraie	Vitesse	Profondeur
Superficie de la section	1,000			
Superficie de fraie	0,580*	1,000		
Vitesse du courant	-0,048	0,143	1,000	
Profondeur	0,079	0,419	0,420	1,000

* $p < 0,05$

favorisent l'établissement de nids. Curry *et al.* (1995), Curry et Noakes (1995), Fraser (1985), Schofield (1993) ainsi que Webster et Eiriksdottir (1976) ont démontré l'importance des sources souterraines dans la sélection des sites de fraye. Il est possible que les ombles détectent, sur le site de l'étude, des conditions hydrauliques permettant une percolation transversale adéquate de l'eau au travers du substrat. Même si les études mentionnées plus haut démontrent une relation entre la présence de zones de résurgence et l'établissement de sites de reproduction, les différences géologiques régionales qui prévalent dans l'aire de distribution de l'omble de fontaine peuvent induire des comportements particuliers en fonction de ces zones. Par contre, aucune mesure n'a été prise dans le cadre de cette étude pour déterminer s'il y avait ou non présence de résurgences dans les sites sélectionnés pour la ponte. On constate que les différences géographiques, géologiques et hydrauliques qui peuvent exister entre les sites d'études sont à considérer lorsqu'on traite des critères de sélection des habitats de reproduction.

Par ailleurs, dans l'ensemble des études sur la sélection des sites de fraye, on considère souvent que les ombles choisissent les sites les qui favoriseraient la survie de leurs oeufs. Ainsi, les concentrations d'ombles en certains endroits précis d'un cours ou d'un plan d'eau, provoquant la superposition de nids, peu signifier qu'on retrouve en ces endroits les conditions les plus propices à la fraye. La superposition des nids peut donc découler de la faible disponibilité de sites adéquats. Par contre, Essington *et al.* (1998) ont démontré que la superposition des nids d'ombles de fontaine dépend d'autres facteurs. Ils suggèrent que les femelles préféreraient pondre dans des nids existants.

3.3 Montaison et dévalaison des juvéniles

3.3.1 Distribution temporelle des captures

En 1995 et 1996, les captures de juvéniles ont débuté lorsque la température de l'eau a atteint 2°C soit le 13 mai en 1995 et le 24 mai en 1996 (Figure 8). Les déplacements des juvéniles ont été suivis pendant 47 jours après le début des captures. Les captures en montaison montrent

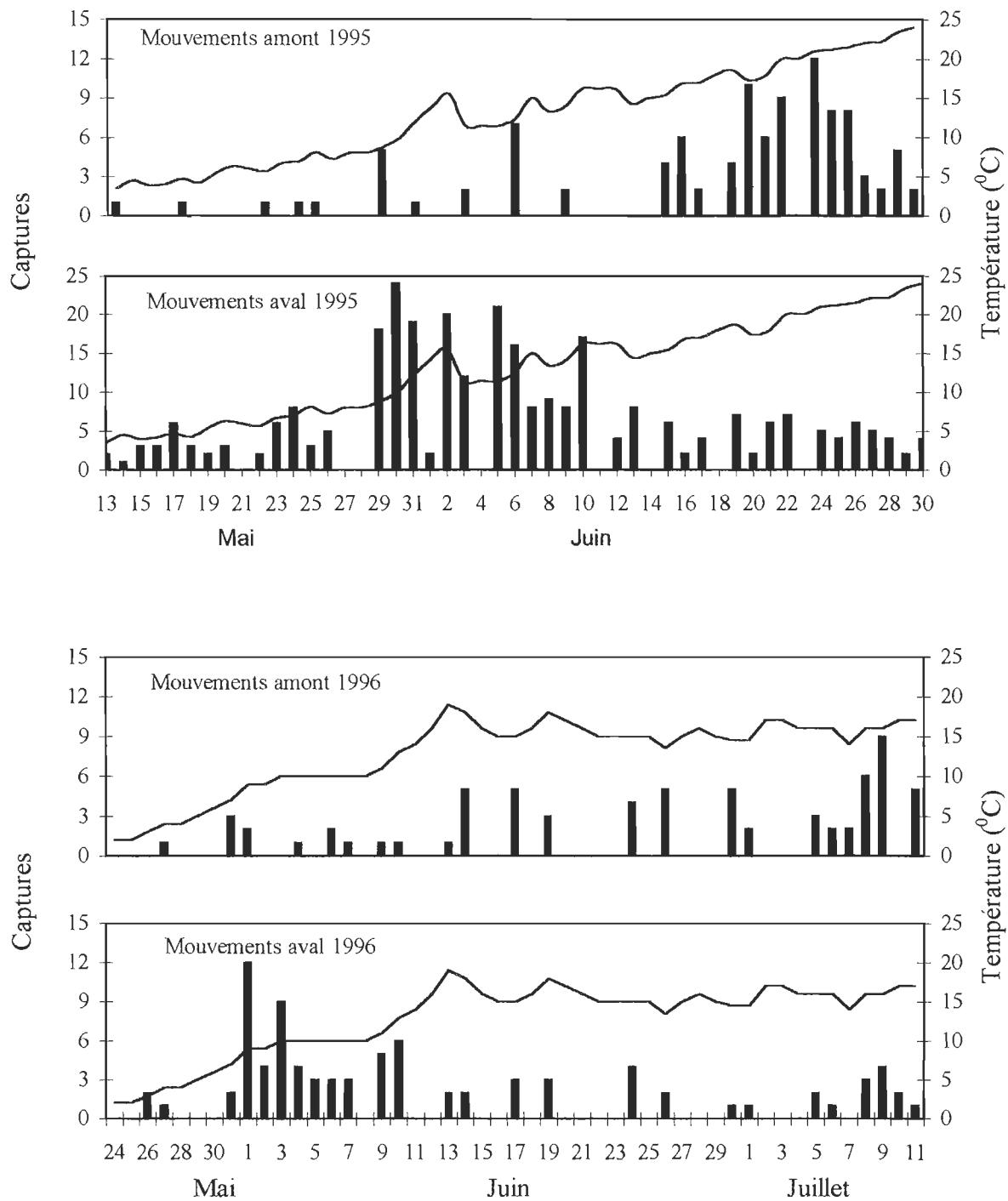


Figure 8. Évolution temporelle des captures d'ombles de fontaine juvéniles (0+) en fonction du temps et de la température de l'eau, 1995 et 1996.

une tendance à l'augmentation en fonction du temps, alors que les captures en dévalaison diminuent en fonction de la même période. Ceci peut s'expliquer par le fait qu'à partir du moment de l'émergence, les larves croissent et augmentent leurs capacités de nage, ce qui facilite les déplacements à contre courant, alors que la vitesse du courant diminue. Curry *et al.* (1991), Kondolf *et al.* (1993) ainsi que Snucins *et al.* (1992) ont établi une relation entre la période d'émergence des larves d'omble de fontaine et l'augmentation du courant due au dégel printanier. Cette relation semble se vérifier sur le site d'étude. De plus, en 1995 et 1996, les premières captures et les premières observations visuelles de larves en émergence ont eu lieu lorsque la crue des eaux commençait.

3.3.2 Couloirs de migration

Les proportions des individus capturés en montaison et en dévalaison n'ont pas été homogènes entre le centre et le rivage pour 1995 ($\chi^2 = 195,9$; $p < 0,05$; Tableau 6) alors qu'elles l'ont été en 1996 ($\chi^2 = 0,46$; $p > 0,05$; Tableau 6). En montaison, les captures ont toujours été plus nombreuses près du rivage qu'au centre de la rivière alors qu'en dévalaison, aucune tendance n'a été notée (Tableau 6).

Les sites d'échantillonnages situés sur les rives présentaient des profondeurs et des vitesses de courant significativement plus faibles que celles du centre de la rivière ($t = 3,63$; $p < 0,001$ et $t = 3,11$; $p < 0,002$; Tableau 7). La profondeur est le facteur qui influence le plus le nombre de captures de juvéniles dans leurs déplacements vers le lac ($r = -0,439$; $p < 0,05$; Tableau 8) alors que l'éloignement du rivage est celui qui a influencé le plus la distribution des déplacements vers l'aval ($r = 0,483$; $p < 0,05$; Tableau 9).

Selon les résultats, les déplacements des juvéniles vers le lac s'effectuent surtout dans les couloirs près du rivage où la profondeur et la vitesse du courant sont plus faibles. De plus, les zones près des berges présentent une morphologie différente des zones du centre de la rivière. On y retrouve un plus grand nombre de pierres et de végétaux offrant une protection contre les prédateurs. Ces couloirs présentent aussi plus de sédimentation. Le lit plus foncé de la rivière,

Tableau 6. Nombre d'omble de fontaine (0+) capturés en montaison et en dévalaison près du rivage et au centre de la frayère étudiée, automnes 1995 et 1996.

Année		n	Nombre de juvéniles	
			Montaison	Dévalaison
1995	Rivage	588	88	100
	Centre	588	15	203
1996	Rivage	588	107	85
	Centre	588	33	21

n = nombre de trappes x nombre de jours d'échantillonnage

Tableau 7. Vitesses et profondeurs moyennes ($\pm 1 \text{ E.T.}$) mesurées aux stations rivage et centre de la frayère étudiée, printemps 1996.

	n	Stations		<i>t</i>	p
		Rivage	Centre		
Profondeur (cm)	60	$44,2 \pm 20,1$	$57,3 \pm 19,3$	3,63	0,001
Vitesse (cm/s)	60	$11,9 \pm 14,6$	$19,9 \pm 13,5$	3,11	0,002

Tableau 8. Matrice de corrélations de Pearson (r) entre les variables mesurées dans la frayère et la montaison des ombles de fontaine juvéniles (0+), printemps 1996. ($n = 24$)

	Profondeur	Vitesse	Rivage	Nombre
Profondeur	1,000			
Vitesse	0,714	1,000		
Rivage	-0,348	-0,302	1,000	
Nombre	-0,439*	0,287	0,317	1,000

* $p < 0,05$

Tableau 9. Matrice de corrélations de Pearson (r) entre les variables mesurées dans la frayère et la dévalaison des ombles de fontaine juvéniles (0+), printemps 1996. ($n = 24$)

	Profondeur	Vitesse	Rivage	Nombre
Profondeur	1,000			
Vitesse	0,328	1,000		
Rivage	-0,293	-0,302	1,000	
Nombre	-0,097	-0,310	0,483*	1,000

* $p < 0,05$

favorisant le réchauffement de l'eau, jumelé au faible courant de ces zones peut créer des micro-habitats favorisant la croissance.

Les tendances liées à la dévalaison sont plus variables. Des différences peuvent être survenues entre les périodes de crue. Les larves émergentes étant plus affectées par la force du courant, une crue plus forte en 1995 a pu entraîner une plus grande dévalaison. Toutefois, aucune mesure n'a été prise pour vérifier cet aspect. Par ailleurs, la conception des trappes faisait en sorte qu'elles modifiaient les paramètres hydrauliques. Les trappes jouaient le rôle de déflecteurs qui créaient, vers l'aval, des zones de moindre courant dont profitaient les juvéniles.

Le dispositif expérimental n'était pas suffisamment adapté aux conditions qui prévalent en période de crue. La force du courant oblige l'utilisation d'équipements robustes et complique les manipulations des engins de capture.

La perte de juvéniles par dévalaison semble importante dans la frayère du lac Saint-Michel du fait que celle-ci se trouve dans un émissaire plutôt que dans un tributaire. Vu la force du courant au moment de l'émergence, une partie de la nouvelle cohorte peut être entraînée par le courant (Crisp et Hurley 1991; Haggens et Traaen 1988), privant le lac d'une partie du recrutement potentiel de la frayère.

Des données supplémentaires seront nécessaires pour connaître l'ampleur de ce phénomène et pour savoir s'il peut avoir une incidence sur le développement des stratégies d'aménagement d'habitats.

3.4 Production potentielle de la frayère étudiée

Les échantillonnages réalisés en mai 1997 donnent un pourcentage d'éclosion de 13,30% (Tableau 10). Ce pourcentage correspond à une production de 30 027 larves suite à la période de fraye de l'automne 1996. Le potentiel d'une frayère comme celle du lac Saint-Michel est élevé si on considère que les ombles femelles ont déposé, selon les estimations, 225 736 œufs en

Tableau 10. Production potentielle d'embryons et production estimée en larves dans la frayère du lac Saint-Michel, mai 1997. (Les moyennes sont accompagnées des écarts-types.)

Nombre de femelles	Nombre moyen d'œufs par femelle	Production potentielle d'embryons de la frayère	Nombre de larves échantillonnées par m ²	Production estimée en larves	Pourcentage d'éclosion
556	406 ± 166	225736	28,9 ± 23,1	30027	13,3

1996. Il s'agit là d'une des rares évaluations, sinon la seule, du taux d'éclosions de l'espèce en milieu naturel. Selon les observations, deux facteurs peuvent être identifiés pour expliquer le taux d'éclosion qui apparaît faible si on considère le taux de plus de 90 % obtenu dans un substrat artificiel Witzel et MacCrimmon (1983): la nature du substrat et la superposition des nids. La nature du substrat de ponte est très importante dans les succès d'éclosion (Hausle et Coble 1976; Olsson et Persson 1988; Witzel et MacCrimmon 1983). Le substrat de la frayère étudiée comporte une quantité considérable de sédiments qui se sont déposés, entre autre, pendant quelques années à partir des berges qui étaient dénudées à la suite des travaux d'excavation de la rivière. En certains endroits, le gravier déposé lors de l'aménagement est entièrement recouvert de matières fines et organiques. Les succès d'éclosions pourraient probablement être supérieurs si le substrat de ponte comportait une moins grande quantité de sédiments.

Enfin, le phénomène de superposition des pontes semble important sur ce site bien qu'aucune recherche n'a été faite dans le cadre de ce projet. À ce niveau, une meilleure connaissance de la sélection des sites de ponte permettrait de voir s'il y a possibilité de faire diminuer la superposition des nids afin de limiter la baisse de production par destruction des pontes.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Le but de cette recherche a été d'étudier différents paramètres de l'écologie et du comportement reproducteur de l'omble de fontaine dans la frayère aménagée du lac Saint-Michel afin (i) de documenter les aspects moins bien connus de la reproduction de cette espèce, (ii) de préciser les normes d'aménagement des frayères de l'espèce et (iii) d'identifier les aspects de la reproduction qu'il faudrait préciser dans le cadre d'études futures afin de mieux aménager les frayères. À ces fins, une série d'objectifs spécifiques avaient été fixés.

D'abord, l'étude de la durée et la chronologie de la période de fraye et des patrons de migration des reproducteurs ont permis d'établir à 1:1 le rapport des mâles et des femelles qui se sont présentés sur la frayère et qu'une température de l'eau de 13⁰C semble marquer le début des activités de fraye. La taille des reproducteurs qui ont accédé à la frayère a diminué au fur et à mesure que la période de fraye avançait. Une faible proportion de reproducteurs qui ont été marqués en 1995 se sont présentés à nouveau sur la frayère en 1996, suggérant un renouvellement rapide de la population d'ombles de fontaine dans le lac Saint-Michel. Les données recueillies en 1996 démontrent de plus que les ombles reproducteurs sont plus actifs durant la période nocturne, ces derniers ayant effectué plus de déplacements entre la lac et la frayère, entre 20h et 8h. L'établissement de la structure d'âge de la population d'ombles du lac Saint-Michel permettrait d'approfondir l'analyse de l'utilisation de la frayère par les reproducteurs au fil des années.

L'étude des caractéristiques des sites sélectionnés et non sélectionnés démontre que la vitesse du courant influence le choix des sites de ponte par les ombles alors que la profondeur de la rivière n'a que peu ou pas d'influence. La vitesse moyenne du courant aux sites sélectionnés dans la frayère du lac Saint-Michel était de 18,5 cm/s. Des échantillonnages sur d'autres sites, aménagés ou non, pourraient permettre de vérifier l'importance de la vitesse du courant dans le choix des sites de ponte. Cet aspect est important du point de vue aménagement puisque la vitesse du courant est un paramètre relativement facile à modifier dans un cours d'eau. Dans la frayère étudiée, plusieurs zones présentant un substrat de ponte adéquat sont délaissées par les

reproducteurs au cours de la fraye. Afin de valider l'importance de la vitesse du courant dans cette frayère, une modification des berges devrait être envisagée afin de donner aux sites non sélectionnés des vitesses de l'ordre de celles qu'on retrouve sur les sites sélectionnés. D'autres facteurs, telle la percolation de l'eau à travers le gravier, sont également susceptibles d'influencer le choix des sites de ponte. Des recherches à l'échelle des micro-habitats devraient être envisagées sur cet aspect.

En ce qui concerne l'étude des couloirs de migration des juvéniles, on constate que la présence de zones moins profondes présentant des vitesses de courant plus lentes le long des berges favorise les déplacements des jeunes poissons. Les couloirs retrouvés près des berges offrent des conditions de déplacement plus favorables tout en donnant plus de possibilités d'abris. La création de ce type de zones est à préconiser lors de travaux d'aménagement de frayères. Les besoins des ombles reproducteurs et des ombles juvéniles sont différents. Certains résultats de cette étude suggèrent la création d'habitats diversifiés lors de l'aménagements de cours d'eau afin de répondre aux exigences des ombles à différents stades de leur développement.

L'étude des couloirs de migration démontre aussi que la dévalaison semble importante dans cet habitat de fraye qui est aménagé dans un émissaire. Il est donc recommandé que l'aménagement des frayères se fasse en priorité dans les tributaires des lacs. Toutefois, la présence de corridors moins profonds présentant des vitesses de courant plus lentes pourrait contribuer à diminuer les pertes par dévalaison. Dans le cas du lac Saint-Michel, il serait opportun d'effectuer d'autres échantillonnages des larves en migration afin d'établir les pertes par dévalaison et ainsi estimer la contribution réelle de la frayère au lac.

L'estimation de la production de la frayère a permis de déterminer que le succès d'éclosion a été de 13,3 %. Aucune donnée n'a été retrouvée dans la littérature à ce sujet. Une augmentation du succès d'éclosion pourrait être réalisé en améliorant la condition du substrat. Au moment de l'aménagement de l'habitat de reproduction, le gravier a été déversé sur le lit de la rivière et semble s'être mélangé au sable et à la matière organique qui s'y trouvaient de sorte que la frayère offre maintenant un substrat comportant une grande proportion de ces sédiments fins. Les

berges dénudées suite aux travaux d'excavation ont aussi contribué à l'ensablement du gravier. Au moment de l'aménagement d'habitats de reproduction, une attention particulière devrait être apportée à la surface où sera déposée le gravier. Celle-ci devrait être nettoyée ou stabilisée pour éviter que le gravier ne s'enfonce dans le sable et la matière organique. De plus, le profil du cours d'eau devrait assurer une vitesse de courant suffisante pour empêcher le dépôt de sédiments fins.

5. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Alanärä, A. 1993. Significance of substrate and the timing of start-feeding in alevins of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*). *Aquaculture*, 116: 47-55.
- Anonyme. 1997. Direction générale des politiques et des analyses économiques. Enquête sur la pêche récréative au Canada, 1995, rapport no 154: 128 p.
- Bagenal, T. B. et E. Braum. 1978. Eggs and early life history. *Dans: T. G. Bagenal (ed.), Methods for assessments of fish production in fresh waters*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, p. 165-201.
- Bardonnet, A. 1993. Use of visual landmarks by young trout, *Salmo trutta*, during their diel downstream post-emergence displacement in experimental channels. *Fish Biol.* 43: 375-384.
- Bardonnet, A., P. Gaudin et J. E. Thorpe. 1993. Diel rhythm of emergence and of first displacement downstream in trout, *Salmo trutta*, Atlantic salmon, *S. salar*, and grayling, *Thymallus thymallus*. *J. Fish Biol.* 43: 755-762.
- Benoît, J. et S. Lachance. 1989. Évaluation de l'efficacité des aménagements de frayères artificielles. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, Direction régionale Mauricie-Bois-Francs, Trois-Rivières. Rapport technique, no 89-01. 42 p.
- Boisclair, D. 1992. Relationship between feeding and activity rates for actively foraging juvenile brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 49: 2566-2573.
- Breder, C. M. 1960. Design for a fry trap. *Zoologica, N.Y.* 45: 155-159.
- Castonguay, M., G. J. Fitzgerald et Y. Côté. 1982. Life history and movements of anadromous brook charr, *Salvelinus fontinalis*, in the St-Jean River, Gaspé, Québec. *Can. J. Zool.* 60: 3084-3091.
- Chapman, D. W. 1988. Critical review of variables used to define effects of fines in redds of large salmonids. *Trans. Am. Fish. Soc.* 117: 1-21.
- Craig, D. et P. Dulude. 1995. Historique de l'aménagement d'une frayère pour la truite mouchetée au lac St-Michel, Club du Manoir Brûlé. Rapport technique, 10 p.
- Crisp, D. T. 1993. The ability of U.K. salmonid alevins to emerge through a sand layer. *J. Fish. Biol.* 43: 656-658.

- Crisp, D. T. et P. A. Carling. 1989. Observations on siting, dimensions and structure of salmonid redds. *J. Fish. Biol.* 34: 119-134.
- Crisp, D. T. et M. A. Hurley. 1991. Stream channel experiments on downstream movement of recently emerged trout, *Salmo trutta* L., and salmon, *S. salar* L. Effect of four different water velocity treatments upon dispersal rate. *J. Fish. Biol.* 39, 347-361.
- Curry, R. A. 1993. Hydrogeology of brook charr (*Salvelinus fontinalis*) spawning and incubation habitats: linking aquatic and terrestrial ecosystem. Ph. D. thesis. Guelph University.
- Curry, R. A. et K. J. Devito. 1996. Hydrology of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) spawning and incubation habitats: implications for forestry and land use developpement. *Can. J. For. Res.* 26: 767-772.
- Curry, R. A. et D. L. G. Noakes. 1995. Groundwater and the selection of spawning sites by brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52: 1733-1740.
- Curry, R. A., P. M. Powles, J. M. Gunn et V. A. Liimatainen. 1991. Emergence chronology of brook charr, *Salvelinus fontinalis*, alevins in an acidic stream. *Env. Biol. Fish.* 31: 25-31.
- Curry, R. A., D. L. G. Noakes et G. E. Morgan. 1995. Goundwater and the incubation and emergence of brook trout (*Salvelinus fontinalis*). *Can. J. Aquat. Sci.* 52: 1741-1749.
- Essington, T. E., P.W. Sorensen et D. G. Paron. 1998. High rate of red superimposition by brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmo trutta*) in a Minnesota stream cannot be explained by habitat availability alone. *Can. J. Fish. Aqua. Sci.* 55: 2310-2316.
- Fraser, J. M. 1985. Shoal spawning of brook trout, *Salvelinus fontinalis*, in a precambrian shield lake. *Naturaliste can.* 112: 163-174.
- Godin, J. G. J. 1982. Migration of salmonid fishes during early life history phases: daily and annual timing. *Dans:* E. L. Brannon et E. O. Salo (eds.), *Salmon and trout migratory behaviour symposium*. University of Washington Press, Seattle, p. 22-51.
- Grant, J. W. A. 1990. Aggressiveness and the foraging behaviour of young-of-the-year brook charr, *Salvelinus fontinalis*. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 915-920.

- Grant, J. W. A. et D. L. G. Noakes. 1987. Escape behaviour and use of cover by young-of-the-year brook trout, *Salvelinus fontinalis*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44: 1390-1396.
- Grant, J. W. A. et D. L. G. Noakes. 1987. Movers and stayers: foraging tactics of young-of-the-year brook charr, *Salvelinus fontinalis*. J. Anim. Ecol. 56: 1001-1013.
- Hausle, D. A. et D. W. Coble. 1976. Influence of sand in redds on survival and emergence of brook trout *Salvelinus fontinalis*. Trans. Amer. Fish. Soc. 1: 57-63.
- Hawkins, A. D. et G. W. Smith. 1986. Radio-tracking observations on Atlantic salmon ascending the Aberdeenshire Dee. Scottish Fisheries Research Report. 36.
- Heggenes, J. et T. Traaen. 1988. Downstream migration and critical water velocities in stream channels for fry of four salmonid species. J. Fish. Biol. 32: 717-727.
- Hetherington, E. D. 1987. The importance of forest in the hydrological regime. Dans M. C. Healey et R. R. Wallace (éd.), Canadian Aquatic Ressources, p 179-211.
- Hutchings, J. A. 1994. Age- and size-specific costs of reproduction within populations of brook trout, *Salvelinus fontinalis*. Oikos 70: 12-20.
- Jonsson, B. 1985. Life history patterns of freshwater resident and sea-run migrant brown trout in Norway. Trans. Amer. Fish. Soc. 114: 182-194.
- Johnston, C. E. et K. McKenna. 1976. Fecondity of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) from a coastal stream in Prince Edward Island. Proc. N. S. Inst. Sci. 27: 160-170.
- Kondolf, G. M., G. F. Cada, M. J. Sale et T. Felando. 1991. Distribution and stability of potential salmonid spawning gravels in steep boulder-bed streams of the eastern Sierra Nevada. Trans. Amer. Fish. Soc. 120: 177-186.
- Kondolf, G. M., M. J. Sale et M. G. Wolman. 1993. Modification of fluvial gravel size by spawning salmonids. Water Resour. Res. 29: 2265-2274.
- Kondolf, G. M. et M. G. Wolman. 1993. The sizes of salmonid spawning gravels. Water Resour. Res. 29: 2275-2285.
- Lacasse, S. et P. Magnan. 1994. Distribution post-glaciaire de l'omble de fontaine dans le bassin hydrographique du fleuve Saint-Laurent: impacts des interventions humaines. Université du Québec à Trois-Rivières, pour le ministère de l'Environnement et de la faune du Québec. 83 p.

- McLaughlin, R. L. et J. W. A. Grant. 1994. Morphological and behavioural differences among recently-emerged brook charr, *Salvelinus fontinalis*, foraging in slow vs. fast-running water. Env. Biol. Fish. 39: 289-300.
- McLaughlin, R. L., J. W. Grant et D. L. Kramer. 1994. Foraging movements in relation to morphology, water-column use, and diet for recently emerged brook trout *Salvelinus fontinalis* in still-water pools. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51: 268-279.
- McNicol, R. E. et D. L. G Noakes. 1981. Territories and territorial defense in juvenile brook char, *Salvelinus fontinalis* (Pisces: Salmonidae). Can. J. Zool. 59: 22-28.
- McNicol, R. E. et D. L. G. Noakes. 1984. Environnemental influences on territoriality of juvenile brook char, *Salvelinus fontinalis*, in a stream environnement. Env. Biol. Fish. 10: 29-42.
- McNicol, R. E., E. Scherer et E. J. Murkin. 1985. Quantitative field investigations of feeding and territorial behaviour of young-of-the-year brook charr, *Salvelinus fontinalis*. Env. Biol. Fish. 12: 219-229.
- Murphy, M. L. et A. M. Milner. 1997. Alaska timber harvest and fish habitat. Dans Milner, A. M. et M. W. Oswood (éd.), Ecological studies 119: 229-263.
- Olsson, T. I. et B-G. Persson. 1988. Effects of deposited sand on ova survival and alevin emergence in brown trout *Salmo trutta* L. Arch. Hydrobiol. 4: 621-627.
- Power, G. 1980. The brook charr, *Salvelinus fontinalis*. Dans: E. K. Balon, Dr. W. Junk bv Publishers, Charrs: Salmonid fishes of the genus *Salvelinus*. The Hague, Netherlands. p. 141-203.
- Sokal, R. R., et F. J Rohlf. 1981. Biometry. 2 ième édition. W. H. Freeman and Co., New York. 859 p.
- Schofield, C. L. 1993. Habitat suitability for brook trout (*Salvelinus fontinalis*) reproduction in Adirondack lakes. Water Resources Research. Vol. 29. No. 4. 875-879.
- Scott, W. B. et E. J. Crossman. 1974. Poissons d'eau douce du Canada. Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Ministère de l'Environnement, Service des pêches et des sciences de la mer, Ottawa. Bulletin 184, 1026 p.

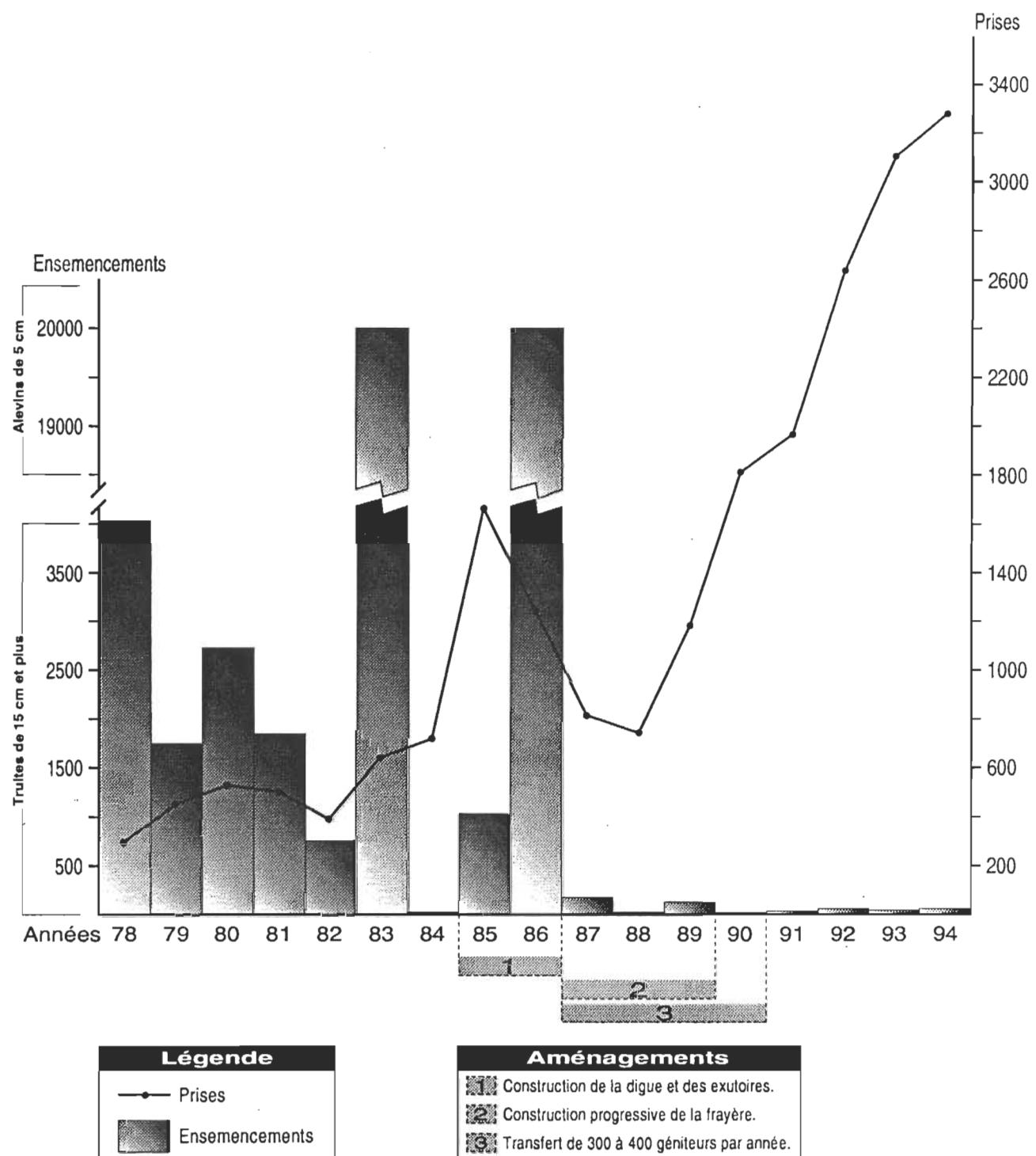
- Snucins, E. J., R. A. Curry et J. M. Gunn. 1992. Brook trout, *Salvelinus fontinalis*, embryo habitat and timing of alevin emergence in a lake and a stream. Can. J. Zool. 70: 423-427.
- Swain, D. P. et L. B. Holtby. 1989. Differences in morphology and behaviour between juvenile coho salmon, *Oncorhynchus kisutch*, rearing in a lake and its tributary stream. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46: 1406-1414.
- Trépanier, S., M. A. Rodriguez et P. Magnan. 1996. Spawning migrations in landlocked Atlantic salmon: time series modelling of river discharge and water temperature effects. J. Fish Bio. 48: 925-936.
- Weaver, T. M. et J. J. Fraley. 1993. A method to measure emergence success of westslope cutthroat trout fry from varying substrate compositions in a natural stream channel. North Amer. J. Fish. Manag. 13: 817-822.
- Webster, D. A. et G. Eiriksdottir. 1976. Upwelling water as a factor influencing choice of spawning sites by brook trout (*Salvelinus fontinalis*). Trans. Am. Fish. Soc. 3, 416-421.
- Witzel, L. D. et H. R. MacCrimmon. 1983. Embryo survival and alevin emergence of brook charr, *Salvelinus fontinalis*, and brown trout, *Salmo trutta*, relative to redd gravel composition. Can. J. Zool. 61: 1783-1792.
- Young, M. K., W. A. Hubert et T. A. Wesche. 1989. Substrate alteration by spawning brook trout in a southeastern Wyoming stream. Trans. Amer. Fish. Soc. 118: 379-385.

Annexe 1

Évolution de la pêche sportive versus les aménagements piscicoles au lac Saint-Michel

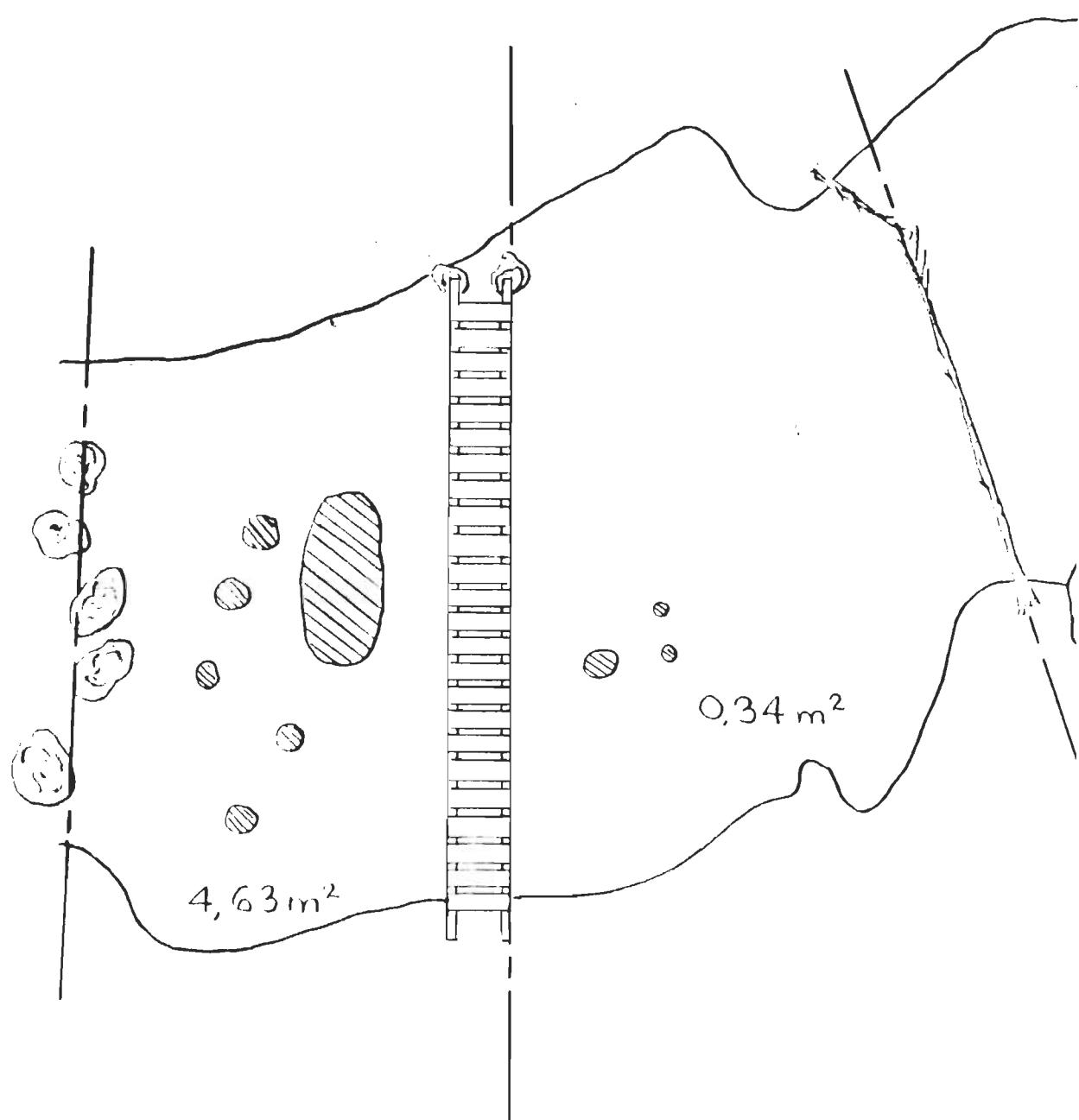
(tiré de: Craig et Dulude 1995)

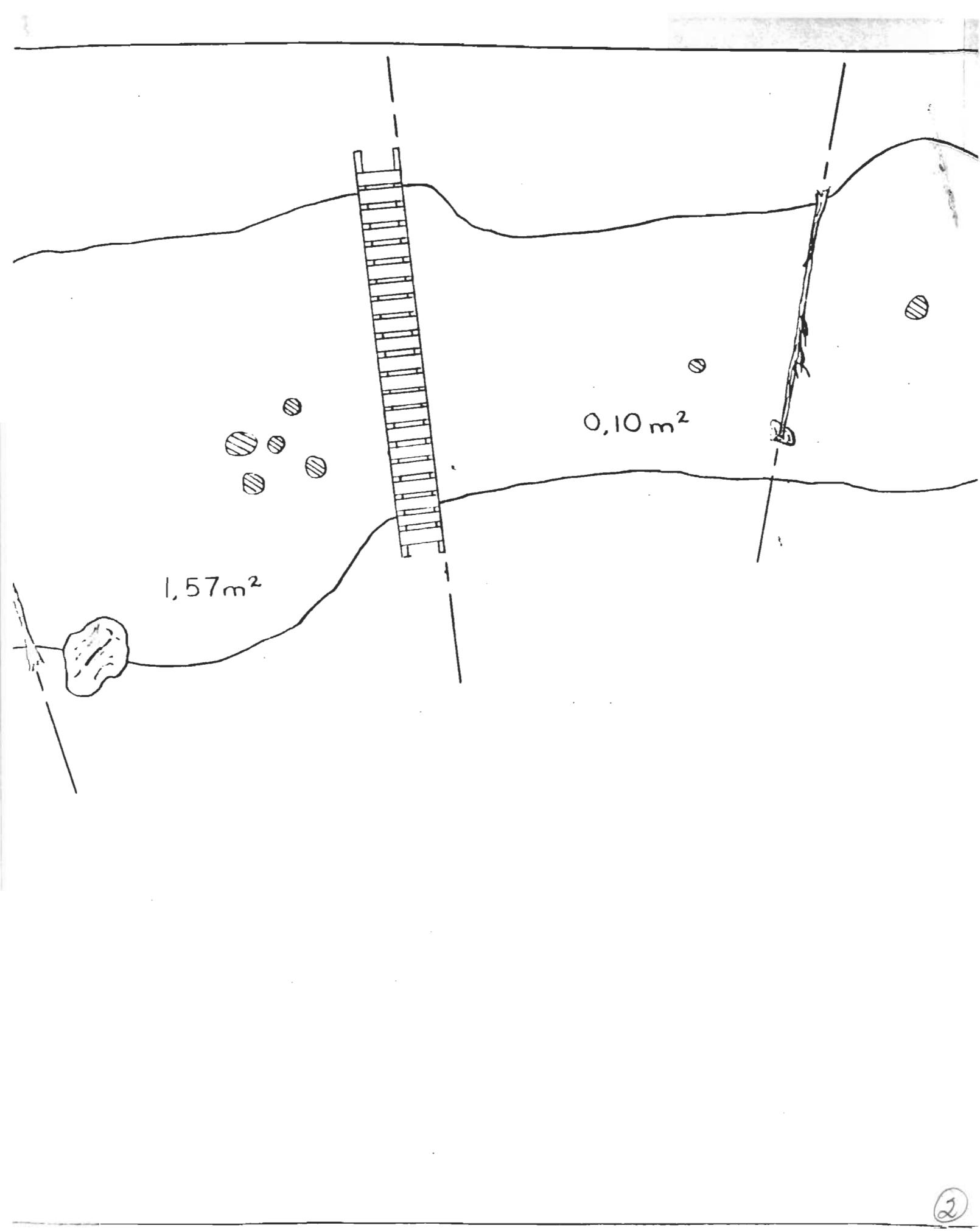
L'évolution de la pêche sportive versus les aménagements piscicoles au lac St-Michel

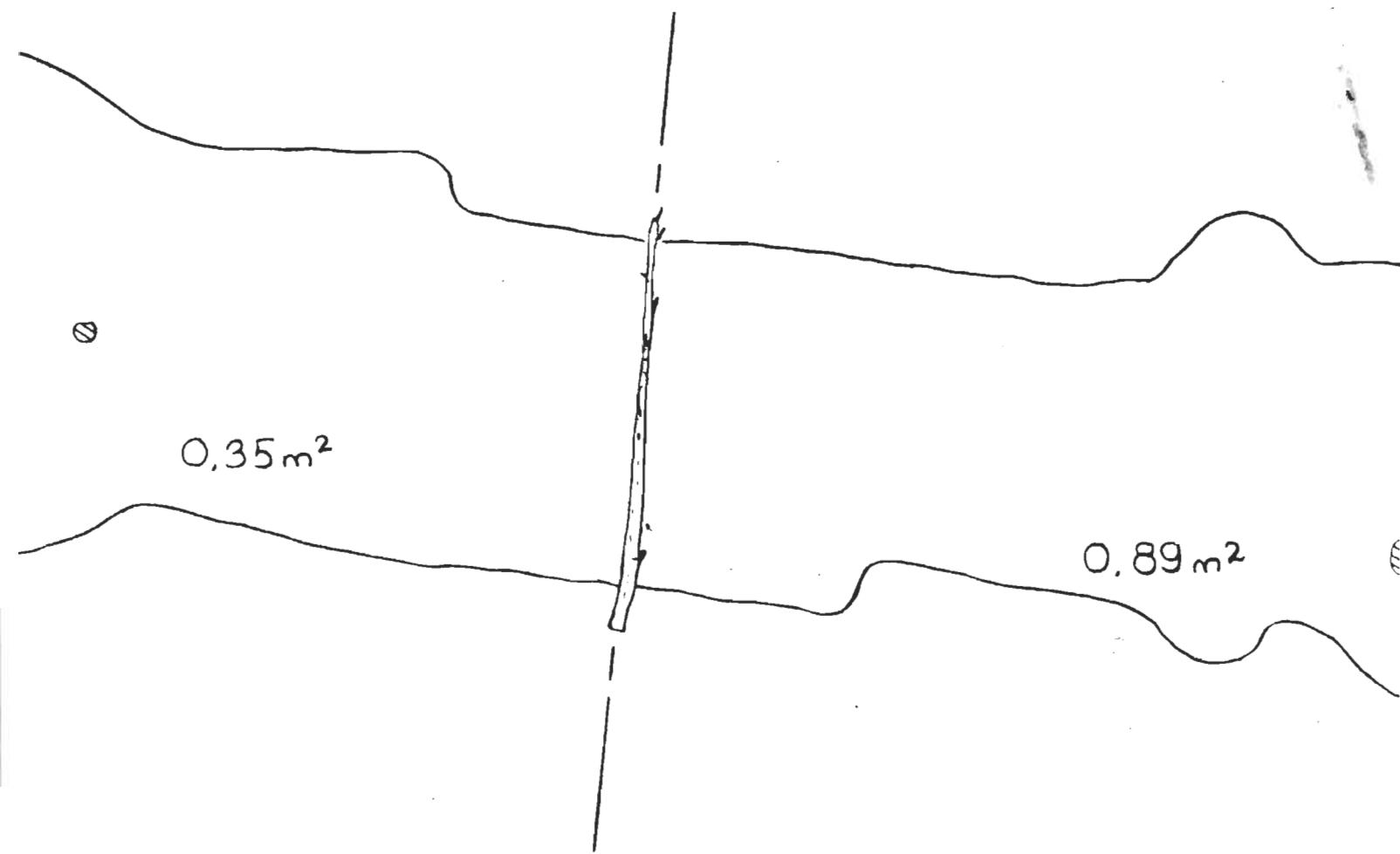


Annexe 2

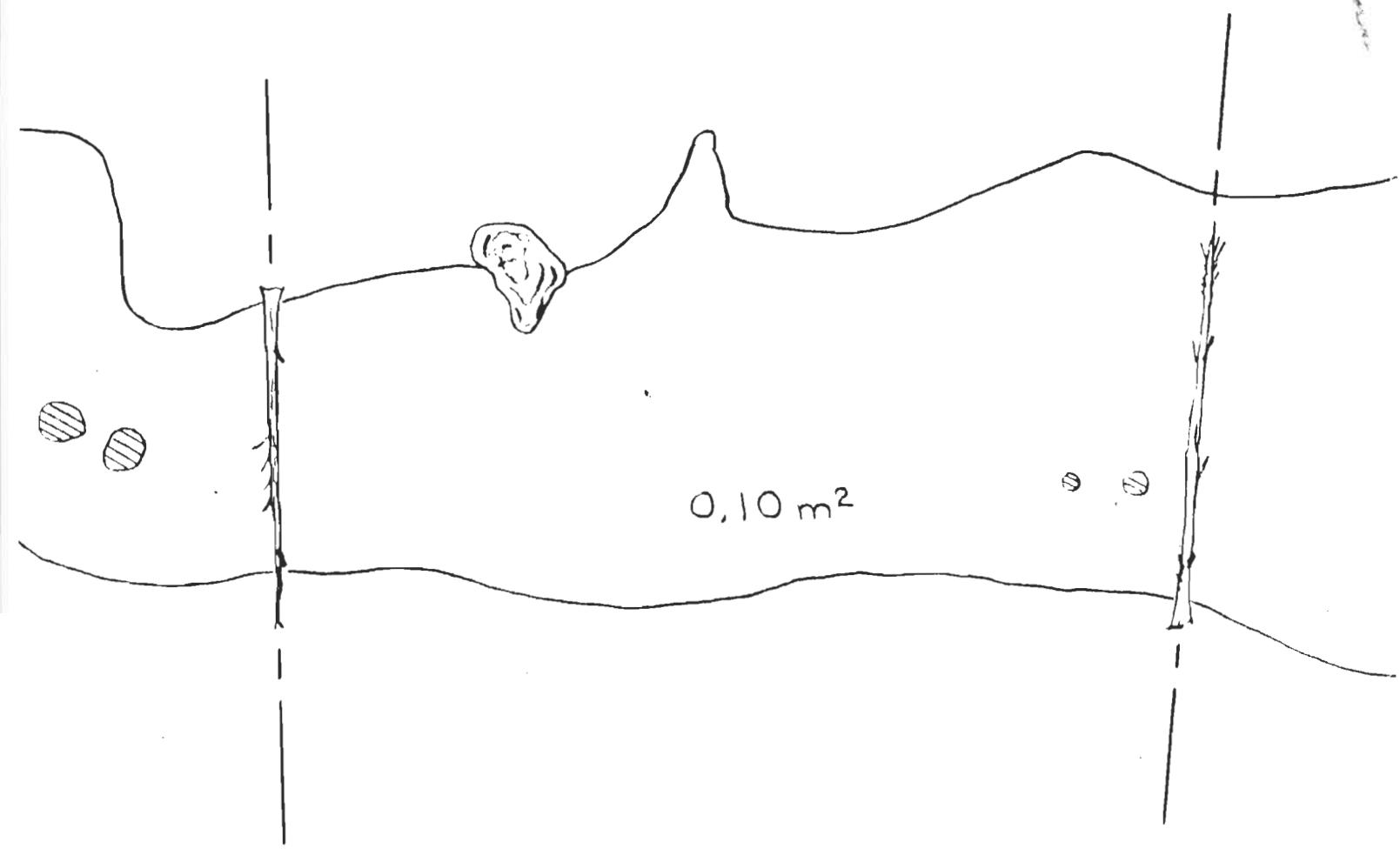
Carte géographique de la frayère du lac Saint-Michel



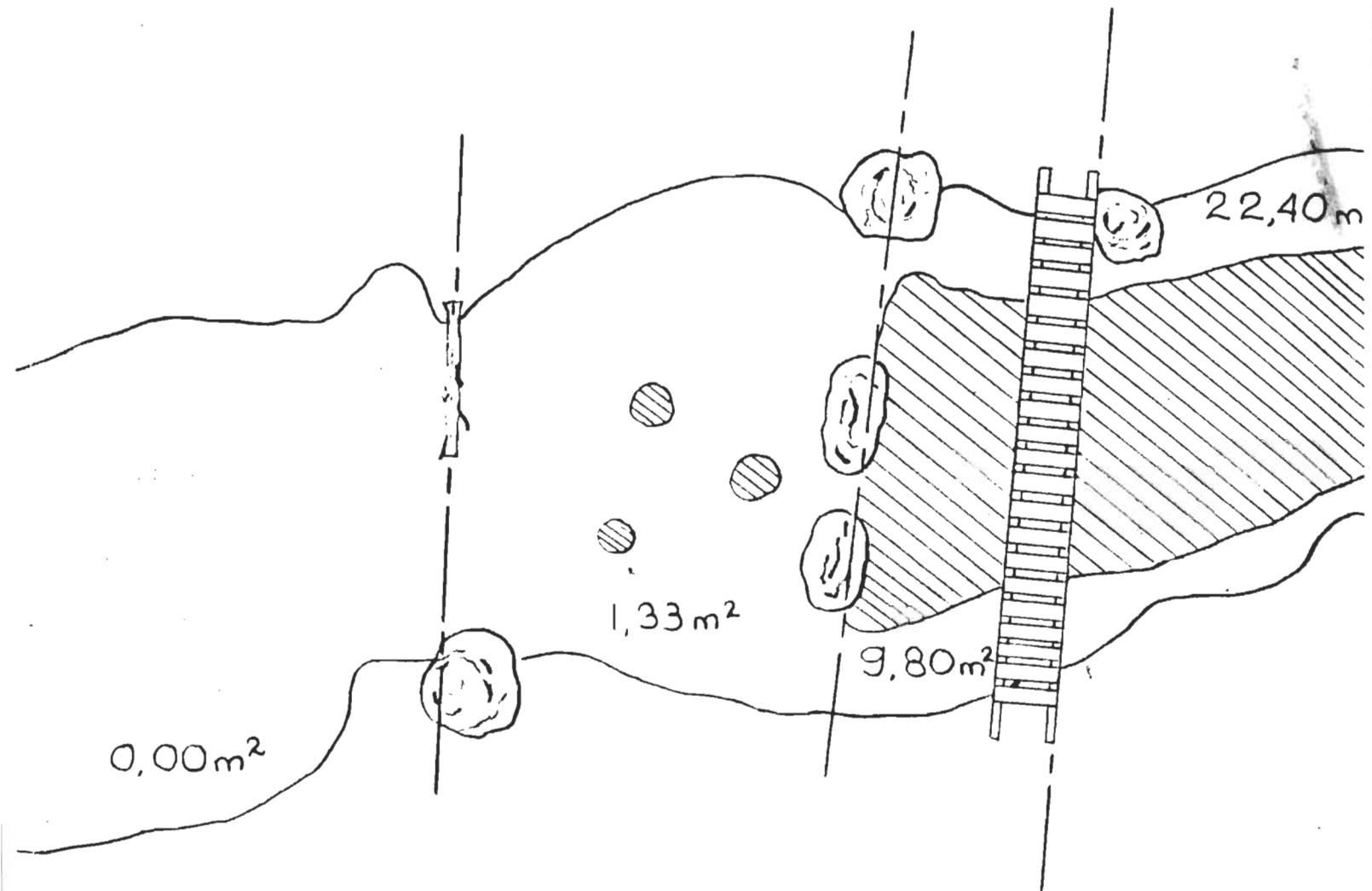




3



(4)



◎: ZONES UTILISÉES POUR LA FRAYE

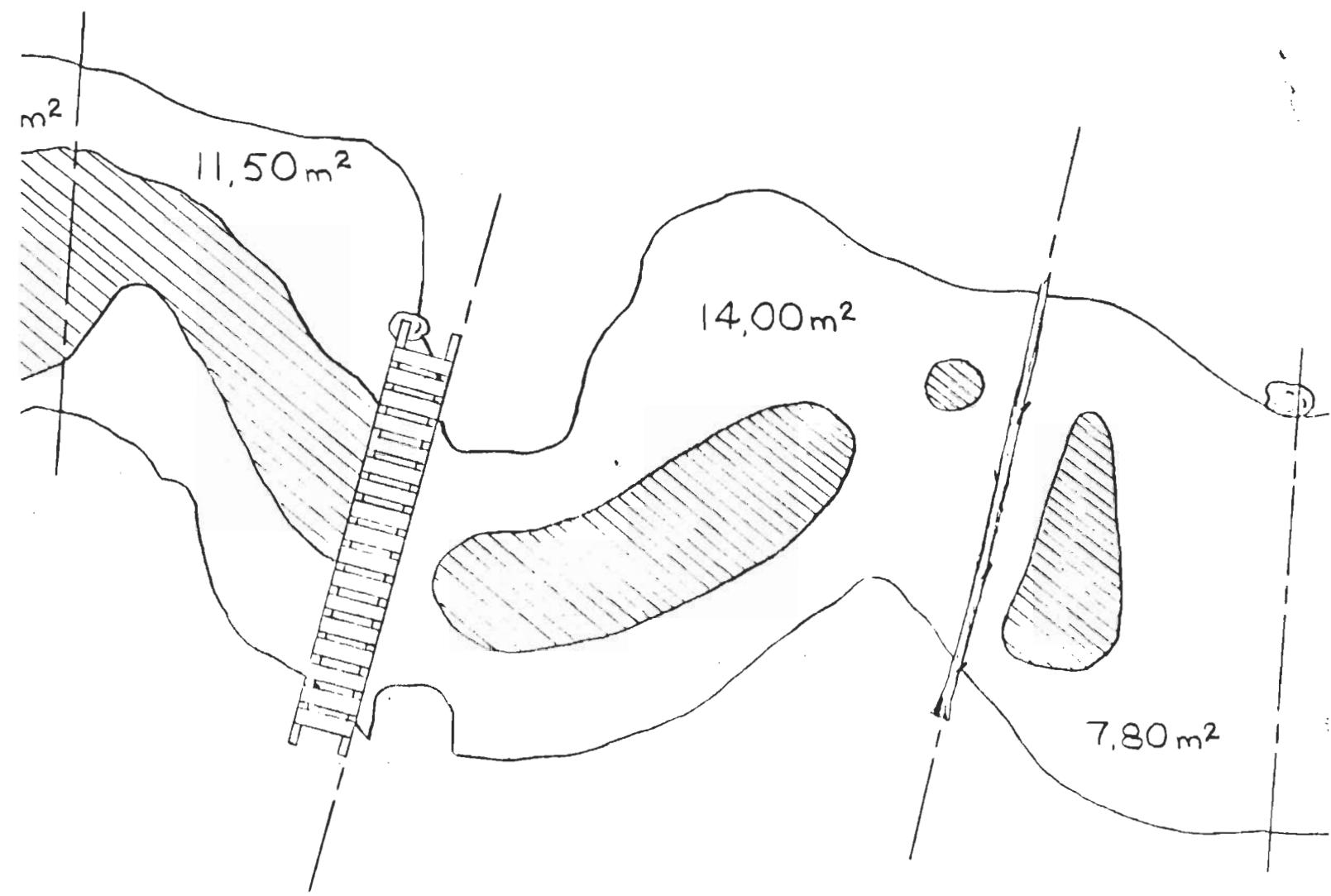
—: LIMITES DE SECTIONS

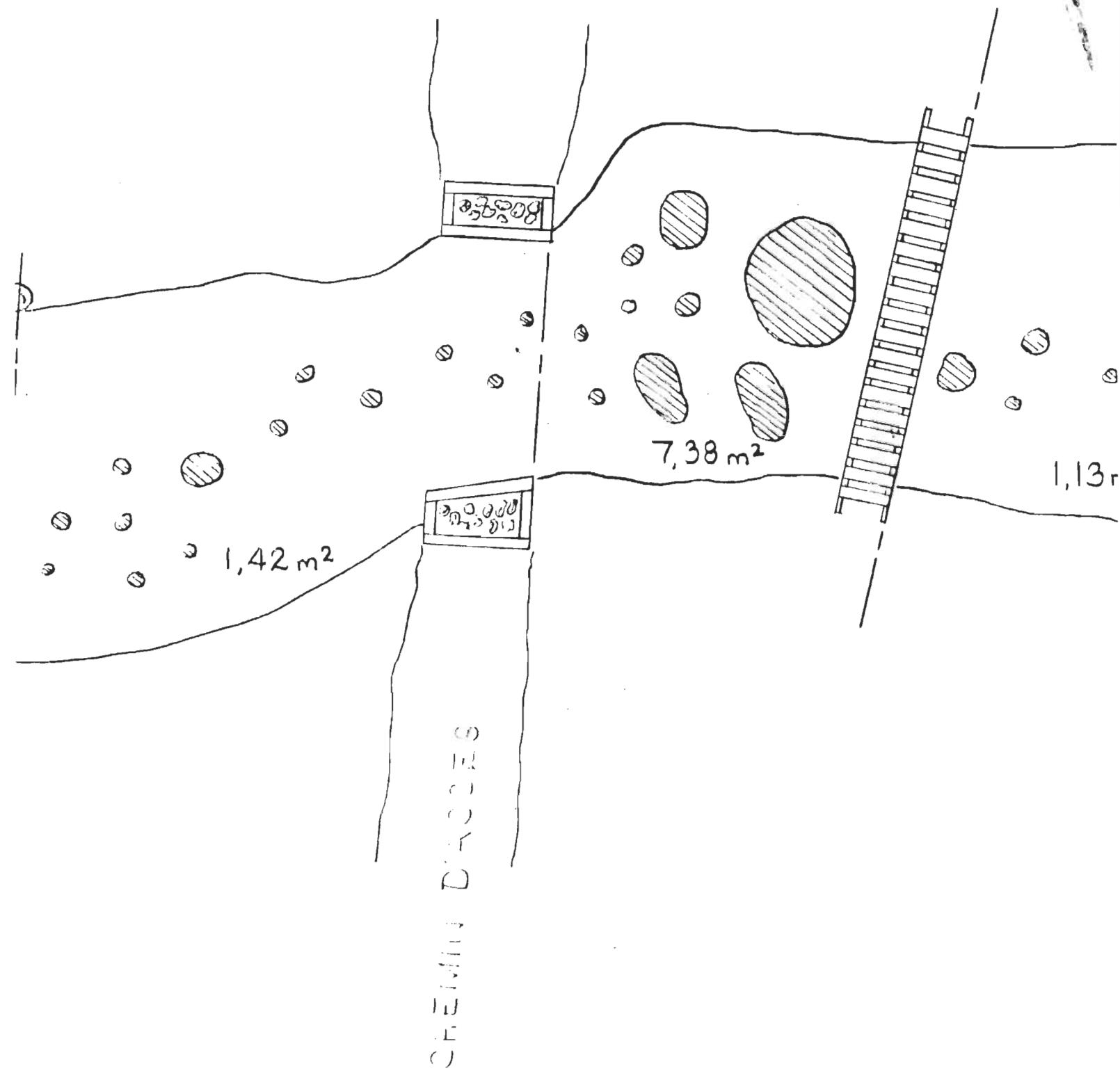
$0,10 \text{ m}^2$: SURFACE UTILISÉE POUR LA FRAYE
POUR LA SECTION

ÉCHELLE: 1 cm = 1 m

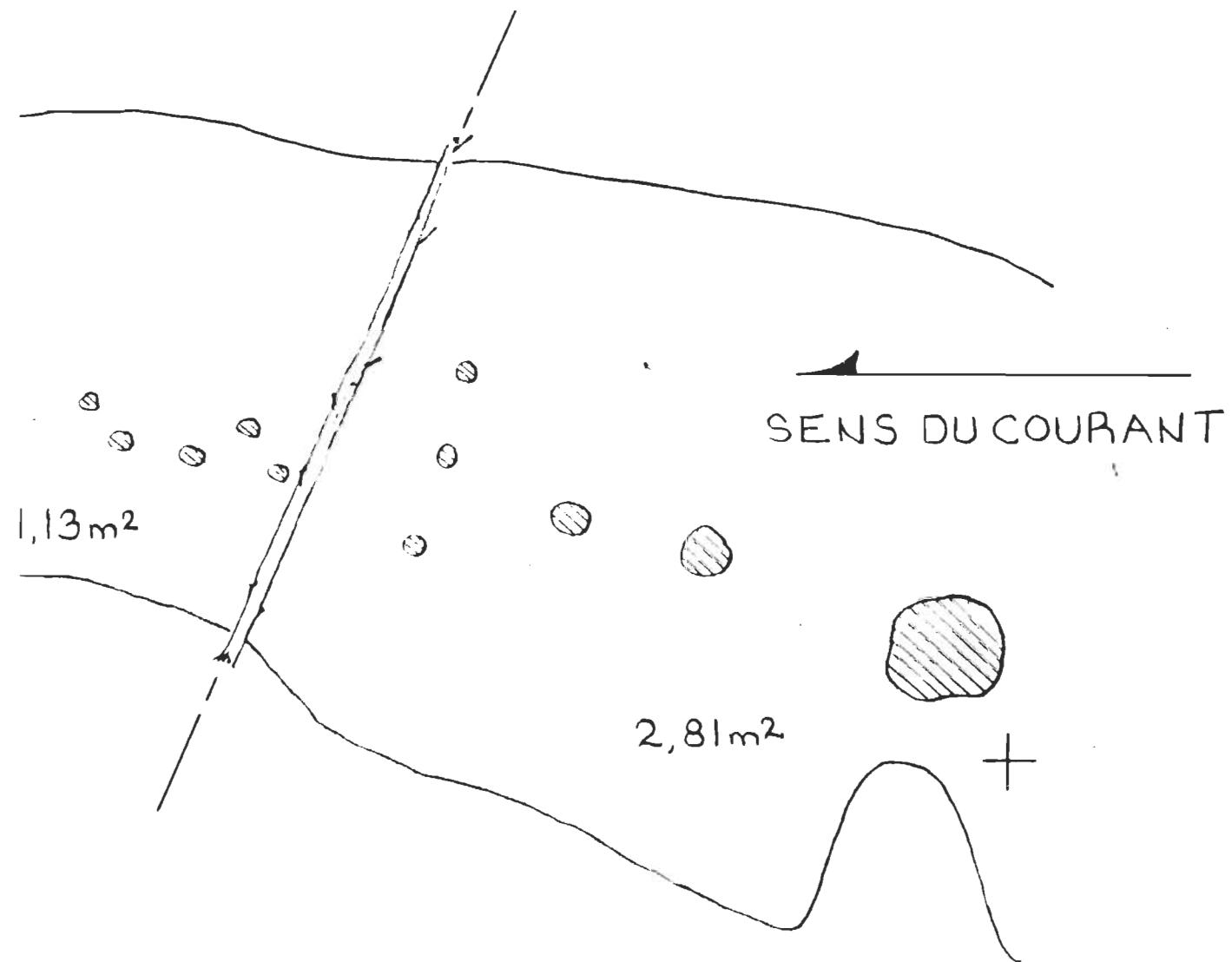
LONGUEUR DE LA FRAYÈRE : 150 m

DENIVELLATION = 2,50m





7



FRAYÈRE AMÉNAGÉE
DU LAC SAINT-MICHEL
PAR: MICHEL BARIL
DÉCEMBRE 1999