

Université du Québec
INRS-ETE

**UTILISATION DE LA TECHNOLOGIE DES TRANSPONDEURS PASSIFS
(PIT-TAGS) POUR L'ÉTUDE DU COMPORTEMENT SPATIAL
DES SALMONIDÉS DANS UN TRIBUTAIRE DE LA RIVIÈRE
STE-MARGUERITE (SAGUENAY, QUÉBEC)**

Par
Jean-Nicolas Bujold

Mémoire présenté
pour l'obtention
du grade de Maître ès sciences (M.Sc.)
en sciences de l'eau

Jury d'évaluation

Président du jury
et examinateur interne

Patrice Couture, ETE

Examineur externe

Julian Dodson
Département de biologie
Université Laval

Directeur de recherche

Normand Bergeron, ETE

RÉSUMÉ

Selon le paradigme du déplacement restreint qui a été remis en question par Gowan et al. (1994), les salmonidés qui résident dans les cours d'eau sont sédentaires et demeurent la majorité du temps dans des sections restreintes de 20 à 50 m de longueur. Plusieurs études ont supporté le paradigme au cours des dernières décennies, toutefois celles-ci ont utilisé pour la plupart la méthode de marquage-recapture qui présente des lacunes pour détecter les déplacements. Dans la présente étude, les méthodes de marquage-localisation et de marquage-suivi en continu ont été utilisées pour étudier le comportement spatial des saumons atlantiques juvéniles (*Salmo salar*) et des ombles de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) dans un tributaire de la rivière Ste-Marguerite Nord-est (Saguenay, Québec). Ces deux nouvelles méthodes de suivi utilisent de récents développements dans la technologie des transpondeurs passifs (PIT-tag) pour corriger les lacunes reliées à la méthode de marquage-recapture. Les résultats de l'étude montrent que les individus se sont grandement déplacés durant les deux périodes de suivi (i.e. estivale et automnale) et plus étonnamment en période estivale. 40 % des individus détectés ont effectué des déplacements (≥ 50 m) durant la période estivale. De plus, 71 % de tous les déplacements observés ont eu lieu durant cette dernière période. Dans cette étude, trois différents comportements spatiaux ont été définis (i.e. sédentaires, mobiles résidants et mobiles voyageurs). À notre connaissance, le comportement très particulier des individus mobiles voyageurs n'a jamais été documenté auparavant dans la littérature. Ces individus ont aussi parcouru de très grandes distances durant la période estivale (jusqu'à 48 km). L'effet du débit sur les déplacements a été analysé pour les deux périodes de suivi et des tendances significatives ont été observées pour la période automnale. Les résultats de l'étude appuient la remise en question du paradigme du déplacement restreint et de la méthode de marquage-recapture pour l'étude du comportement spatial des salmonidés. De futurs projets de recherche qui utiliseront les nouvelles méthodes de suivi avec les développements de la technologie PIT-tag sont nécessaires pour arriver à avoir une meilleure connaissance des différents comportements spatiaux des salmonidés dont celui des individus mobiles voyageurs et de l'effet du débit sur les déplacements.

REMERCIEMENTS

J'aimerais grandement remercier le réseau de centre d'excellence **GEOIDE** (la GÉOmatique pour des Interventions et des Décisions Éclairées) pour avoir fourni les fonds nécessaires à la réalisation de ce projet de maîtrise. J'aimerais aussi grandement remercier mon directeur de recherche **Normand Bergeron** pour m'avoir donné l'opportunité de faire partie de son équipe et pour m'avoir offert ce projet de maîtrise. Ces nombreux conseils m'ont été très utiles durant toute la durée de ma maîtrise et ils le seront sans doute dans mes projets futurs.

Je ne remercierai jamais assez **Patricia Johnston** pour son aide sans limite. Elle a été présente à tous les moments de mon projet de maîtrise. Elle est devenue au cours des années une très bonne amie. *Merci Pat! Je te souhaite beaucoup de bonheur dans ta nouvelle vie de maman.*

Merci à **Francis Bérubé** et à **Marc-André Pouliot** pour avoir conçu les systèmes PIT-tag qui ont servi au cours de ce présent projet et pour l'aide technique apportée tout au long du projet. Les résultats originaux de ce mémoire proviennent sans contredit de l'utilisation des stations fixes et du système portable qu'ils ont développés. Merci à **André Boivin** du CIRSA pour son aide et ses excellents conseils. Merci à **mes parents** (vous êtes formidables!), à **Nicolas Guillemette**, à **David Sparrow** et à tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin dans ce projet de maîtrise.

Finalement, j'aimerais remercier ma douce **Anne-Marie Boisvert** pour sa patience, son aide et son support durant la rédaction du mémoire. J'aimerais aussi la remercier d'être présente dans ma vie. *On forme vraiment une belle équipe! Je t'aime ma belle!*

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	II
REMERCIEMENTS	III
LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES	VII
INTRODUCTION	1

CHAPITRES

1. LES SALMONIDÉS	4
1.1. LES SALMONIDÉS DU QUÉBEC	4
1.2. LE SAUMON ATLANTIQUE	
1.2.1. Cycle de vie	7
1.2.2. Identification et répartition géographique	11
1.2.3. Alimentation et prédation	12
1.3. L'OMBLE DE FONTAINE	
1.3.1. Cycle de vie	13
1.3.2. Identification et répartition géographique	15
1.3.3. Alimentation et prédation	16
2. LE COMPORTEMENT SPATIAL DES SALMONIDÉS EN RIVIÈRE	18
2.1. LE SUIVI DES DÉPLACEMENTS	18
2.1.1. Les types de marques	19
2.1.1.1. Marques synthétiques	19
2.1.1.1a. Marques synthétiques externes	20
2.1.1.1b. Marques synthétiques internes	20
2.1.1.2. Marques électroniques	21
2.1.1.2a. Radio-émetteurs	21
2.1.1.2b. Transpondeurs passifs (PIT-tags)	23
2.1.2. Les méthodes de suivi	
2.1.2.1. Marquage-recapture	26
2.1.2.1a. Les lacunes du marquage-recapture	26
2.1.2.2. Marquage-localisation	27
2.1.2.3. Marquage-suivi en continu	29
2.2. LES DÉPLACEMENTS CHEZ LES SALMONIDÉS	32
2.3. LES DIFFÉRENTES CAUSES DES DÉPLACEMENTS	32
2.4. L'ÉCHELLE SPATIO-TEMPORELLE DES DÉPLACEMENTS	33
2.5. LE PATRON GÉNÉRAL DES DÉPLACEMENTS	34
2.6. LE PARADIGME DU DÉPLACEMENT RESTREINT	36
2.7. LA REMISE EN QUESTION DU PARADIGME	37

3. MÉTHODOLOGIE	
3.1. SITE D'ÉTUDE.....	38
3.2. APPROCHE GÉNÉRALE.....	40
3.3. DESCRIPTION DES SYSTÈMES PIT-TAG	
3.3.1. Stations fixes	40
3.3.2. Système portable	41
3.4. INSTALLATION DES STATIONS FIXES.....	43
3.5. INSTRUMENTATION ADDITIONNELLE.....	43
3.6. CAPTURE ET MARQUAGE.....	44
3.7. SUIVI DES DÉPLACEMENTS	
3.7.1. Stations fixes	48
3.7.2. Système portable	48
3.8. ANALYSE DES DÉTECTIONS ET DES DÉPLACEMENTS.....	48
4. RÉSULTATS	
4.1. DÉTECTIONS EFFECTUÉES PAR LES STATIONS FIXES ET LE SYSTÈME PORTABLE.....	52
4.2. MOBILITÉ ET PATRON DES DÉPLACEMENTS OBSERVÉS DURANT L'ÉTUDE.....	53
4.3. COMPORTEMENTS SPATIAUX OBSERVÉS DURANT L'ÉTUDE.....	58
4.3.1. Individus sédentaires	58
4.3.2. Individus mobiles	63
4.3.2.1. Individus mobiles résidents.....	65
4.3.2.1a. <i>Déplacements en période estivale</i>	66
4.3.2.1b. <i>Déplacements en période automnale</i>	69
4.3.2.2. Individus mobiles voyageurs.....	71
4.4. INFLUENCE DU DÉBIT SUR LES DÉPLACEMENTS DES INDIVIDUS DE L'ÉTUDE	
4.4.1. Débits enregistrés pendant la période de suivi	77
4.4.2. Influence du débit sur les déplacements des individus sédentaires	78
4.4.3. Influence du débit sur les déplacements des individus mobiles résidents	
4.4.3a. <i>Déplacements en période estivale</i>	80
4.4.3b. <i>Déplacements en période automnale</i>	82
4.4.4. Influence du débit sur les déplacements des individus mobiles voyageurs	84
5. DISCUSSION	86
5.1. BILAN DE L'UTILISATION DES STATIONS FIXES ET DU SYSTÈME PORTABLE.....	86
5.2. LES COMPORTEMENTS SPATIAUX OBSERVÉS DURANT L'ÉTUDE	
5.2.1. Les individus mobiles voyageurs	88

5.2.2. Le comportement automnal des individus sédentaires et mobiles résidants	92
5.2.3. La classification comportementale des individus de l'étude	92
5.3. INFLUENCE DU DÉBIT SUR LES DÉPLACEMENTS DES INDIVIDUS DE L'ÉTUDE	94
CONCLUSION	96
BIBLIOGRAPHIE	98

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 2.1. Méthodes de suivi associées aux différents types de marques. p.18.

Tableau 4.1. Résumé des informations sur les déplacements observés avec le système portable, les stations fixes et les deux systèmes réunis pendant la période de suivi. p.54.

Tableau 4.2. Résumé des informations sur les déplacements effectués par les individus sédentaires et mobiles durant l'étude. p.60.

Tableau 4.3. Valeurs estimées par vraisemblance maximum des paramètres des régressions de Poisson significatives entre le nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont et l'aval des individus sédentaires enregistrées à chaque jour pendant la période automnale par les stations fixes et le débit moyen journalier. p.80.

Tableau 4.4. Valeurs estimées par vraisemblance maximum des paramètres de la régression de Poisson significative entre le nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont des individus mobiles résidants enregistrées à chaque jour pendant la période estivale par les stations fixes et le débit moyen journalier. p.81.

Tableau 4.5. Valeurs estimées par vraisemblance maximum des paramètres des régressions de Poisson significatives entre le nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont ainsi que vers l'aval des individus mobiles résidants enregistrées à chaque jour pendant la période automnale par les stations fixes et le débit moyen journalier. p.83.

Tableau 4.6. Valeurs estimées par vraisemblance maximum des paramètres de la régression de Poisson significative entre le nombre de détections associées aux déplacements des individus mobiles voyageurs enregistrées à chaque jour pendant la période estivale par les stations fixes et le débit moyen journalier. p.85.

Figure 1.1. Représentation des espèces de salmonidés les plus communes au Québec (stade adulte). (a) saumon atlantique; (b) omble de fontaine; (c) touladi; (d) omble chevalier; (e) truite arc-en-ciel; (f) truite brune. Tirée des publications du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF). p.6.

Figure 1.2. Cycle de vie du saumon atlantique anadrome. p.7.

Figure 1.3. Migration en eau salée de différentes populations de saumons atlantiques. Les lignes pointillées délimitent la Mer du Labrador. Tirée et adaptée des publications de la Fédération du saumon atlantique (FSA). p.9.

Figure 1.4. Répartition géographique du saumon atlantique au Québec et dans les provinces avoisinantes. Tirée de Bernatchez et Giroux (2000). p.12.

Figure 1.5. Cycle de vie résidant et anadrome de l'omble de fontaine de la rivière Ste-Marguerite, Saguenay. Tirée de Morinville et Thériault (2004). p.14.

Figure 1.6. Répartition géographique de l'omble de fontaine au Québec et dans les provinces avoisinantes. Tirée de Bernatchez et Giroux (2000). p.17.

Figure 2.1. Illustration de radio-émetteurs (Lotek SR-series). Tirée de www.lotek.com. p.22.

Figure 2.2. Emplacement du transpondeur passif dans la cavité péritonéale du poisson. p.23.

Figure 2.3. Illustration d'un transpondeur passif (Texas instruments RI-TRP-WRHP 23 mm). p.24.

Figure 2.4. Représentation schématique d'un système PIT-tag portable à antenne ronde de 0,5 m de diamètre, situé à l'extrémité d'une tige de PVC de 2 m (W), reliée à un récepteur (R) et à un afficheur (C). Le récepteur et la batterie (B) sont situés dans un sac pour faciliter le transport. Le système fonctionne en mode HDX. Tirée et modifiée de Zydlewski et al. (2001). p.28.

Figure 2.5. Représentation schématique d'un système PIT-tag portable à antenne rectangulaire de grande dimension (5 x 0,35m). Le sac à dos contient la batterie (BU) et le récepteur (RU). Les pôles (Pole) sont utilisés pour manipuler l'antenne. Le système fonctionne en mode HDX. Tirée et modifiée de Linnansaari et Cunjak (2007). p.29.

Figure 2.6. Représentation schématique d'une station PIT-tag fixe à antennes multiples. Les différents symboles (ronds, lignes et croix) représentent les antennes. Le rectangle en pointillé sur la berge représente le récepteur. La flèche indique la direction du courant. Tirée de Johnston et al. (2009). p.31.

Figure 2.7. Représentation schématique d'une station PIT-tag fixe constituée de deux antennes de 4 m par 1,2 m installées à la verticale en appui sur les piliers d'un pont (T : ensemble de condensateurs). Les antennes sont reliées à un récepteur (R) et à un enregistreur (C) qui fonctionnent à l'aide d'une batterie (B). Ce système fonctionne en mode HDX. Tirée et modifiée de Zydlewski et al. (2001). p.31.

Figure 2.8. Patron spatio-temporel constitué des différentes phases de déplacements du saumon atlantique. L'âge à la smoltification et les distances relatives pouvant changer entre les différentes populations, les phases de déplacements gardent cependant la même logique temporelle. Tirée de McCormick et al. (1998). p.35.

Figure 3.1. Représentations géographiques situant le ruisseau Xavier par rapport aux entités hydrographiques environnantes (a) et dans la province de Québec (b). p.38.

Figure 3.2. Emplacement de la section d'étude sur le ruisseau Xavier. p.39.

Figure 3.3. Représentation schématique d'une station fixe. p.41.

Figure 3.4. Représentation schématique du système portable (a) et illustration de son utilisation (b). p.42.

Figure 3.5. Schéma de la disposition des antennes des stations fixes sur le ruisseau Xavier. Les distances indiquent la position des antennes par rapport à l'embouchure du ruisseau. Les distances ne sont pas à l'échelle sur le schéma. p.43.

Figure 3.6. Étapes de la chirurgie permettant l'introduction du transpondeur passif. (a) Incision; (b) Introduction du transpondeur; (c) et (d) Fermeture et aspect de la plaie. p.46.

Figure 3.7. Distribution de la longueur à la fourche (a) et de la masse (b) des saumons ainsi que des ombles marqués et remis à l'eau durant l'étude (n=131). p.47.

Figure 3.8. Représentation schématique qui démontre comment les déplacements ont été définis dans cette étude. Les suivis correspondent aux localisations effectuées avec le système portable. Les flèches pointillées indiquent les déplacements. p.50.

Figure 4.1. Proportion des poissons détectés qui ont effectué un ou plusieurs déplacements durant l'expérience. p.55.

Figure 4.2. Distribution du nombre de déplacements effectués par les poissons qui se sont déplacés durant l'étude (n=78). p.55.

Figure 4.3. Distribution de la distance parcourue durant toute la période de suivi par les poissons qui se sont déplacés (n=78). Noter la coupure de l'axe des abscisses dans le graphique. p.56.

Figure 4.4. Patron spatio-temporel des déplacements effectués par les poissons qui se sont déplacés durant l'étude. Le graphique illustre le nombre de détections effectuées à chaque jour par toutes les stations fixes. Les détections enregistrées par les stations fixes se produisent lorsque les poissons nagent au-dessus des antennes transversales. Le nombre de détections enregistrées est ainsi relié au nombre de poissons qui se déplacent et à la distance qu'ils parcourent. p.57.

Figure 4.5. Patron spatio-temporel des déplacements des individus sédentaires. Le graphique illustre le nombre de détections des individus sédentaires effectuées à chaque jour par toutes les stations fixes. p.61.

Figure 4.6. Distribution du nombre de déplacements effectués par les individus sédentaires en période automnale (n=31). p.62.

Figure 4.7. Distribution de la distance parcourue par les individus sédentaires en période automnale (n=31). p.62.

Figure 4.8. Distribution journalière des déplacements des individus sédentaires pendant la période automnale. Le graphique illustre le nombre de détections des individus sédentaires effectuées à chaque heure de la journée par toutes les stations fixes du 1^{er} octobre au 15 novembre. p.63.

Figure 4.9. Longueur fourche moyenne (\pm écart-type) des individus des différents groupes comportementaux de l'étude (i.e. mobiles voyageurs, mobiles résidents et sédentaires). Un test de Kruskal-Wallis a été effectué pour déterminer s'il existe ou non une différence entre les groupes par rapport à la longueur fourche des individus. Le résultat est présenté dans l'encadré situé dans le haut du graphique. p.64.

Figure 4.10. Masse moyenne (\pm écart-type) des individus des différents groupes comportementaux de l'étude (i.e. mobiles voyageurs, mobiles résidents et sédentaires). Un test de Kruskal-Wallis a été effectué pour déterminer s'il existe ou non une différence entre les groupes par rapport à la masse des individus. Le résultat est présenté dans l'encadré situé dans le haut du graphique. p.65.

Figure 4.11. Patron spatio-temporel des déplacements des individus mobiles résidents. Le graphique illustre le nombre de détections des individus mobiles résidents effectuées à chaque jour durant la période de suivi par toutes les stations fixes. p.66.

Figure 4.12. Distribution du nombre de déplacements effectués par les individus mobiles résidents en période estivale (n=31). p.67.

Figure 4.13. Distribution de la distance parcourue par les individus mobiles résidents en période estivale (n=31). p.68.

Figure 4.14. Distribution journalière des déplacements des individus mobiles résidents pendant la période estivale. Le graphique illustre le nombre de détections des individus mobiles résidents effectuées à chaque heure de la journée par toutes les stations fixes du 1^{er} août au 30 septembre. p.68.

Figure 4.15. Distribution du nombre de déplacements effectués par les individus mobiles résidents en période automnale (n=17). p.70.

Figure 4.16. Distribution de la distance parcourue par les individus mobiles résidents en période automnale (n=17). p.70.

Figure 4.17. Distribution journalière des déplacements des individus mobiles résidents pendant la période automnale. Le graphique illustre le nombre de détections des individus mobiles résidents effectuées à chaque heure de la journée par toutes les stations fixes du 1^{er} octobre au 15 novembre. p.71.

Figure 4.18. Graphique illustrant une incursion effectuée par quatre poissons (+, Δ , \square , \times) dans le ruisseau Xavier (11-09-07). Les points sur le graphique indiquent les détections effectuées par ces quatre poissons en passant par-dessus les antennes des stations fixes au cours de leur parcours. La superposition des points indique que les poissons passaient en même temps à quelques secondes près sur les antennes. L'efficacité de détection des antennes n'étant pas parfaite, certaines antennes n'ont pas détecté tous les poissons et ce, surtout lors de la descente où les vitesses de déplacements étaient supérieures. p.73.

Figure 4.19. Distribution journalière des déplacements des individus mobiles voyageurs. Le graphique illustre le nombre de détections des individus mobiles voyageurs effectuées à chaque heure de la journée par toutes les stations fixes pendant l'étude. p.74.

Figure 4.20. Distribution du nombre de poissons présents à chacune des incursions. p.74.

Figure 4.21. Patron spatio-temporel des déplacements des individus mobiles voyageurs. Le graphique illustre le nombre de détections des individus mobiles voyageurs effectuées à chaque jour durant la période de suivi par toutes les stations fixes. p.75.

Figure 4.22. Distribution du nombre d'incursions effectuées par les individus mobiles voyageurs pendant la période estivale (n=16). p.76.

Figure 4.23. Distribution de la distance parcourue par les individus mobiles voyageurs en période estivale (n=16). Noter la coupure de l'axe des abscisses dans le graphique. p.76.

Figure 4.24. Débits moyens journaliers enregistrés durant la période de suivi. p.77.

Figure 4.25. Distribution des débits moyens journaliers observés durant la période estivale et automnale. p.78.

Figure 4.26. Nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont et l'aval des individus sédentaires enregistrées à chaque jour pendant la période automnale par les stations fixes (axe gauche des ordonnées) illustré avec les débits moyens journaliers (axe droit des ordonnées). p.79.

Figure 4.27. Nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont et l'aval des individus mobiles résidants enregistrées à chaque jour pendant la période estivale par les stations fixes (axe gauche des ordonnées) illustré avec les débits moyens journaliers (axe droit des ordonnées). p.81.

Figure 4.28. Nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont et l'aval des individus mobiles résidants enregistrées à chaque jour pendant la période automnale par les stations fixes (axe gauche des ordonnées) illustré avec les débits moyens journaliers (axe droit des ordonnées). p.83.

Figure 4.29. Nombre de détections associées aux déplacements des individus mobiles voyageurs enregistrées à chaque jour pendant la période estivale par les stations fixes (axe gauche des ordonnées) illustré avec les débits moyens journaliers (axe droit des ordonnées). p.85.

INTRODUCTION

En raison du grand intérêt accordé par les pêcheurs et les consommateurs à leur égard, les salmonidés ont une grande importance sociale ainsi qu'économique dans plusieurs pays du monde incluant le Canada (Whoriskey et Glebe 1998). Malgré ce fait, de nombreuses populations salmonicoles sont en déclin et certaines se sont même éteintes lors du dernier siècle. La surpêche, la dégradation des habitats et les obstacles aux déplacements tels que les barrages, les ponceaux et les seuils sont parmi les causes possibles de la détérioration de ces populations. Dans les dernières décennies, de nombreuses études se sont intéressées aux salmonidés et plus spécifiquement à certaines espèces comme le saumon atlantique ainsi que l'omble de fontaine en raison de leur plus grande importance socio-économique. Ces études ont souvent visé à comprendre les différents besoins des poissons pour assurer leur survie, une bonne croissance et une reproduction appropriée. Ces connaissances sont essentielles dans le processus d'identification, de compréhension et de gestion des problématiques qui peuvent empêcher les salmonidés de répondre à leurs besoins. Les études sur les déplacements des salmonidés sont ainsi très importantes car elles permettent de définir leur comportement spatial et d'identifier les différents habitats qu'ils utilisent. De plus, elles nous informent sur la connectivité qui existe entre ces habitats et sur l'importance de la conserver. De ce fait, les études sur les déplacements des salmonidés ont une importance primordiale pour la compréhension de leur écologie ainsi que pour la conservation et la gestion de leurs populations (Kahler et al. 2001).

Au cours des dernières décennies, le marquage-recapture a été une méthode très utilisée pour suivre les déplacements des salmonidés dans les cours d'eau (Gowan et al. 1994). La méthode de marquage-recapture consiste à marquer des poissons, à les remettre à un endroit déterminé et à tenter de les recapturer après un intervalle de temps donné en parcourant une section prédéfinie. Cette méthode a toutefois été remise en question car elle est limitée

par rapport aux déplacements qu'elle peut détecter (Gowan et al. 1994). Elle présente une difficulté à détecter les déplacements qui se déroulent sur de plus grandes distances. Cette dernière lacune a conduit à une compréhension possiblement erronée du comportement spatial de ces poissons (Gowan et al. 1994). Selon cet auteur, le paradigme du déplacement restreint reconnaîtrait faussement les salmonidés comme étant principalement sédentaires et pour rester la majorité de leur temps dans des sections restreintes de 20 à 50 m de longueur, à l'exception des phases de déplacements qui se déroulent au printemps ainsi qu'à l'automne. Les populations de salmonidés seraient en réalité constituées d'une proportion considérable d'individus qui sont davantage mobiles et qui démontrent un ou des comportements spatiaux différents de celui qui est décrit dans la littérature (Gowan et al. 1994). La méthode de marquage-recapture est aussi limitée par rapport à l'information qu'elle peut fournir sur les déplacements qu'elle détecte. Par exemple, elle ne permet pas de définir le moment et la vitesse des déplacements des poissons. De plus, elle ne permet pas d'offrir beaucoup de renseignements sur l'influence des conditions environnementales sur les déplacements.

Le développement de nouvelles méthodes de suivi était requis pour permettre de mieux suivre et décrire les déplacements des salmonidés en rivière. Depuis quelques années, deux nouvelles méthodes de suivi alternatives sans recapture permettent d'étudier plus adéquatement les déplacements des salmonidés, soit le marquage-localisation et le marquage-suivi en continu. Ces dernières ont vu le jour grâce à l'utilisation de marques électroniques qui peuvent être détectées à distance (i.e. radio-émetteurs et transpondeurs passifs). Avec les transpondeurs passifs (PIT-tags), ces nouvelles méthodes sont applicables pour suivre des individus de petites et grandes tailles sur de longues périodes de temps à un coût abordable (Zydlewski et al. 2006). La localisation des poissons marqués avec des PIT-tags peut s'effectuer de façon ponctuelle dans le temps avec un système de détection portable (Roussel et al. 2000; Zydlewski et al. 2001) ou de façon continue en utilisant une ou des stations de détection fixes

réparties à différents points d'un cours d'eau (Zydlewski et al. 2001; Zydlewski et al. 2006). Malgré ces possibilités, les développements de la technologie PIT-tag ont été très peu exploités pour suivre les déplacements des salmonidés en rivière et pour en apprendre davantage sur leur comportement spatial.

Le principal objectif de cette étude est ainsi de déterminer, par la méthode de marquage-localisation et celle de suivi en continu, le comportement spatial des saumons atlantique juvéniles (*Salmo salar*) et d'ombles de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) dans un cours d'eau naturel en utilisant la technologie des transpondeurs passifs (PIT-tag). Selon notre hypothèse, les salmonidés devraient être davantage mobiles que décrit dans la littérature et ainsi, d'autres comportements spatiaux devraient être observés.

D'autre part, l'influence du débit sur les déplacements des salmonidés n'a pratiquement pas été étudiée (Gowan et al. 1994, Rodriguez et al. 2002). De ce fait, aucune conclusion n'a été définie concernant son influence. Néanmoins, quelques études ont observé que les débits élevés stimulaient la dévalaison des smolts (McCormick et al. 1998). Les stations PIT-tag fixes offrent une excellente résolution temporelle pour étudier l'influence possible du débit sur les déplacements car ils fonctionnent en continu. ***Le second objectif de cette étude vise ainsi à déterminer l'influence du débit sur les déplacements des salmonidés de l'étude. Selon notre hypothèse, les déplacements des individus pourraient être influencés par des débits élevés.***

Dans le premier chapitre de ce document, des informations générales sur les salmonidés présents au Québec sont exposées et des précisions sur les espèces de l'étude sont apportées. Dans le second chapitre, les différents types de marques et méthodes pour suivre les déplacements des salmonidés dans les cours d'eau sont présentées. Une revue des connaissances sur le comportement spatial des salmonidés en rivière est aussi réalisée. La méthodologie, les résultats et la discussion sont présentés dans les chapitres suivants.

CHAPITRE 1

LES SALMONIDÉS

Les salmonidés constituent une grande famille de poissons osseux qui sont généralement associés aux eaux froides et riches en oxygène. Cette famille de poissons domine les communautés de poissons nordiques de l'Amérique, de l'Europe et de l'Asie de par sa grande répartition et son abondance. Cette importante répartition combinée à des caractéristiques intéressantes pour la pêche et la consommation font de cette famille de poissons l'une des plus importantes historiquement, économiquement et socialement. Les salmonidés sont constitués d'individus résidants qui restent en eau douce toute leur vie et d'individus anadromes qui quittent leur cours d'eau pour séjourner en mer. Ils fraient tous en eau douce et généralement à l'automne. Les différentes espèces de salmonidés retrouvées mondialement, soit environ 70 espèces, présentent des caractéristiques différenciées tant sur le plan physique que sur leur mode de vie et leur alimentation. Néanmoins, ils montrent certaines similitudes qui permettent de bien les identifier. Ils sont tous de forme élancée et ils arborent une petite nageoire qui est quasiment unique à cette famille, appelée nageoire adipeuse, qui est dépourvue de rayons et qui se situe sur le dos derrière la nageoire dorsale.

1.1. LES SALMONIDÉS DU QUÉBEC

Les salmonidés retrouvés au Québec se divisent en deux sous-familles, soit les corégoninés (corégone, cisco, ménomini) et les salmoninés. Cette dernière sous-famille regroupe les saumons, les truites et les ombles. On retrouve dix espèces de salmoninés au Québec, dont quatre d'entre elles sont indigènes. Les espèces indigènes au Québec sont le saumon atlantique (*Salmo salar*) (Fig. 1.1a), l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) (Fig. 1.1b), le touladi (*Salvelinus namaycush*) (Fig. 1.1c) et l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) (Fig. 1.1d). En ce

qui concerne les espèces introduites, deux d'entre elles se sont bien acclimatées et prolifèrent dans les eaux du Québec, soit la truite arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) (Fig. 1.1e) et la truite brune (*Salmo trutta*) (Fig. 1.1f).

Les autres espèces introduites, soit le kokani (*Oncorhynchus nerka*), la truite fardée (*Oncorhynchus clarki*), le saumon coho (*Oncorhynchus kisutch*) et le saumon chinook (*Oncorhynchus tshawytscha*), sont restreints à quelques plans d'eau laurentiens et aux eaux du fleuve St-Laurent (Bernatchez et Giroux 2000). Une espèce hybride appelée omble moulac se retrouve aussi au Québec. Elle provient d'un croisement artificiel entre deux espèces indigènes soit l'omble de fontaine et le touladi. Toutefois, cet hybride est très peu abondant et il est limité à quelques plans d'eau sur le territoire québécois.

Des quatre espèces indigènes au Québec, le saumon atlantique et l'omble de fontaine sont les espèces les plus importantes sur le plan historique, économique et social. Initialement utilisés comme source de nourriture par les autochtones et les colons, ces salmonidés sont devenus par la suite des objets commerciaux et récréatifs. Ils sont consommés pour l'excellence de leur chair et pêchés pour leur esprit combatif ainsi que leur beauté. Leur grande distribution géographique et abondance d'autrefois ont favorisé le développement des interactions entre ces salmonidés et les occupants du territoire. De nos jours, ils sont encore pêchés sportivement par de nombreux adeptes de la pêche et ils font profiter le Québec de revenus très intéressants. De plus, les individus d'élevage, qui ont remplacé les individus sauvages pour la vente commerciale, sont encore consommés par plusieurs. Sans contredit, ces deux espèces bénéficient d'une place symbolique dans l'histoire du Québec.

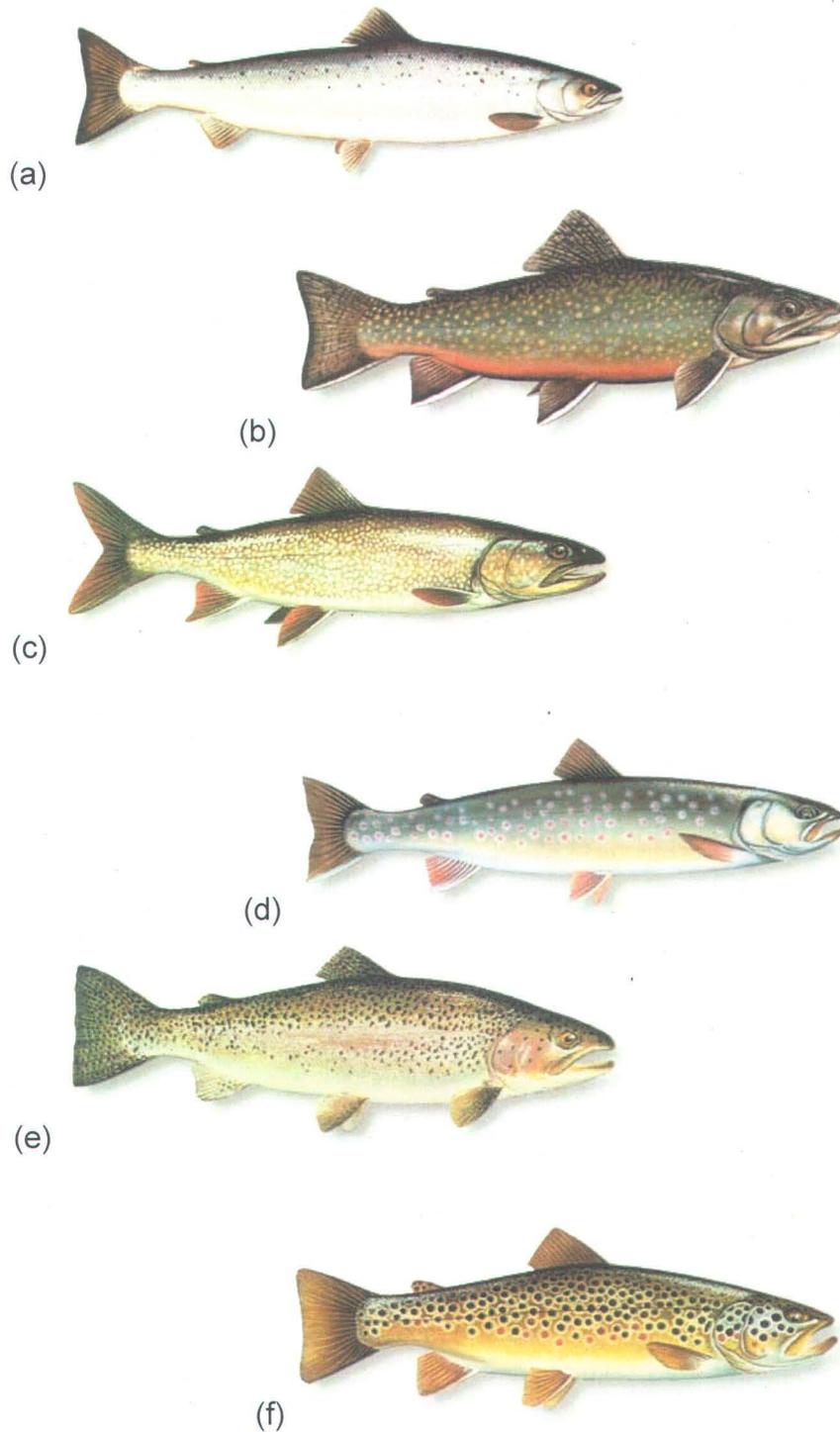


Figure 1.1. Représentation des espèces de salmonidés les plus communes au Québec (stade adulte). (a) saumon atlantique; (b) omble de fontaine; (c) touladi; (d) omble chevalier; (e) truite arc-en-ciel; (f) truite brune. Tirée des publications du ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec (MRNF).

1.2. LE SAUMON ATLANTIQUE

1.2.1. Cycle de vie

Le saumon atlantique débute sa vie en eau douce (Fig. 1.2). Après l'éclosion des œufs au printemps, les alevins resteront enfouis dans le substrat de leur nid jusqu'à l'épuisement des réserves d'énergie contenues dans leur sac vitellin. Lorsqu'ils émergent du substrat, ils s'établissent dans des secteurs peu profonds et à courants modérés. Par la suite, lorsque les alevins atteignent environ 60 mm en longueur, des marques verticales apparaissent sur leurs

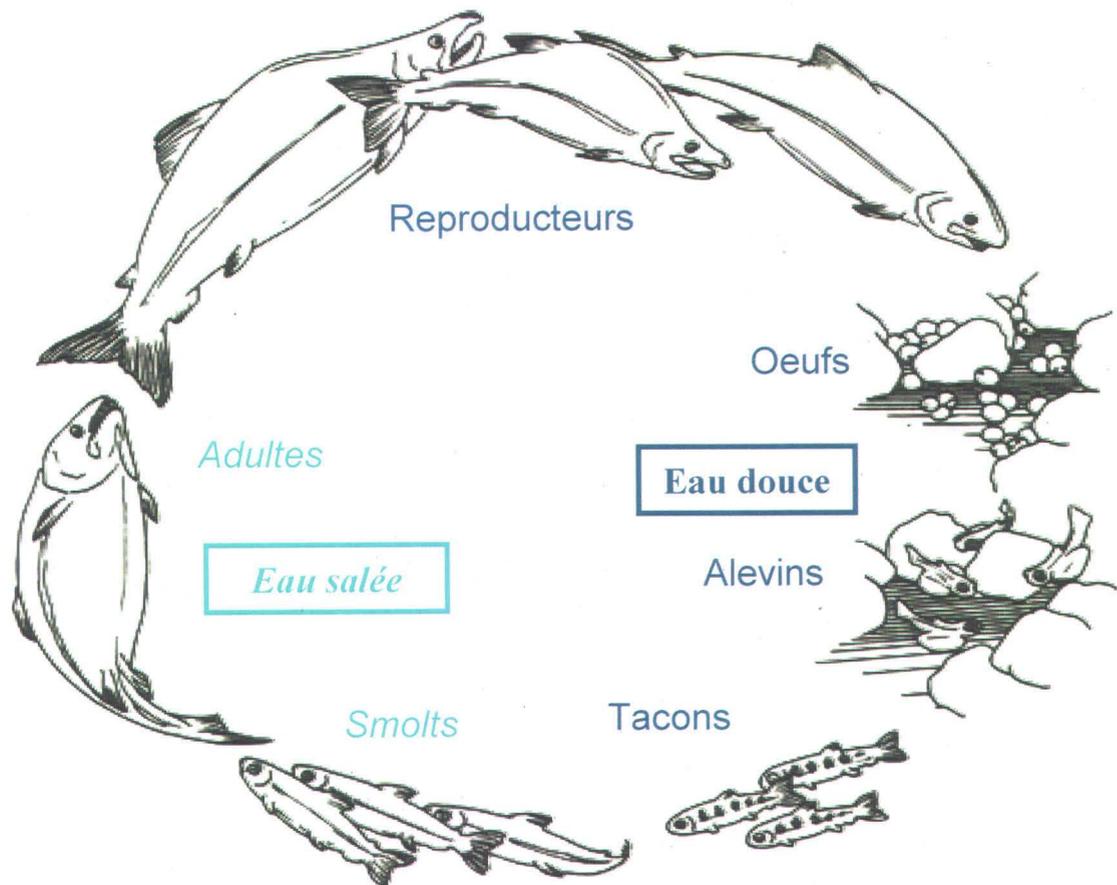


Figure 1.2. Cycle de vie du saumon atlantique anadrome.

flancs (Bernatchez et Giroux 2000). Ils sont alors considérés des tacons. Les tacons se retrouvent typiquement sur les seuils où les vitesses de courants sont plus élevées et le substrat plus grossier. Les tacons restent en eau douce jusqu'à l'atteinte d'une taille (120 mm à 150 mm) qui leur permettra de s'adapter physiologiquement à l'eau salée en vue d'effectuer une migration printanière qui les mènera en milieu salin. Le processus d'adaptation physiologique à l'eau salée se nomme la smoltification et les individus ayant subi cette transformation se nomment des smolts. Les smolts perdent leurs marques verticales, présentes chez le stade de tacon, pour prendre une coloration argentée. Lors de ce processus physiologique, les smolts mémorisent l'odeur distinctive de leur cours d'eau. Ils se serviront de cette empreinte olfactive au moment de leur retour en eau douce comme reproducteur pour se diriger vers leur cours d'eau d'origine (McCormick et al. 1998). Le cheminement des alevins jusqu'à l'étape de la smoltification peut prendre plus ou moins de temps dépendamment de la vitesse à laquelle les individus croissent. La croissance est dépendante de la température et de la quantité de nourriture disponible. Les alevins des rivières plus australes du Québec atteignent généralement le stade de tacons au printemps suivant celui de leur éclosion. Ils deviennent ensuite des smolts deux à trois années plus tard.

Une fois rendus en eau salée, les smolts profitent de l'abondance des ressources alimentaires qui leur est disponible pour croître et atteindre la maturité sexuelle. Les adultes passent généralement d'un à trois hivers en eau salée avant de retourner en eau douce pour frayer. Ils migrent en direction de l'océan Atlantique et généralement vers les eaux de la mer du Labrador (Fig. 1.3). Ils peuvent se retrouver dans les eaux côtières ou en haute mer. Les individus qui séjournent plus longuement en eau salée parcourent de plus grandes distances et peuvent se retrouver sur les côtes du Groenland (mer du Labrador) et même en mer d'Irlande (Bernatchez et Giroux 2000). Les saumons qui passent un seul hiver en eau salée avant de revenir en eau douce se

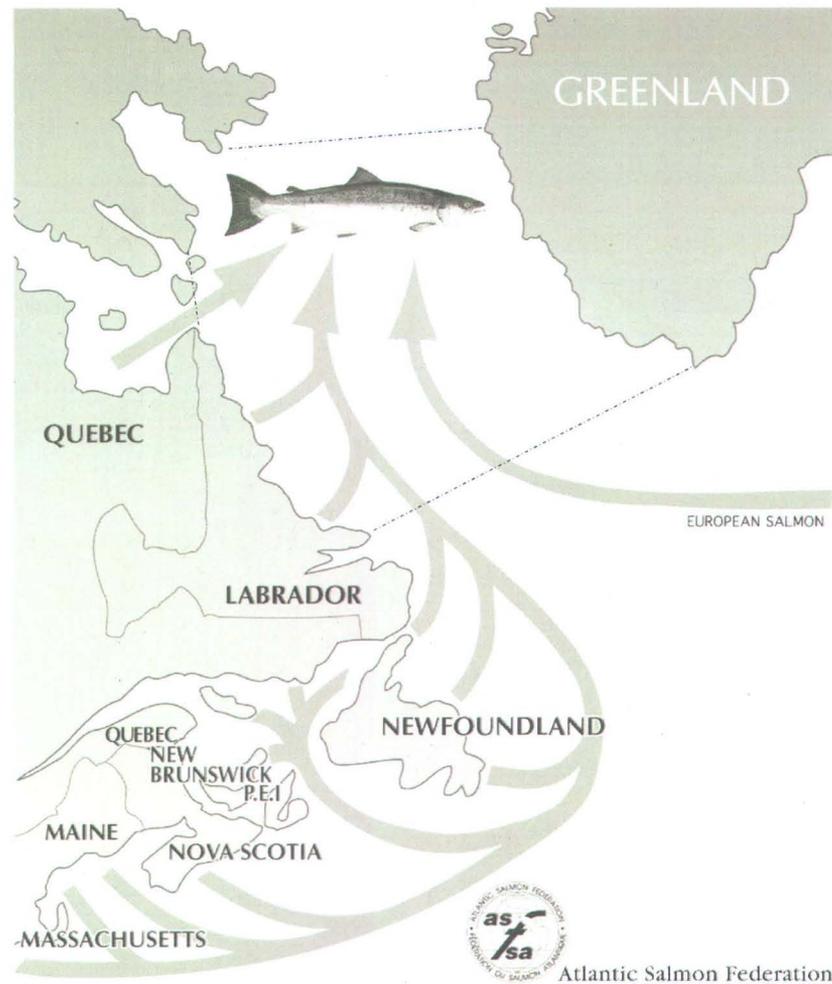


Figure 1.3. Migration en eau salée de différentes populations de saumons atlantiques. Les lignes pointillées délimitent la Mer du Labrador. Tirée et adaptée des publications de la Fédération du saumon atlantique (FSA).

nomment des madeleineaux ou unibermarins et ils sont surtout des mâles. Ceux qui restent deux ou trois hivers consécutifs se nomment des dibermarins et des tribermarins respectivement. Chez certaines populations de saumons atlantique, les smolts ne migreront pas jusqu'à la mer. Ils se contentent de grands lacs qui leur offrent également une bonne abondance de ressources alimentaires. Les individus de ces populations sont appelés des ouananiches et ils sont considérés non-anadromes. Par exemple, on peut penser aux populations de ouananiche du lac St-Jean qui effectuent des migrations entre les tributaires et le lac sans jamais se rendre à l'eau salée.

Le retour en eau douce pour la reproduction s'effectue dans la période du mois de juin à septembre. Les reproducteurs retournent généralement à leur rivière natale pour frayer et ils s'orientent en s'aidant de différents indices comme l'odeur distinctive de celle-ci qu'ils avaient mémorisée lors de la smoltification. La fraie s'effectue ensuite durant le mois d'octobre ou novembre. La femelle choisit l'emplacement où elle veut déposer ses œufs. Les sites de fraie sont typiquement des zones de graviers avec des vitesses de courants et des profondeurs modérées (McCormick et al. 1998). La femelle creuse le nid en effectuant des battements avec la partie postérieure de son corps. Elle dépose ensuite ses œufs dans le nid en même temps qu'un ou plusieurs mâles les fécondent. Elle les recouvre ensuite de substrat. Une femelle peut déposer de 1500 à 1800 œufs par kilogramme de masse corporelle. Après la fraie, les reproducteurs hivernent généralement dans des fosses en attendant de dévaler pendant la crue des eaux au printemps suivant. Ne s'étant pas nourri depuis leur arrivée en eau douce et ayant vraisemblablement épuisé leurs réserves d'énergie, les reproducteurs qui dévalent au printemps arborent une coloration très foncée qui leur donne l'appellation de saumons noirs. S'ils survivent à leur retour en eau salée, ils pourront par la suite revenir lors des années subséquentes comme multi-frayeurs. Les œufs déposés et fécondés par les reproducteurs passeront un hiver dans le substrat du cours d'eau. Au printemps suivant, les alevins émergeront des nids.

Ce cycle de vie du saumon atlantique illustre l'avenue typique qui est empruntée par cette espèce. Cependant, certains individus empruntent un autre parcours. On nomme ces individus les précoces. Ce sont des tacons mâles d'au plus 150 mm qui ont atteint leur maturité sexuelle en eau douce sans effectuer la migration en eau salée (Bernatchez et Giroux 2000). Ils passent du stade juvénile au stade mature avant les autres poissons de leur cohorte qui eux doivent attendre leur séjour en eau salée pour l'atteindre. Cette tactique comporte des avantages et des inconvénients. En restant en eau douce, les précoces accentuent leurs chances de se reproduire pendant leur existence en évitant la

migration en mer qui comporte un risque élevé de mortalité. Cependant, n'ayant pas accès aux ressources abondantes du milieu marin, ils bénéficient d'une moins grande réserve énergétique lors de leur développement sexuel. De ce fait, les précoces ont une moins grande fécondité et ils souffrent davantage des coûts énergétiques nécessaires à l'atteinte de la maturité. Ne pouvant pas rivaliser avec les gros mâles reproducteurs pendant le temps de la fraie, les précoces se faufilent entre les adultes pour aller répandre leur semence sur les œufs lors de la déposition. Cette stratégie reproductive qu'est la précocité n'est pas négligeable, car sur certaines rivières, les précoces représentent jusqu'à 75 % des reproducteurs (Bernatchez et Giroux 2000). Cependant, les précoces fécondent un faible pourcentage des œufs d'un nid (1-2%) (Jones et Hutchings 2002). Il s'agit clairement d'un compromis entre l'assurance de féconder quelques œufs et l'incertitude d'en féconder un grand nombre.

1.2.2. Identification et répartition géographique

Le saumon atlantique adulte prend des teintes de bleu-gris sur le dos et des teintes argentées sur les flancs. En période de fraie, sa coloration devient brun foncé et les mâles arborent des petits points rouges. Il possède de grosses écailles qui sont très visibles. Sa tête, son dos et sa nageoire dorsale présentent de gros points noirs sur un fond pâle (Fig.1.1a). On peut ainsi différencier le saumon atlantique des ombles qui ont des tâches pâles sur un fond foncé. En opposition aux saumons du Pacifique et à la truite arc-en-ciel, sa queue n'est pas tachetée de points noirs. De plus, ses points noirs ne sont pas entourés d'un halo comme chez la truite brune. Il pèse généralement entre 1,5 et 8,0 kg à la première fraie, mais les multi-frayeurs peuvent atteindre des masses beaucoup plus élevées. Par exemple, le plus grand saumon capturé mondialement a été pêché en Norvège en 1928. Il pesait 35,9 kg et mesurait 1,3 m (Bernatchez et Giroux 2000). La répartition géographique du saumon atlantique au Québec peut être représentée sommairement par les régions de la Capitale-Nationale, du Bas-

St-Laurent, du Saguenay-Lac-St-Jean, de la Côte-Nord, de la Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine et de la région du Nord-du-Québec qui borde le Labrador (Fig. 1.4).



Figure 1.4. Répartition géographique du saumon atlantique au Québec et dans les provinces avoisinantes. Tirée de Bernatchez et Giroux (2000).

1.2.3. Alimentation et prédation

Les saumons atlantiques juvéniles se nourrissent majoritairement d'insectes terrestres et aquatiques qui dérivent dans le courant ou qui se retrouvent sur le substrat. Leurs prédateurs potentiels au Québec sont le martin-pêcheur d'Amérique (*Ceryle alcyon*), le grand harle (*Mergus merganser*), le vison (*Mustela vison*), la loutre de rivière (*Lontra canadensis*), l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) et l'omble de fontaine (*Salvelinus fontinalis*) (Bernatchez et Giroux 2000).

En mer, les saumons se nourrissent de petits poissons, comme le lançon d'Amérique (*Amodytes americanus*), l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*), le capelan (*Mollotus villosus*) et le hareng atlantique (*Clupea harengus harengus*), et de petits crustacés. Les prédateurs du saumon en milieu marin sont

essentiellement des poissons de plus grandes tailles, des oiseaux et des mammifères piscivores. En rivière, les reproducteurs ne s'alimentent pas et ils n'ont pas de prédateurs définis.

1.3. L'OMBLE DE FONTAINE

1.3.1. Cycle de vie

Il existe deux formes différentes chez l'omble de fontaine soit la forme résidante, communément appelée truite mouchetée et la forme anadrome, mieux connue sous l'appellation de truite de mer. Ces deux formes appartenant bien à la même espèce présentent des cycles de vie différents, car l'omble de fontaine anadrome séjourne en eau salée durant sa vie tandis que le résidant reste en eau douce (Fig. 1.5).

L'omble de fontaine résidant et anadrome débutent leur vie en eau douce. Après l'éclosion qui se déroule au début mai dans les rivières australes du Québec, les alevins émergent du substrat environ trois semaines plus tard. Lorsqu'ils deviennent aptes à nager dans le courant, on peut retrouver davantage les juvéniles résidants dans les fosses où le courant est lent et les juvéniles anadromes sur des seuils où le courant est plus rapide. La génétique et l'environnement déterminent si l'omble est anadrome ou résidant (Morinville et Thériault 2004). Après une première année passée en eau douce, certains ombles vont exécuter une dévalaison printanière vers l'eau salée tandis que d'autres vont y rester. Les ombles qui décident de rester en eau douce sont soit des ombles résidants ou des ombles anadromes qui dévaleront dans les années subséquentes. Les ombles anadromes profiteront d'un milieu qui sera plus productif et ils s'alimenteront davantage que les résidants. Leurs taux de croissance étant plus élevés, ils deviennent plus gros que leurs confrères résidants de la même cohorte. La fécondité étant reliée à la grosseur, ils profiteront ainsi d'une meilleure fécondité. Cependant, ce périple en eau salée

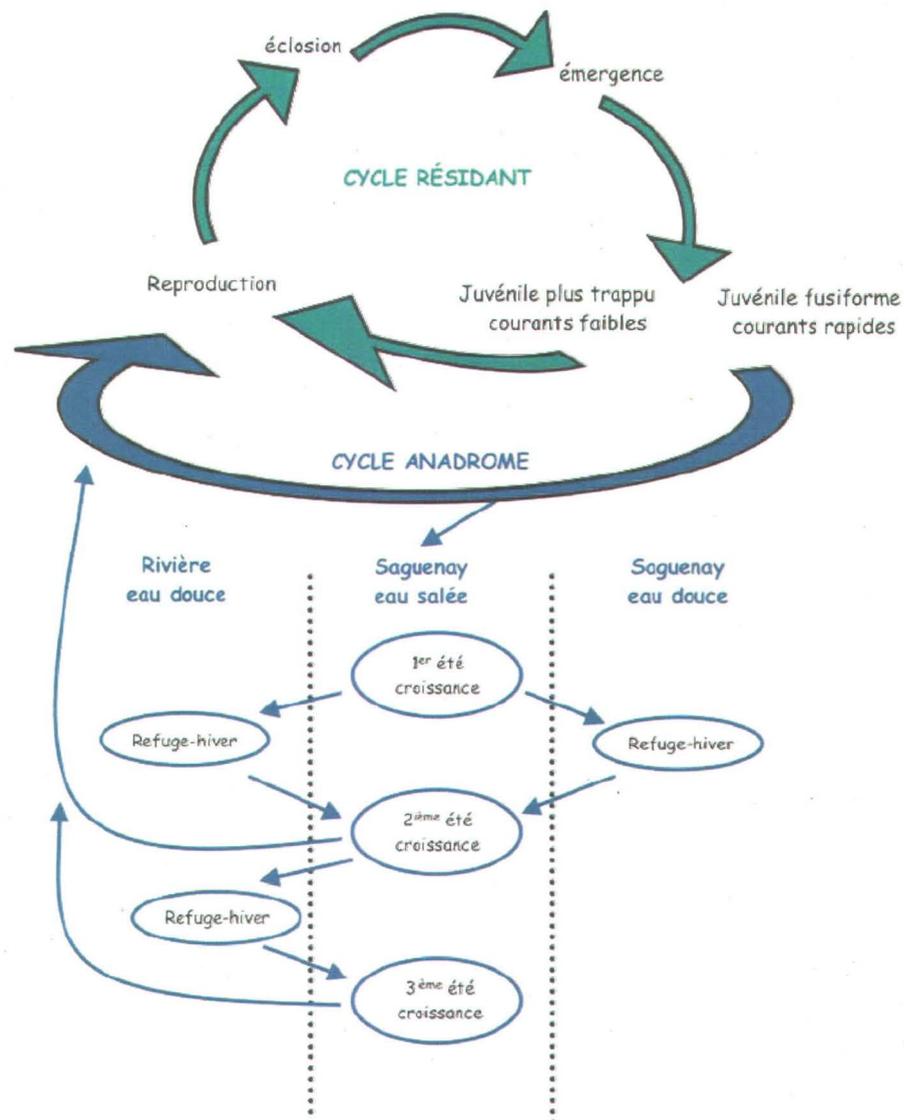


Figure 1.5. Cycle de vie résidant et anadrome de l'omble de fontaine de la rivière Ste-Marguerite, Saguenay. Tirée de Morinville et Thériault (2004).

expose les poissons à un taux de mortalité plus élevé provenant d'un plus grand nombre de prédateurs et d'une acclimatation risquée à l'eau salée. Environ 90 % des ombles anadromes d'une même cohorte meurent à leur première sortie en eau salée. Cette même tendance se maintient aussi pour les sorties subséquentes des individus ayant survécu (Morinville et Thériault 2004). Il s'agit donc d'un compromis entre une meilleure fécondité et un meilleur taux de survie.

L'arrivée en eau salée à la fin du printemps s'effectue avec l'acclimatation à celle-ci par osmorégulation. Les ombles anadromes se dispersent alors dans les estuaires et les eaux marines côtières environnantes. Ils sont beaucoup plus limités que le saumon atlantique dans leurs déplacements en milieu marin, car ils doivent revenir en eau douce pour la saison hivernale. À l'approche de l'hiver, le refroidissement de l'eau et le mélange accru des masses d'eau, qui accroît la salinité, rendent l'acclimatation plus difficile et exposent les ombles à un stress osmotique. Le retour à l'eau douce pour la période hivernale est donc nécessaire (Morinville et Thériault 2004). Les individus anadromes se déplacent plusieurs fois dans leur vie entre le milieu d'eau douce et d'eau salée. Après le deuxième ou le troisième été passé en eau salée, l'omble anadrome deviendra mature et il effectuera à la fin de l'été une migration qui l'amènera sur les sites de fraie de son cours d'eau natal pour frayer dans les environs du début d'octobre dans les régions plus australes du Québec. La fraie se déroule sensiblement de la même manière que chez le saumon atlantique. La femelle creuse un nid dans le substrat du cours d'eau pour ensuite déposer ses œufs. On peut compter de 100 à 5000 œufs selon la taille de la femelle. Environ 1 % des truites juvéniles qui ont quitté leur rivière quelques années auparavant se reproduiront. De ce nombre, environ 30 % survivront et se reproduiront plus d'une fois (Morinville et Thériault 2004). De son côté, l'omble résidant qui est resté en eau douce pour se développer se reproduira approximativement en même temps que son confrère anadrome. Les résidants ont une moins grande taille à la reproduction et ils sont moins féconds.

1.3.2. Identification et répartition géographique

Les ombles résidants sont d'une coloration vert olive à noir sur le dos avec des points rouges cernés de bleu sur les flancs (Fig. 1.1b) tandis que l'omble anadrome présente une livrée argentée avec quelques tâches rouges. Sa coloration peut être très variable selon l'habitat dans lequel il se retrouve. En

période de reproduction, la coloration s'intensifie, spécialement chez les mâles qui prennent une coloration orange vif sur leur abdomen. L'omble de fontaine mesure en moyenne de 20 à 30 cm de longueur mais, les individus anadromes peuvent atteindre des tailles allant jusqu'à 60 cm. Le record de pêche a été capturé en 1916 sur la rivière Nipigon en Ontario. Il mesurait 86 cm et pesait 6,6 kg (Bernatchez et Giroux 2000). L'omble se différencie des saumons et des truites par ses taches pâles sur fond sombre. Il se distingue du touladi et de l'omble chevalier par les motifs marbrés qui recouvrent sa nageoire dorsale, son dos et sa nageoire caudale et par l'extrémité très carrée de sa nageoire caudale. L'omble de fontaine a une répartition géographique qui couvre l'ensemble du territoire québécois (Fig. 1.6). Il se retrouve dans les ruisseaux, les rivières et les lacs. La forme anadrome peut se retrouver dans les estuaires et les eaux côtières. Il recherche des eaux fraîches, claires et bien oxygénées. Les populations qui contiennent les deux formes d'omble de fontaine sont situées dans des endroits qui permettent aux individus anadromes d'effectuer des migrations vers des environnements marins, comme par exemple les rivières à saumons. La proximité et l'accessibilité aux milieux d'eau salée sont des facteurs importants pour qu'une population d'omble de fontaine démontre une portion anadrome.

1.3.3. Alimentation et prédation

L'omble de fontaine est un poisson carnivore qui possède un régime très varié qui se définit selon la disponibilité de ses proies. Il se nourrit de vers, de sangsues, de mollusques, de crustacés, d'insectes, d'araignées, de petits poissons, de grenouilles, de salamandres, de couleuvres et même de souris. L'omble de fontaine pratique aussi le cannibalisme en mangeant des œufs et des juvéniles de leur espèce. Les prédateurs potentiels au Québec des individus juvéniles sont le martin-pêcheur d'Amérique (*Ceryle alcyon*), le grand harle (*Mergus merganser*), le vison (*Mustela vison*), la loutre de rivière (*Lontra canadensis*), l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) et l'omble de fontaine

(*Salvelinus fontinalis*). Les ombles résidants adultes n'ont pas de prédateurs définis tandis que les individus anadromes ont comme prédateurs des poissons de plus grandes tailles, des oiseaux et des mammifères piscivores.



Figure 1.6. Répartition géographique de l'omble de fontaine au Québec et dans les provinces avoisinantes. Tirée de Bernatchez et Giroux (2000).

CHAPITRE 2

LE COMPORTEMENT SPATIAL DES SALMONIDÉS EN RIVIÈRE

2.1. LE SUIVI DES DÉPLACEMENTS

Depuis près de 70 ans, les scientifiques essaient de suivre le plus efficacement possible les déplacements des salmonidés pour connaître et comprendre leur comportement spatial (Gowan et al. 1994). Dans ces études, l'identification des poissons par le marquage est grandement utilisée pour arriver à suivre les individus. L'approche générale des méthodes de suivi avec marquage consiste à capturer des poissons par diverses techniques (i.e. pêche électrique, trappes, filets, plongée et pêche à la ligne) pour ensuite les identifier avec une marque synthétique ou électronique. Après le marquage et la remise à l'eau, le suivi des déplacements peut s'effectuer par la recapture (méthode traditionnelle) et, depuis récemment suite aux développements de la technologie des marques électroniques, par la localisation ainsi que par le suivi en continu (Tab. 2.1). Cette section présentera dans un premier temps les différents types de marques et dans un deuxième temps, les méthodes de suivis mentionnées ci-dessus.

Tableau 2.1. Méthodes de suivi associées aux différents types de marques.

	Types	Méthode de suivi		
		Recapture	Localisation	Suivi continu
Marques synthétiques	Externes	oui	non	non
	Internes	oui	non	non
Marques électroniques	Radio-émetteurs	oui	oui	oui
	PIT-tags	oui	oui	oui

2.1.1. Les types de marques

Il existe deux grands types de marques pour identifier les poissons dans le but de suivre leurs déplacements, soit les marques synthétiques et les marques électroniques. D'une part, les marques synthétiques impliquent peu d'effets négatifs sur les poissons, elles sont simples d'utilisation et peuvent être apposées pour la plupart sur de petits individus en raison de leur taille. Toutefois, le faible nombre de codes possibles chez certaines marques synthétiques externes oblige le marquage de groupes d'individus avec un code unique (marquage par groupe). De plus, le suivi des déplacements avec les marques synthétiques s'effectue obligatoirement par la recapture des individus. D'autre part, le principe de base des marques électroniques reposant sur la télémétrie, celles-ci permettent de transmettre de l'information qui peut être reçue à distance par un récepteur. Elles offrent ainsi la possibilité de suivre les individus autrement qu'en les recapturant, soit par la localisation et par le suivi en continu. Elles permettent grâce à ces deux méthodes d'obtenir une meilleure résolution spatio-temporelle que les marques synthétiques pour suivre les déplacements des salmonidés. De plus, toutes les marques électroniques permettent d'attribuer un code unique à chaque individu (marquage à l'individu).

2.1.1.1. Marques synthétiques

Il existe deux types de marques synthétiques, soit **externes** et **internes**. L'utilisation d'un de ces deux types est déterminée selon le nombre d'individus, la taille et l'environnement des poissons que l'on veut suivre. Le coût des marques est rarement un facteur décisionnel, car elles sont pour la plupart peu coûteuses.

2.1.1.1a. Marques synthétiques externes

Les marques synthétiques externes sont apposées sur le corps du poisson. Elles prennent la forme de tatouages, d'entailles partielles des nageoires, de teintures synthétiques ou d'étiquettes fixées aux nageoires ou à la musculature (McFarlane et al. 1990). Les inconvénients de ces marques sont qu'elles ont une durabilité limitée, qu'elles sont exposées à l'environnement, qu'elles peuvent se confondre avec des empreintes naturelles et qu'elles peuvent blesser les individus. Néanmoins, les marques synthétiques externes sont facilement décelables et elles sont très rapides à apposer (Lucas et Baras 2000).

2.1.1.1b. Marques synthétiques internes

Les marques synthétiques internes sont introduites dans le corps du poisson. Ces marques sont constituées des implants d'élastomère (VIE), des implants visibles (VI) et des tiges codées (CWT). L'élastomère est un polymère biocompatible qui est disponible en différentes couleurs et qui peut être injecté dans les rayons des nageoires ou dans les cartilages des poissons (Steingrimsson et Grant 2003). Le polymère est rapide d'utilisation, il est non-invasif et il ne présente pas d'effets négatifs pour le poisson. Cependant, l'élastomère présente une faible durabilité car il s'estompe avec le temps (Lucas et Baras 2000; Jensen et al. 2008). D'autre part, les implants visibles sont de petites plaques rectangulaires fluorescentes avec un code alphanumérique à trois caractères. Ces plaques sont implantées dans des tissus transparents pour qu'elles soient visibles à l'extérieur du corps du poisson et ainsi permettre la lecture du code. Les implants visibles sont permanents et faciles à implanter. Cependant, ils peuvent provoquer des réactions et être difficiles à lire (Lucas et Baras 2000). Quant aux tiges codées, elles sont le type de marques internes le plus utilisé. Il s'agit d'une minuscule tige d'acier inoxydable magnétisée sur laquelle est inscrit un code. Cette tige peut être implantée dans le corps du poisson à plusieurs endroits avec peu d'effets sur ce dernier (Buckley et

Blankenship 1990). La tige codée n'est pas visible sur le corps du poisson en opposition aux implants qui sont visibles. Un détecteur de métal est utilisé pour déterminer la présence de la marque à l'intérieur du poisson. Par la suite, l'identification se réalise par l'utilisation de rayons-X ou par l'extraction de la tige qui implique généralement le sacrifice. L'extraction par sacrifice constitue un inconvénient important de ce type de marque qui est sans contredit très utilisé pour sa durabilité (Lucas et Baras 2000).

2.1.1.2. Marques électroniques

Les marques électroniques qui sont les plus couramment utilisées pour suivre les déplacements des salmonidés en rivière sont les radio-émetteurs et les transpondeurs passifs. La durée des suivis, la taille de l'échantillon, la taille des poissons à marquer, la distance de détection nécessaire et le budget déterminent généralement le type de marques électroniques utilisées (Lucas et Baras 2000).

2.1.1.2a. Radio-émetteurs

Les radio-émetteurs qui sont majoritairement employés pour le suivi des déplacements des salmonidés en rivière sont les VHF ("very high frequency" : 30-170 MHz). Ils sont disponibles en différentes tailles (Fig. 2.1) qui sont supérieures à celles des transpondeurs passifs. Les radio-émetteurs possèdent tous une pile intégrée. De ce fait, ils ont une durée de vie limitée (20 à 600 jours) qui varie selon la grosseur de la pile et indirectement de l'émetteur. Le coût des radio-émetteurs (de 200 à 400 \$/unité) est relativement élevé. Les radio-émetteurs peuvent être greffés sur la peau, introduits dans la cavité péritonéale ou insérés dans l'estomac du poisson. Ils transmettent à des fréquences spécifiques une variété de signaux pulsés singuliers ou des codes numériques uniques. Il est ainsi possible de les identifier. Les radio-émetteurs peuvent être détectés dans l'air et dans l'eau par une antenne qui est reliée à un récepteur. La-



Figure 2.1. Illustration de radio-émetteurs (Lotek SR-series). Tirée de www.lotek.com.

présence d'une antenne émettrice sur le radio-émetteur, la grandeur de l'antenne émettrice et réceptrice, la fréquence d'émission du radio-émetteur, la profondeur et la conductivité de l'eau sont tous des facteurs qui influencent la distance de détection (Lucas et Baras 2000). Celle-ci peut varier de quelques dizaines à plusieurs centaines de mètres (Roberts et Rahel 2005; Heggenes et al. 2007). Le principal inconvénient des radio-émetteurs est qu'ils ne permettent pas le suivi d'un grand nombre de poissons. Ceci est expliqué principalement par le coût élevé de cette technologie. De plus, la durée limitée de la pile des radio-émetteurs limite temporellement les suivis radio-téléométriques. Les suivis effectués avec les plus petits dispositifs sont davantage affectés. La présence d'une antenne émettrice peut aussi affecter les poissons en provoquant de l'infection ainsi qu'un changement dans la capacité de nage et de fuite vis-à-vis les prédateurs (Adams et al. 1998; Murchie et al. 2004). En raison de leur taille et de leur durée de vie, les radio-émetteurs sont préférablement utilisés pour le suivi de salmonidés de tailles supérieures à 150 mm pendant de courtes périodes de temps (Gresswell et Hendricks 2007; Heggenes et al. 2007).

2.1.1.2b. Transpondeurs passifs (*Passive Integrated Transponders "PIT" tags*)

La technologie des transpondeurs passifs (PIT-tags) est de plus en plus utilisée pour suivre les déplacements des salmonidés en rivière. Les PIT-tags sont de petites tailles, ils sont abordables (~4\$/unité) et ils ont une durée de vie théoriquement illimitée. Ils permettent le suivi de poissons de petites tailles (>60 mm) sur de longues périodes à un coût abordable (Zydlewski et al. 2006). Ils sont généralement introduits dans la cavité péritonéale des poissons (Fig. 2.2) (Lucas et Baras 2000). Les PIT-tags sont constitués d'une bobine, correspondant à un fil conducteur enroulé en hélice autour d'un noyau de ferrite, qui est reliée à un circuit intégré (Fig. 2.3). Ces composantes sont enveloppées dans une capsule de verre biocompatible qui sert à les protéger et à prévenir les irritations tissulaires. Leur circuit intégré est programmable avec un numéro d'identification (10^9 possibilités) (Prentice et al. 1990). Les PIT-tags n'ont pas de batteries et ils doivent en comparaison avec les radio-émetteurs être énergisés pour transmettre leur numéro d'identification. Leur activation se fait à l'aide d'une antenne qui produit un champ électromagnétique. Lorsque la bobine du transpondeur est soumise à ce dernier, elle génère de l'électricité.

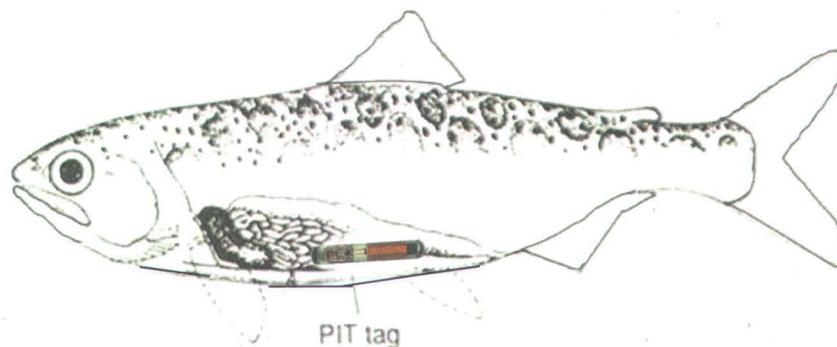


Figure 2.2. Emplacement du transpondeur passif dans la cavité péritonéale du poisson.

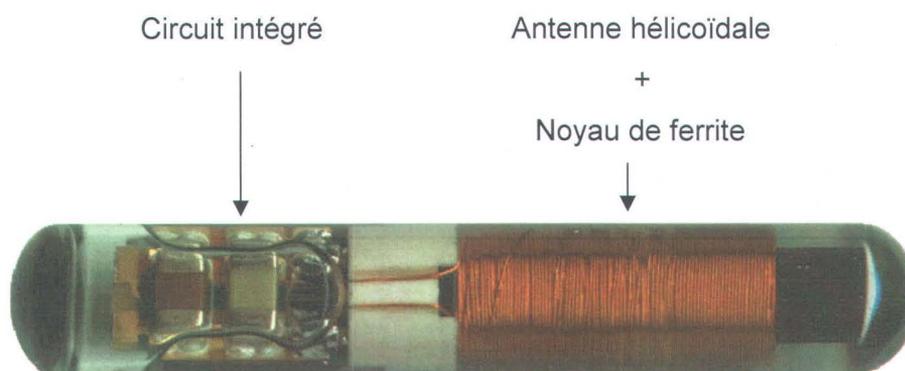


Figure 2.3. Illustration d'un transpondeur passif (Texas instruments RI-TRP-WRHP 23 mm).

Le numéro d'identification contenu dans le circuit intégré est alors transmis à un récepteur qui est relié à l'antenne. Les systèmes PIT-tag sont constitués d'une ou de plusieurs antennes qui sont activées par un récepteur qui décode le numéro d'identification des transpondeurs. Ces systèmes peuvent être portables ou fixes selon la méthode de suivi désirée (voir sections 2.1.2.2 et 2.1.2.3). Les systèmes PIT-tags fonctionnent soit en mode "Full Duplex" (FDX) ou "Half Duplex" (HDX). En mode FDX, le récepteur peut décoder un PIT-tag en même temps qu'il active l'antenne. Dans ce mode, l'antenne produit un champ électromagnétique en continu. Le récepteur peut détecter 32 fois par seconde un transpondeur qui se trouve près de cette dernière. En mode HDX, le récepteur active l'antenne de façon pulsée. Si un transpondeur se trouve dans le champ électromagnétique de l'antenne, il transmet son numéro d'identification entre les pulsations. Le récepteur peut alors détecter 10 fois par seconde le transpondeur qui se trouve près de l'antenne. Ces deux modes de fonctionnement ont chacun leurs forces. Le mode FDX est plus rapide tandis que le mode HDX est moins énergivore (Zydlewski et al. 2006; Johnston et al. 2009). Cet avantage des systèmes HDX est très important pour les études en régions éloignées. Les PIT-tags qui sont commercialement disponibles peuvent mesurer de 12 mm jusqu'à plus de 60 mm en longueur (2 à 20 mm en diamètre). Ceux de 12 mm et de 23 mm de longueur

sont toutefois les plus couramment utilisés pour suivre les poissons en rivière (Zydlewski et al. 2006). Les PIT-tags de 12 mm et 23 mm sont maintenant disponibles dans les deux modes grâce à l'arrivée très récente sur le marché des transpondeurs de 12 mm en mode HDX. La taille du transpondeur détermine en grande partie la distance de détection qui peut être obtenue. Plus la bobine qui compose le transpondeur est grosse (relatif à la taille du dispositif), plus elle facilite l'obtention de l'énergie nécessaire pour l'activer (Zydlewski et al. 2006). La distance de détection des PIT-tags est relativement faible en comparaison à celle des radio-émetteurs. Les transpondeurs de 12 mm ont une distance de détection qui peut aller jusqu'à 0,36 m (Brännas et al. 1994; Armstrong et al. 1996; Ibbotson et al. 2004; Cucherousset et al. 2005; Teixeira et Cortes 2007) tandis que celle des transpondeurs de 23 mm peut se rendre jusqu'à 1 m (Castro-Santos et al. 1996; Roussel et al. 2000; Zydlewski et al. 2001; Linnansaari et Cunjak 2007, Johnston et al. 2009). La variation de la distance de détection avec une même taille de transpondeur peut dépendre du modèle et de la compagnie qui fabrique le dispositif ainsi que de la configuration du système (ex. forme et taille de l'antenne) (Zydlewski et al. 2006). En raison de leur plus grande distance de détection, les transpondeurs de 23 mm sont davantage applicables aux études en milieu naturel que ceux de 12 mm. Ils permettent de détecter plus efficacement les poissons marqués dans différents environnements (Zydlewski et al. 2001). Les transpondeurs de 12 mm offrent toutefois la possibilité de marquer des poissons de plus petites tailles (Zydlewski et al. 2006).

2.1.2. Les méthodes de suivi

2.1.2.1. Marquage-recapture

La méthode de marquage-recapture consiste à marquer des poissons, à les remettre à un endroit déterminé et à les recapturer par la suite après un intervalle de temps donné. Le marquage et la recapture s'effectuent dans une section prédéfinie. Les poissons recapturés sont identifiés à l'aide de leur marque. La position du poisson peut être prise à l'aide d'un GPS ou d'une station totale. Il est ainsi possible de déterminer si ceux-ci se sont déplacés de leur lieu de remise à l'eau. La distance parcourue et la direction sont les caractéristiques connues du déplacement. La méthode de marquage-recapture a été très utilisée dans les dernières décennies pour étudier les déplacements des salmonidés (Gowan et al. 1994). Toutes les marques mentionnées dans la section 2.1.1 peuvent être utilisées avec cette méthode.

2.1.2.1a. Les lacunes du marquage-recapture

La méthode de marquage-recapture comporte des lacunes importantes pour étudier adéquatement les déplacements des salmonidés en rivière. En raison du temps requis pour effectuer les suivis de recapture, l'étendue spatiale des sections d'étude est souvent très limitée et ceci rend impossible l'observation des déplacements qui mènent les poissons hors de ces sections (Gowan et al. 1994). L'agrandissement des sections de recapture et l'installation de trappes aux extrémités de celles-ci sont réalisables mais demandent toutefois beaucoup d'efforts (Gowan et Fausch 1996; Albanese et al. 2003). D'autre part, les déplacements étant inférés entre deux positions de capture, tous les déplacements qui s'effectuent à l'intérieur de l'intervalle de temps entre les captures ne sont pas détectés. De plus, certaines informations concernant ceux-ci ne peuvent pas être précisément connues (i.e. moment, vitesse, agrégation ou non, influence des conditions environnementales).

2.1.2.2. Marquage-localisation

La méthode de marquage-localisation consiste à marquer des poissons avec des marques électroniques, à les remettre à un endroit déterminé et à les localiser par la suite après un intervalle de temps donné. Cette méthode diffère du marquage-recapture car les poissons ne sont pas recapturés. La marque électronique qu'ils portent permet de les détecter à distance en parcourant le cours d'eau avec un système de détection portable. L'identité de la marque est transmise à l'utilisateur lors de la détection par l'entremise d'un afficheur. La position du poisson peut être prise à l'aide d'un GPS ou d'une station totale. La localisation s'effectue rapidement car aucune recapture n'est nécessaire. Elle permet ainsi de couvrir une plus grande section. De plus, la rapidité conjuguée avec l'aspect moins perturbateur de cette méthode en raison de la non-recapture permet d'effectuer des suivis à une fréquence plus élevée. La localisation offre ainsi une meilleure résolution spatio-temporelle que la recapture pour suivre les déplacements des salmonidés en rivière. Toutefois, elle ne comble pas toutes les lacunes du marquage-recapture. Elle ne permet pas de détecter les déplacements qui se déroulent entre les suivis et elle n'apporte pas plus de précisions sur les déplacements (i.e. moment, vitesse, agrégation ou non, influence des conditions environnementales).

La méthode de marquage-localisation a été utilisée avec des radio-émetteurs pour étudier les déplacements de salmonidés en milieu naturel (Knouff et Spotila 2002; Heggenes et al. 2007; Gresswell et Hendricks 2007). Avec la technologie PIT-tag, différents systèmes portables ont été développés récemment mais ils ont été très peu exploités (Roussel et al. 2000; Zydlewski et al. 2001; Roussel et al. 2004; Hill et al. 2006; Linnansaari et Cunjak 2007). Des systèmes portables à antenne ronde (ex. Fig. 2.4) et à antenne rectangulaire de grande dimension (ex. Fig. 2.5) ont été conçus. Le premier type d'antenne offre une distance de détection moindre (i.e. 15 à 50 cm) mais permet en contrepartie de localiser les poissons plus précisément. Le deuxième type offre pour sa part

une plus grande distance de détection (i.e. jusqu'à 1 m) qui permet d'interroger une plus grande surface en moins de temps (Roussel et al. 2000; Zydlewski et al. 2001; Linnansaari et Cunjak 2007). L'antenne rectangulaire de grande dimension est conçue pour suivre les déplacements à une plus grande échelle spatiale.

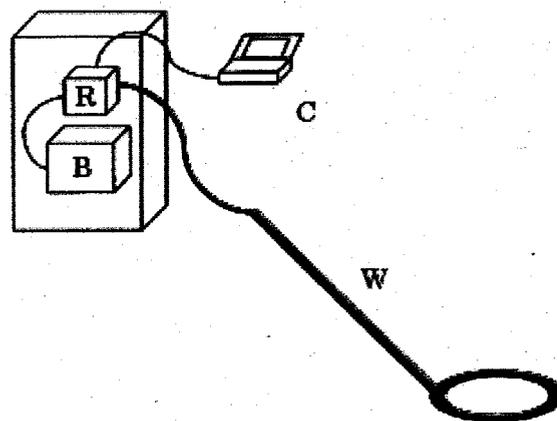


Figure 2.4. Représentation schématique d'un système PIT-tag portable à antenne ronde de 0,5 m de diamètre, situé à l'extrémité d'une tige de PVC de 2 m (W), reliée à un récepteur (R) et à un afficheur (C). Le récepteur et la batterie (B) sont situés dans un sac pour faciliter le transport. Le système fonctionne en mode HDX. Tirée et modifiée de Zydlewski et al. (2001).

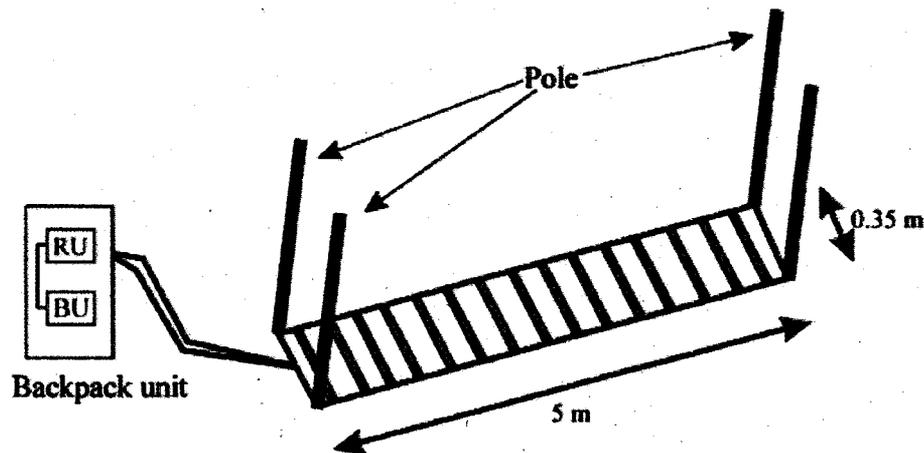


Figure 2.5. Représentation schématique d'un système PIT-tag portable à antenne rectangulaire de grande dimension (5 x 0,35m). Le sac à dos contient la batterie (BU) et le récepteur (RU). Les pôles (Pole) sont utilisés pour manipuler l'antenne. Le système fonctionne en mode HDX. Tirée et modifiée de Linnansaari et Cunjak (2007).

2.1.2.3. Marquage-suivi en continu ("*Continuous Remote Monitoring*")

La méthode de marquage-suivi en continu consiste à marquer des poissons et à suivre leur passage à proximité d'une ou de plusieurs antennes reliées à une station de détection fixe qui fonctionne en continu. Plusieurs stations peuvent être réparties à différents endroits d'un cours d'eau. Lorsqu'un poisson marqué se déplace à proximité d'une antenne, la marque communique avec la station (récepteur). Le numéro d'identification de la marque, la date et l'heure de la détection sont enregistrés. Le suivi en continu permet de combler en grande partie les lacunes de la méthode de marquage-recapture. Le fonctionnement en continu des stations fixes dans le temps permet de suivre sans interruption temporelle les déplacements qui s'effectuent. L'intervalle de temps entre les suivis est supprimé. De plus, il permet de véritablement suivre les déplacements sans avoir à les inférer entre deux positions de capture ou localisation. Il est ainsi possible d'obtenir plus de précisions sur ceux-ci (i.e. moment, vitesse, agrégation ou non, influence de conditions environnementales).

La méthode de suivi en continu a été utilisée à quelques reprises avec les transpondeurs passifs. Elle a été utilisée dans des installations expérimentales ou pour suivre le passage des poissons dans des barrages hydroélectriques et des passes migratoires (Brännäs et al. 1994; Armstrong et al. 1996; Castro-Santos et al. 1996; Burns et al. 1997). En milieu naturel, des stations PIT-tag fixes ont été utilisées à quelques reprises (Zydlewski et al. 2001; Ibbotson et al. 2004; Zydlewski et al. 2006; Johnston et al. 2009). Le suivi en continu dans ce dernier milieu peut s'effectuer à différentes échelles spatiales avec différents systèmes de détection fixe. Les stations PIT-tag fixes à antennes multiples (ex. Fig. 2.6) permettent le suivi des déplacements à plus petites échelles (Johnston et al. 2009). Le suivi des déplacements de plus grandes distances peut en contrepartie être réalisé en utilisant une ou des stations PIT-tag fixes à antennes transversales (ex. Fig. 2.7) réparties à différents points d'un cours d'eau (Zydlewski et al. 2001; Zydlewski et al. 2006). Les antennes transversales peuvent être installées à la verticale pour permettre aux poissons de passer à l'intérieur du cadre de l'antenne ("swim-through") ou à l'horizontale sur le lit du cours d'eau ("flat-plate"). La première disposition permet généralement d'avoir une plus grande efficacité de détection tandis que la deuxième permet aux antennes de résister davantage aux crues et débris (Zydlewski et al. 2006). Malgré ces possibilités, les stations PIT-tag fixes ont été très peu exploitées pour en apprendre davantage sur le comportement spatial des salmonidés en milieu naturel.

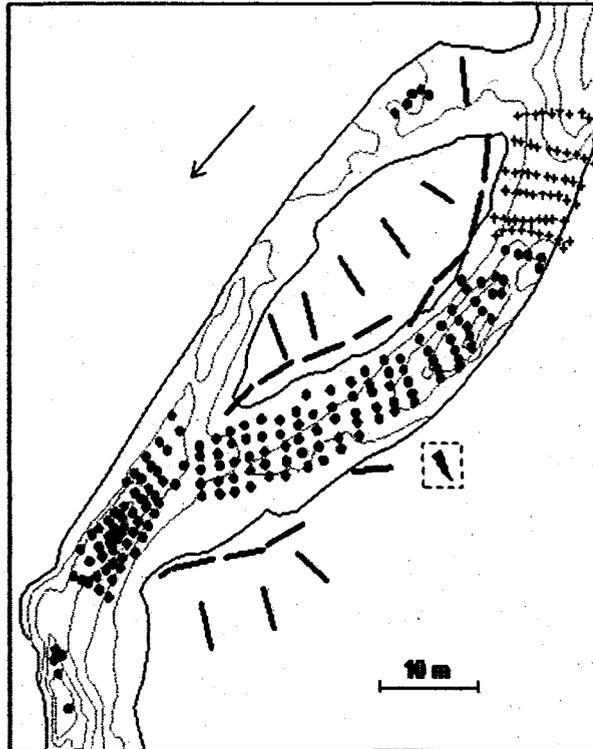


Figure 2.6. Représentation schématique d'une station PIT-tag fixe à antennes multiples. Les différents symboles (ronds, lignes et croix) représentent les antennes. Le rectangle en pointillé sur la berge représente le récepteur. La flèche indique la direction du courant. Tirée de Johnston et al. (2009).

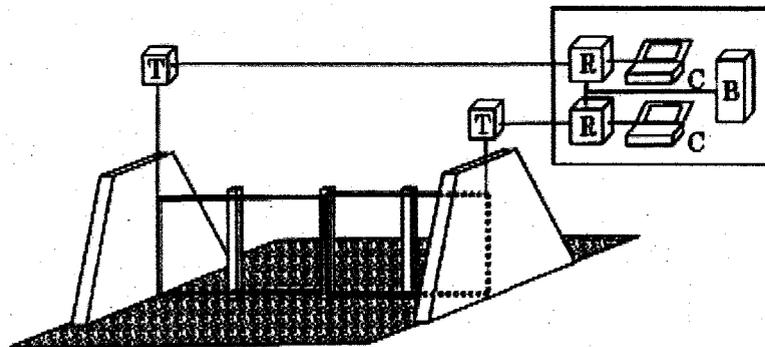


Figure 2.7. Représentation schématique d'une station PIT-tag fixe constituée de deux antennes de 4 m par 1,2 m installées à la verticale en appui sur les piliers d'un pont (T : ensemble de condensateurs). Les antennes sont reliées à un récepteur (R) et à un enregistreur (C) qui fonctionnent à l'aide d'une batterie (B). Ce système fonctionne en mode HDX. Tirée et modifiée de Zydlewski et al. (2001).

2.2. LES DÉPLACEMENTS CHEZ LES SALMONIDÉS

Les déplacements sont considérés comme une habileté que possèdent la plupart des animaux à répondre à une incompatibilité entre leurs besoins et les conditions de leur environnement (Gresswell et Hendricks 2007). Pour les individus, les déplacements leur permettent ainsi d'accéder à des habitats qui présentent des caractéristiques et des ressources différentes. Pour les populations et les métapopulations, les déplacements assurent à celles-ci une persistance. Ils leur permettent de maintenir une bonne capacité évolutive en assurant la dispersion d'individus génétiquement dissimilaires et la recolonisation d'endroits décolonisés (Albanese et al. 2004).

2.3. LES DIFFÉRENTES CAUSES DES DÉPLACEMENTS

Il existe deux types de causes aux déplacements des salmonidés, soit les causes ultimes et proximales. Les causes ultimes déterminent pourquoi les déplacements s'effectuent véritablement. Elles proviennent de la présence d'une incompatibilité entre les habitats et les besoins des poissons pour la croissance, la reproduction et la survie (Erkinaro et al. 1998; Gresswell et Hendricks 2007). Cette incompatibilité peut résulter de la dégradation de la qualité des habitats provenant d'une diminution de l'abondance des proies, d'une diminution dans la disponibilité de refuges, d'une dégradation des conditions hydrauliques ou thermiques de même que de la présence d'interactions compétitives et prédatrices (Armstrong et al. 1997; Kahler et al. 2001; Heggenes et al. 2007). Elle peut aussi découler de besoins partiellement comblés ou de la variation temporelle de ceux-ci, par exemple en rapport avec un changement du stade de vie ou de la saison (Gresswell et Hendricks 2007). Les déplacements chez les salmonidés peuvent ainsi s'avérer une stratégie individuelle simple et flexible face à des changements dans les attributs biotiques et abiotiques de leur habitat, ou plutôt une réponse plus complexe à des changements physiologiques qui se

reflètent dans une variation de leurs besoins (ex. dévalaison des individus anadromes) (McDowall 1997; Kahler et al. 2001; Heggenes et al. 2007).

Pour leur part, les causes proximales sont responsables de l'initiation et de la stimulation des déplacements. Par exemple, les conditions environnementales semblent pouvoir influencer les poissons à bouger lorsque ceux-ci y sont déjà prédisposés par une cause ultime. L'influence des conditions environnementales sur les déplacements des salmonidés n'a toutefois pas grandement été étudiée (Gowan et al. 1994; Rodriguez 2002). Néanmoins, dans le cas de la dévalaison des individus anadromes, certaines études tendent à démontrer que les facteurs qui agissent sur ce déplacement sont la photopériode, la température et le débit (McCormick et al. 1998). La photopériode agirait sur le déclenchement d'une série complexe d'événements physiologiques qui prépare les salmonidés à la dévalaison. Elle agirait indirectement sur l'initiation des déplacements. Elle rendrait les poissons plus réceptifs à la température et au débit qui initierait et stimulerait respectivement les déplacements (McCormick et al. 1998). L'élévation de la température au printemps procurerait un indice aux poissons servant à déterminer la période de leur départ. Pour sa part, l'élévation du débit stimulerait les déplacements en permettant aux poissons de dériver rapidement de façon passive et d'être mieux dissimulés face aux prédateurs en raison de la turbidité de l'eau (McCormick et al. 1998). De plus, elle peut assurer une meilleure connectivité entre les différents habitats.

2.4. L'ÉCHELLE SPATIO-TEMPORELLE DES DÉPLACEMENTS

Les déplacements des salmonidés en rivière peuvent s'effectuer à plusieurs échelles spatiales et temporelles. De ce fait, la notion d'échelle est très importante dans la compréhension de leurs déplacements (Fausch et al. 2002). Ceux-ci peuvent s'effectuer de l'échelle locale (micro-habitats : 10^{-1} - 10^0 m) jusqu'à l'échelle du paysage (bassin versant : 10^5 - 10^6 m) et se dérouler une fois par année ou plusieurs fois dans une courte période de temps. Les

déplacements qui s'effectuent à de plus grandes échelles sont moins fréquents et peuvent démontrer de la synchronisation (Gresswell et Hendricks 2007; Heggnes 2007). D'autre part, il existe une certaine confusion dans la littérature en ce qui concerne la distinction entre un déplacement et une migration. Si les déplacements se produisent entre deux habitats distincts et bien séparés spatialement, qu'il y a une synchronisation entre les individus, qu'ils sont périodiques, qu'ils impliquent une large proportion de la population et qu'ils sont dirigés dans la même direction, alors on les définit comme des migrations (Gresswell et Hendricks 2007). Dans certains ouvrages, on détermine plutôt la migration comme un déplacement entre des environnements distincts, par exemple une rivière et un tributaire, sans se soucier des autres conditions (Erkinaro et al. 1998). Néanmoins, dans le présent document, la première définition sera celle retenue lorsque le terme migration sera employé.

2.5. LE PATRON GÉNÉRAL DES DÉPLACEMENTS

Le patron général des déplacements des salmonidés peut être constitué des différentes phases suivantes: (1) Dispersion des alevins des frayères; (2) déplacements vers les sites estivaux d'alimentation; (3) déplacements des sites estivaux d'alimentation vers les sites d'hivernage; (4) prédévalaison automnale et dévalaison printanière (individus anadromes); (5) fraie (précoces et adultes) (Gowan et al. 1994; McCormick et al. 1998). Les phases décrivent dans leur ensemble un patron spatio-temporel (Fig. 2.8). Elles se déroulent généralement au printemps et à l'automne. Ces déplacements correspondent en grande partie aux déplacements effectués entre les habitats complémentaires à la réalisation de leur histoire de vie. Les différentes phases de déplacements ne sont pas nécessairement toutes effectuées par l'ensemble des espèces et populations de salmonidés. De plus, tous les individus d'une population ne se déplacent pas nécessairement à chacune des phases. La variabilité spatio-temporelle des habitats peut expliquer que certains poissons ne se déplacent pas. De plus, les

besoins des individus n'étant pas les mêmes, certains poissons ne doivent pas nécessairement se déplacer pour y répondre.

Les déplacements des différentes phases peuvent être directionnels ou non-directionnels. La dispersion des alevins des frayères, la prédévalaison et la dévalaison sont des déplacements directionnels vers l'aval (McCormick et al. 1998). Les déplacements liés à la fraie chez les individus anadromes adultes sont pour leur part directionnels vers l'amont. D'autre part, les déplacements de recherche de sites d'alimentation et d'hivernage ainsi que les déplacements liés à la fraie des individus résidants et précoces sont non-directionnels (McCormick et al. 1998). La direction de ces derniers déplacements dépend de la position des individus par rapport à la répartition spatiale des habitats recherchés.

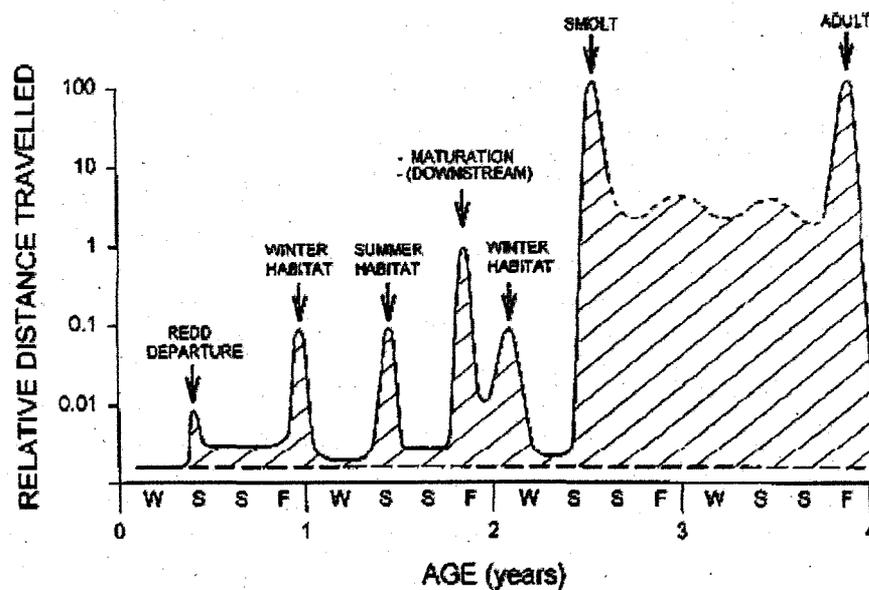


Figure 2.8. Patron spatio-temporel constitué des différentes phases de déplacements du saumon atlantique. L'âge à la smoltification et les distances relatives pouvant changer entre les différentes populations, les phases de déplacements gardent cependant la même logique temporelle. Tirée de McCormick et al. (1998).

2.6. LE PARADIGME DU DÉPLACEMENT RESTREINT

Le paradigme du déplacement restreint (PDR) prend ses fondements dans un article écrit par Gerking (1959) qui s'intitule "The restricted movement of fish populations". Ce paradigme soutient que les salmonidés résidant dans les cours d'eau sont intrinsèquement sédentaires, car ils tendent à rester dans des sections spécifiques de quelques dizaines de mètres (20-50 m) pendant des périodes de temps considérables (Gerking 1959; Gowan et al. 1994; Rodriguez 2002). Ils se déplacent lors des phases mais ces déplacements sont considérés comme un comportement qui interrompt leur sédentarité normale (Gowan et al. 1994). L'existence possible d'une faible minorité d'individus qui se déplacent davantage est reconnue par le paradigme, mais ceux-ci ne sont pas considérés (simple conséquence de la variation biologique) (Gerking 1959; Gowan et al. 1994). Plusieurs études sur les salmonidés ont supporté le paradigme du déplacement restreint. Ce dernier constitue le courant de pensée dominant pour définir le comportement des salmonidés juvéniles et adultes en rivière. Il est largement accepté bien qu'il ne soit pas universel (Gowan et al. 1994). Le PDR est considéré par plusieurs scientifiques et gestionnaires comme l'hypothèse nulle à accepter si non-réfutée (Gowan et al. 1994).

Bien que le paradigme possède certains fondements, il n'existe pas de définition universelle du déplacement restreint. La distance qu'un individu doit parcourir pour démontrer un déplacement non-restreint n'est pas établie. De plus, le pourcentage de la population qui doit se déplacer pour que celle-ci soit considérée mobile n'est pas défini. L'établissement de règles objectives qui définiraient les bases du paradigme du déplacement restreint n'est pas facile à déterminer car tous les termes sont relatifs (Gowan et al. 1994).

2.7. LA REMISE EN QUESTION DU PARADIGME

Gowan et al. (1994) ont remis en question le paradigme du déplacement restreint en démontrant que la méthode de marquage-recapture, qui a été utilisée par les études qui ont servi à établir et à supporter le paradigme, n'était pas favorable à l'observation des individus qui se déplaçaient. En raison de la faible grandeur des sections de recapture, les individus qui se déplaçaient pouvaient sortir de ces dernières et ils échappaient à la recapture (Gowan et al. 1994). Les faibles taux de recapture, qui sont irrationnellement justifiés par certains auteurs par la mort des poissons et par la faible efficacité des techniques de capture, évoquent cette réalité (Gowan et al. 1994). Des nombreuses études que Gowan et al. (1994) ont analysées, 78 % de celles-ci n'ont pas retrouvé plus de la moitié des poissons marqués tandis que 42 % d'entre elles n'ont pas retrouvé plus du quart. Il est ainsi possible d'émettre l'hypothèse que les individus recapturés étaient ceux qui bougeaient peu ou pas et que les conclusions de ces études étaient biaisées envers le déplacement restreint car elles tenaient seulement compte des individus qui étaient recapturés. Depuis l'intervention de Gowan et al. (1994), l'amélioration de la méthode de marquage-recapture et l'utilisation des radio-émetteurs ont permis de suivre davantage les poissons qui se déplacent et de mieux comprendre la mobilité des salmonidés. En ce sens, de plus récentes études ont observé dans des proportions considérables (jusqu'à plus de 50%) des individus qui sont davantage mobiles que défini dans la littérature à l'extérieur des phases de déplacements (ex. période estivale) (Gowan et Fausch 1996; Kahler et al. 2001). Il est ainsi impératif que d'autres études, qui suivent plusieurs individus avec une méthode qui permet de détecter les déplacements, soient réalisées afin d'obtenir une compréhension plus exacte du comportement des salmonidés en rivière.

CHAPITRE 3

MÉTHODOLOGIE

3.1. SITE D'ÉTUDE

La présente étude s'est déroulée sur le ruisseau Xavier ($48^{\circ}25'17''$ N; $69^{\circ}53'48''$ O). Ce ruisseau est un tributaire de la rivière Ste-Marguerite Nord-est qui elle se déverse dans le fjord du Saguenay (Québec, Canada) (Fig. 3.1). Son bassin versant couvre une superficie de 57.5 km^2 et il est recouvert majoritairement par une forêt mixte. Le ruisseau Xavier présente des habitats qui permettent le maintien de différentes espèces. Il soutient des populations

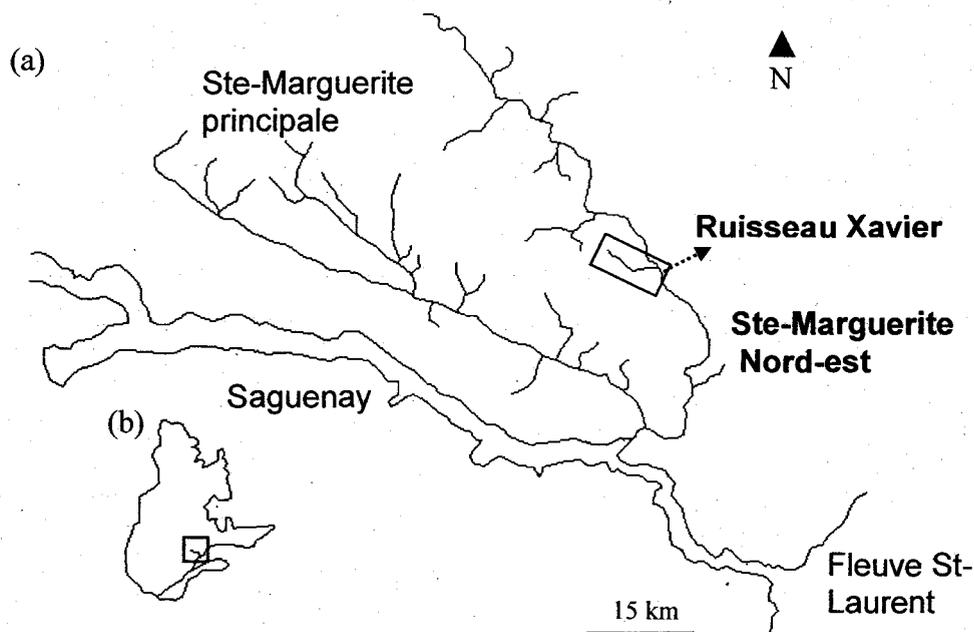


Figure 3.1. Représentations géographiques situant le ruisseau Xavier par rapport aux entités hydrographiques environnantes (a) et dans la province de Québec (b).

de saumons atlantique (*Salmo salar*), d'ombles de fontaine (*Salvelinus fontinalis*), de naseux des rapides (*Rhinichthys cataractae*) et de lamproies marines (*Petromyzon marinus*).

Les travaux ont été effectués sur les 2 425 premiers mètres du ruisseau Xavier à partir de son embouchure (section d'étude) (Fig. 3.2). Cette section est caractérisée par des rapides et des zones seuil-mouille. La pente moyenne de la section d'étude est de 1,3 %. Une caractérisation de la profondeur maximale de la coupe transversale et de la largeur mouillée a été réalisée à tous les 50 m de la section d'étude à un débit automnal de 1,6 m³/s. La profondeur maximale moyenne était de 0,6 m et la largeur mouillée moyenne était de 10,3 m. Cette section a été sélectionnée en raison de sa taille adéquate qui rendait possible le suivi des déplacements avec les stations fixes et le système portable, de la bonne densité de poissons que l'on y retrouve et de sa très bonne accessibilité.

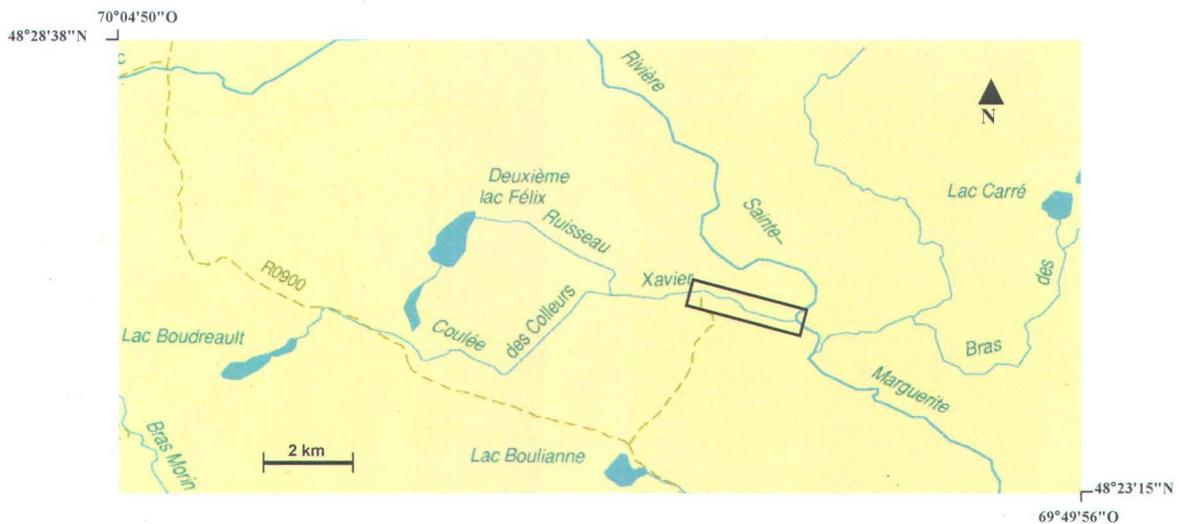


Figure 3.2. Emplacement de la section d'étude sur le ruisseau Xavier.

3.2. APPROCHE GÉNÉRALE

L'étude consistait à installer quatre stations fixes et leurs antennes transversales à différents endroits le long de la section d'étude pour suivre en continu les déplacements de saumons atlantique juvéniles et d'ombles de fontaine. Un système PIT-tag portable a aussi été utilisé pour permettre la localisation des poissons sur toute la section d'étude à différents moments. L'installation des stations fixes dans la section d'étude, la capture et le marquage des salmonidés ainsi que le suivi de leurs déplacements sont les principales étapes qui ont mené à la réalisation de l'étude.

3.3. DESCRIPTION DES SYSTÈMES PIT-TAG

3.3.1. Stations fixes

Les stations fixes conçues pour cette étude comprennent chacune un récepteur, quatre antennes, deux batteries 6 V et un panneau solaire (Fig. 3.3). Le récepteur fonctionne en mode "Half Duplex". Il active les 4 antennes successivement en moins d'une demi-seconde. Il est doté d'un afficheur qui permet de lire le numéro des transpondeurs détectés et d'un enregistreur de données. La date et l'heure des détections ainsi que les numéros des antennes et des transpondeurs sont enregistrés sur une carte SD (Secure Digital ; 1 GB). Les antennes sont de formes rectangulaires. Elles sont conçues pour être installées à l'horizontale ("flat-plate"). Les antennes ont été enfouies transversalement sous le pavement du substrat du ruisseau. Elles couvraient la totalité de la largeur du chenal où elles ont été installées (~10m). La distance de détection au-dessus des antennes était d'environ 40 cm. Cette distance a été calculée en plaçant un transpondeur en position horizontale au-dessus du fil de l'antenne (i.e. solénoïde) et en l'éloignant progressivement de l'antenne jusqu'à ce que celle-ci cesse de détecter le transpondeur.

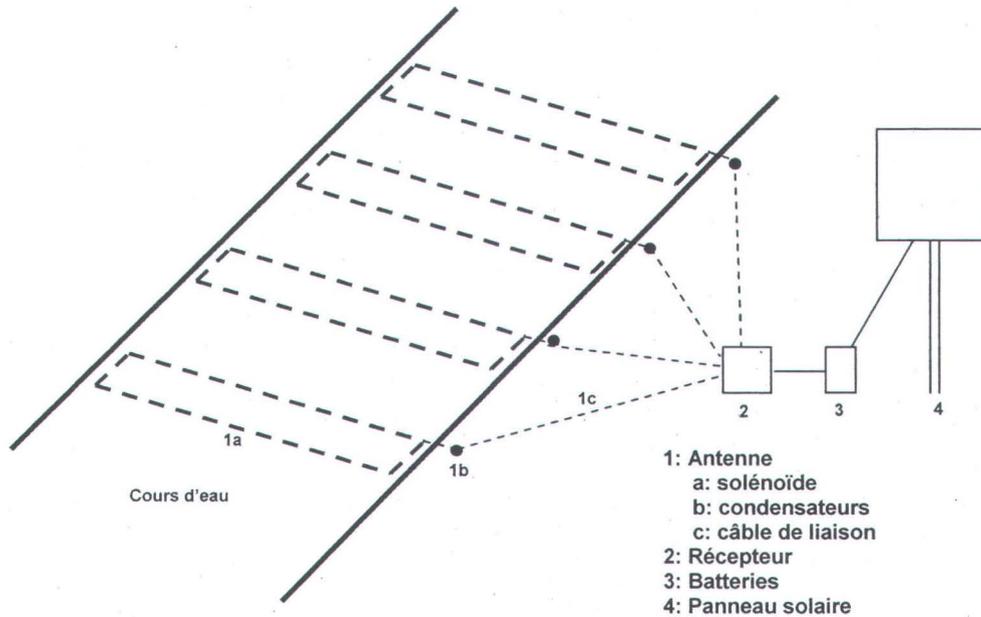


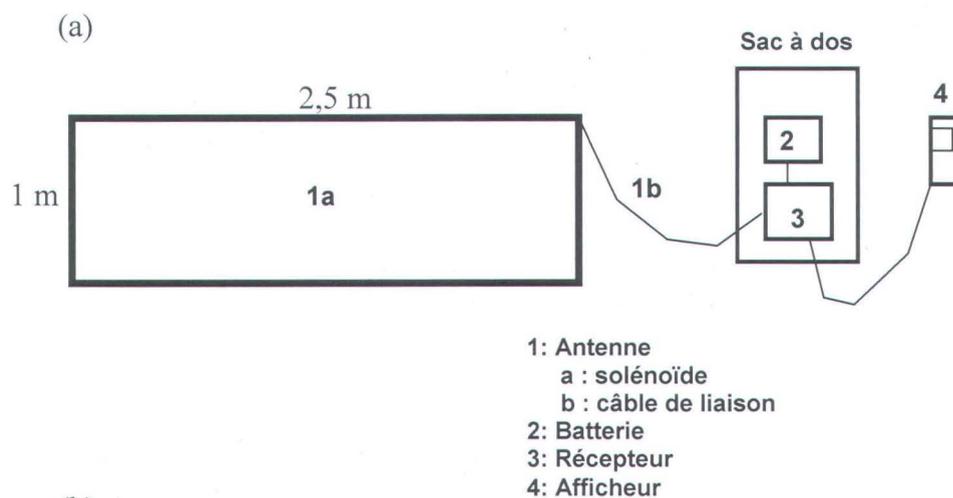
Figure 3.3. Représentation schématique d'une station fixe.

Un panneau solaire de 110 W et deux batteries de 6 V rechargeables à cycle profond servaient à alimenter chacune des stations fixes en continu. L'utilisation du panneau solaire rend le système autonome et elle n'oblige pas le changement des batteries. En raison de la diminution de la photopériode à l'automne, une génératrice portable a parfois été utilisée pendant quelques heures afin d'assurer le bon fonctionnement du système.

3.3.2. Système portable

Le système portable conçu pour cette étude est constitué d'une antenne, d'un afficheur et d'un sac à dos contenant une batterie 12 V ainsi qu'un récepteur (Fig. 3.4). Le récepteur fonctionne en mode "Half Duplex". Il active l'antenne 10 fois par seconde. L'antenne correspond à un cadre de 2,5 m par 1 m. Sa distance de détection est d'environ 80 cm. Cette distance a été calculée en plaçant un transpondeur en position horizontale au-dessus de l'antenne disposée

à la verticale. La grande dimension et l'excellente distance de détection de l'antenne permettent d'interroger une grande surface en peu de temps avec une excellente efficacité. Lorsqu'un PIT-tag est détecté par le système, un son est produit par le récepteur pour en avertir l'utilisateur. Le numéro d'identification du PIT-tag apparaît ensuite sur l'afficheur et il est noté par l'utilisateur.



(b)



Figure 3.4. Représentation schématique du système portable (a) et illustration de son utilisation (b).

3.4. INSTALLATION DES STATIONS FIXES

Quatre stations fixes ont été installées sur le ruisseau Xavier. Deux de celles-ci ont été placées aux extrémités de la section d'étude soit à l'embouchure du ruisseau et à 2 425 m en amont de cette dernière. Elles permettaient de détecter les poissons marqués qui sortaient et/ou qui revenaient dans la section. Seulement deux antennes ont été installées en amont de la section (Fig. 3.5). À l'embouchure, un îlot divise le ruisseau en deux chenaux. Quatre antennes y ont été installées soit deux dans chacun des chenaux. Pour leur part, les deux autres stations avec leurs quatre antennes chacune ont été juxtaposées au centre de la section. Les huit antennes de ces deux stations étaient espacées de 50 m l'une de l'autre. Cette disposition permettait d'obtenir une zone de suivi de 350 m où les déplacements pouvaient être suivis en continu avec une excellente résolution spatiale. Toutes les antennes ont été géo-référencées avec un GPS et leur position a été définie par rapport à l'embouchure.

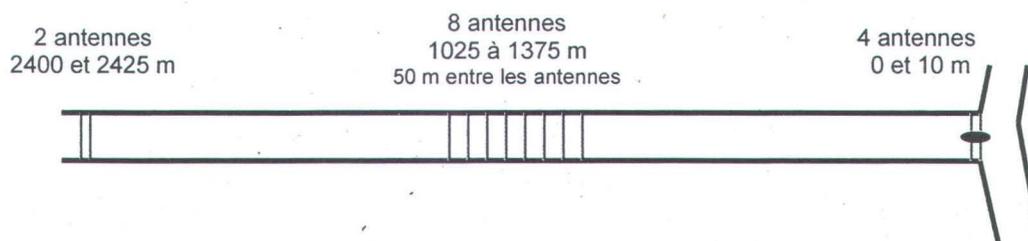


Figure 3.5. Schéma de la disposition des antennes des stations fixes sur le ruisseau Xavier. Les distances indiquent la position des antennes par rapport à l'embouchure du ruisseau. Les distances ne sont pas à l'échelle sur le schéma.

3.5. INSTRUMENTATION ADDITIONNELLE

L'installation dans le ruisseau Xavier d'une jauge à pression hydrostatique a permis de mesurer le niveau d'eau du ruisseau à chaque heure pendant toute la durée de l'expérience. Six mesures manuelles de débits ont été effectuées à différents débits à une même section transversale du cours d'eau à l'aide d'un

vélocimètre (FlowTracker Handheld-AcousticDopplerVelocimeter; SonTek). Ces mesures ont servi à produire une courbe de tarage (débit-pression hydrostatique) qui a été utilisée pour transférer les mesures de niveau d'eau effectuées par la gauge en valeurs estimées de débit.

3.6. CAPTURE ET MARQUAGE

La séance de capture et de marquage a été effectuée du 23 au 27 juillet 2007. La capture des saumons atlantique juvéniles et des ombles de fontaine s'est effectuée à la pêcheuse électrique (Smith-Root, modèle 12-A). Elle a été réalisée par deux personnes, l'une transportant la pêcheuse sur son dos et l'autre attrapant les poissons avec un filet monté au bout d'un pôle de deux mètres. La pêche s'est toujours effectuée en se dirigeant vers l'amont du ruisseau pour ne pas alerter les poissons de notre présence et ainsi maximiser l'efficacité de capture. Six sites de capture ont été systématiquement établis dans la section d'étude. Deux de ceux-ci étaient situés au milieu de la section pour permettre le marquage de poissons dans la zone de suivi de 350 m déterminée par les antennes des deux stations fixes s'y trouvant. Les quatre autres sites de capture ont été distribués dans la section d'étude. Ceux-ci étaient situés à 350 et 700 m de part et d'autre du milieu de la section. Les sites de capture mesuraient tous 100 m en longueur. Un seul passage a été effectué à chacun des sites. Tous les poissons capturés de 95 mm et plus étaient placés dans des viviers pour ensuite être marqués. Seuls les poissons de cette taille ont été gardés car les transpondeurs utilisés dans l'étude (i.e. 23 mm) peuvent avoir des effets négatifs sur les poissons de tailles inférieures. Une étude que nous avons réalisée antérieurement à celle-ci (Jean-Nicolas Bujold, données non publiées, INRS-ETE) et qui étudiait l'effet des transpondeurs 23 mm sur la survie et la croissance des saumons juvéniles a indiqué que les individus marqués de moins de 95 mm présentaient des taux de croissance significativement plus bas que les individus témoins (sans transpondeurs). Ces résultats ont conduit à l'instauration dans cette étude d'une limite de taille au marquage qui était de 95 mm.

Le marquage des poissons s'est effectué à l'aide des transpondeurs RI-TRP-WRHP Half Duplex 134,2 kHz de Texas instruments (longueur de 23 mm; diamètre de 3,9 mm; masse de 0,6g (air)). Afin d'aider à la manipulation sécuritaire des poissons durant le marquage tout en diminuant leur stress, ceux-ci ont été anesthésiés avec une solution d'eugénol (clou de girofle) de 40 ppm (Keene et al. 1998). Lorsqu'ils étaient anesthésiés, les poissons étaient mesurés et pesés. Le marquage consistait ensuite à effectuer une incision d'environ 5 mm sur la ligne ventrale médiane pour introduire le transpondeur dans la cavité péritonéale du poisson (Fig. 3.6a et b). Une fois le transpondeur introduit, une colle chirurgicale (Vetbond) a été utilisée pour fermer l'incision (Fig. 3.6c et d). La colle peut prévenir la perte du transpondeur et l'introduction de corps étrangers par la plaie. Après la chirurgie, les poissons étaient gardés quelques heures jusqu'à récupération complète dans un vivier qui était placé dans le ruisseau avant d'être relâchés. Au total, 131 poissons ont été marqués et remis au milieu de leur site de capture respectif, soit 108 saumons et 23 ombles. La longueur à la fourche et la masse des poissons variaient de 95 à 156 mm (Fig. 3.7a) et de 7,8 à 36,6 g respectivement (Fig. 3.7b). La taille et la masse du transpondeur représentaient approximativement 24 % et 8 % respectivement des mêmes paramètres des plus petits poissons de l'étude. Huit poissons sont morts suite à la chirurgie, ce qui représente 6% des poissons manipulés durant l'expérience. Ces mortalités s'expliquent par l'anesthésie et/ou les manipulations. Une période minimale de quatre jours a été allouée entre la remise à l'eau des poissons marqués et le début du suivi des déplacements pour permettre aux poissons de se remettre des manipulations.

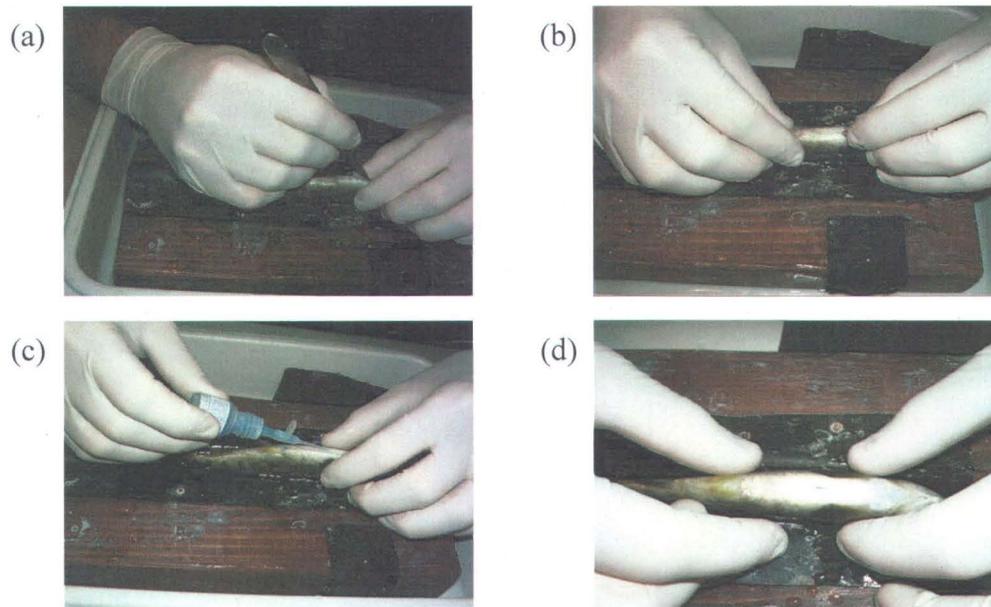


Figure 3.6. Étapes de la chirurgie permettant l'introduction du transpondeur passif. (a) Incision; (b) introduction du transpondeur; (c) et (d) fermeture et aspect de la plaie.

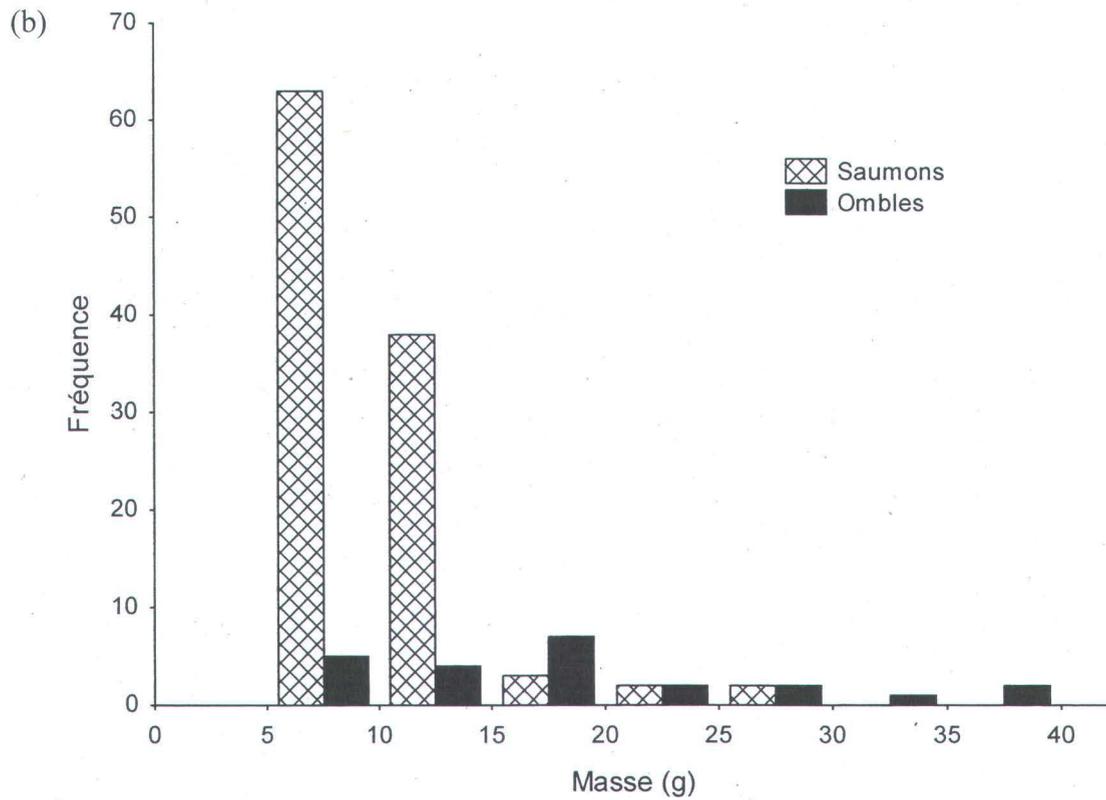
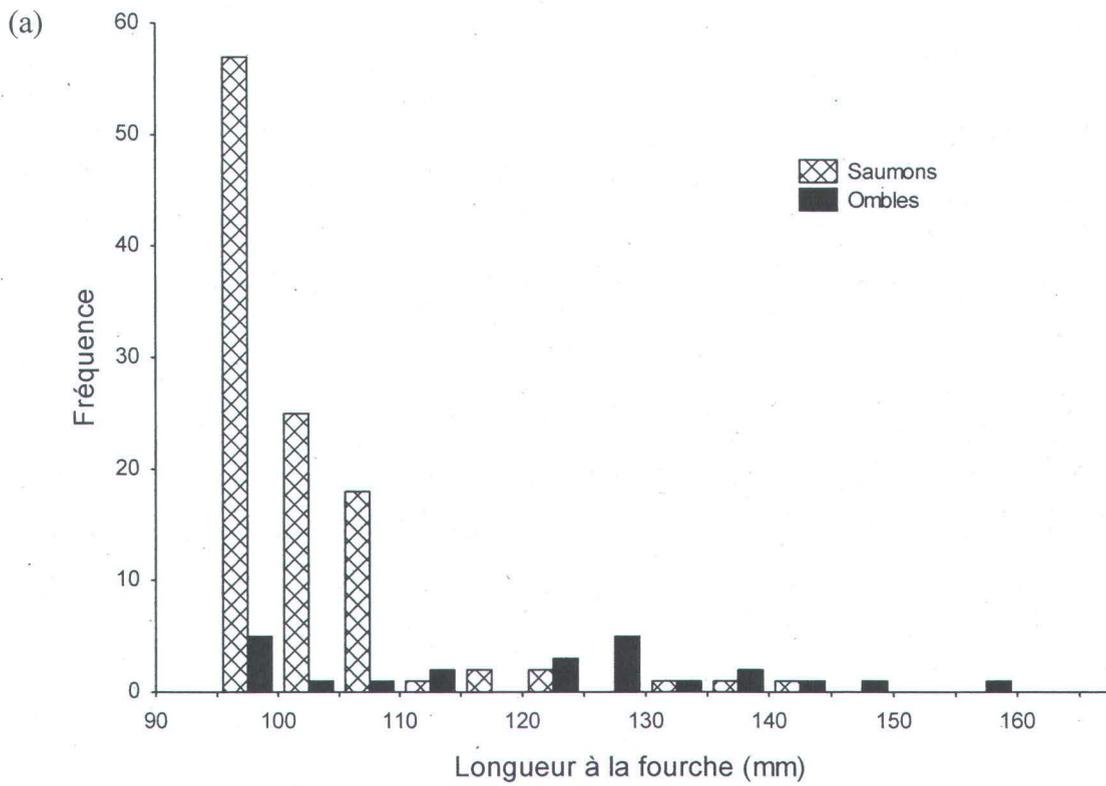


Figure 3.7. Distribution de la longueur à la fourche (a) et de la masse (b) des saumons ainsi que des ombles marqués et remis à l'eau durant l'étude (n=131).

3.7. SUIVI DES DÉPLACEMENTS

3.7.1. Stations fixes

Entre le 1^{er} août et le 15 novembre 2007, les déplacements des poissons marqués ont été suivis en continu dans le temps par les 14 antennes des quatre stations fixes installées dans la section d'étude. En se déplaçant, les poissons passaient au-dessus des antennes et les paramètres de détection (date, heure, # d'antenne, # d'identification du transpondeur) qui en résultaient étaient enregistrés par les récepteurs.

3.7.2. Système portable

Le système portable a été utilisé pour localiser à chaque deux semaines les poissons marqués sur la totalité des 2425 m de la section d'étude. Huit suivis de localisation ont été réalisés durant l'étude. Chaque suivi était d'une durée de deux jours. Deux des suivis ont été effectués en août (8-9 et 21-22), deux en septembre (6-7 et 18-19), trois en octobre (02-03; 17-18 et 30-31) et un en novembre (14-15). Un GPS a été utilisé pour déterminer la position des poissons par rapport à l'embouchure. À chaque localisation, la date, l'heure, la position et le numéro d'identification du poisson étaient notés.

3.8. ANALYSE DES DÉTECTIONS ET DES DÉPLACEMENTS

Les détections effectuées par les quatre stations fixes ont été groupées et traitées avant d'être jointes à celles du système portable. Les détections ont été classées par individu en ordre chronologique pour nous informer sur leur position dans la section d'étude à différents moments. Les détections de chaque individu ont ensuite été divisées en deux périodes (estivale et automnale). Le début de la période automnale a été établi en fonction du commencement des phases automnales de déplacements pour le saumon atlantique et l'omble de fontaine.

Les moments liés à la fraie commencent environ au début du mois d'octobre pour ces espèces à la latitude du site d'étude (Bernatchez et Giroux 2000). Le 1^{er} octobre a ainsi été déterminé comme étant la date du début de la période automnale. La période estivale de suivi a duré 61 jours (1^{er} août au 30 septembre) tandis que la période automnale a duré 46 jours (1^{er} octobre au 15 novembre). Les détections de chaque individu pour les deux périodes ont été analysées. Dans la présente étude, un déplacement a été défini comme tout changement de position de 50 m et plus dans une même direction entre deux ou plusieurs détections consécutives effectuées avec les stations fixes ainsi que le système portable (Fig. 3.8). La distance de 50 m a été établie en fonction de la grandeur limite déterminée dans la littérature de la section utilisée par les salmonidés hors des phases de déplacements (Gowan et al. 1994; Rodriguez 2002). Les déplacements observés ont été dénombrés pour chaque individu et une analyse des caractéristiques de ceux-ci a été réalisée (i.e. distance, direction, vitesse, moment, agrégation ou non). Les individus qui n'ont pas effectué de déplacement de 50 m et plus pendant la période estivale ont été définis en accord avec la littérature comme sédentaires. À l'inverse, les individus qui ont effectué un ou plusieurs déplacements de 50 m et plus durant la période estivale ont été définis comme mobiles. Les caractéristiques des déplacements des individus mobiles ont été analysées afin de déterminer si d'autres comportements spatiaux étaient à définir. Les données des deux espèces de l'étude ont été traitées ensemble car le nombre d'ombles de fontaine était trop petit pour effectuer une analyse séparée.

Le modèle de Poisson avec surabondance de zéros ("*Zero Inflated Poisson model*" ou ZIP) a été utilisé pour analyser l'influence du débit sur les déplacements des individus de l'étude. Le nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont ainsi que vers l'aval de 50 m et plus enregistrées à chaque jour par l'ensemble des stations fixes a été utilisé comme variable dépendante représentant les déplacements dans les régressions réalisées.

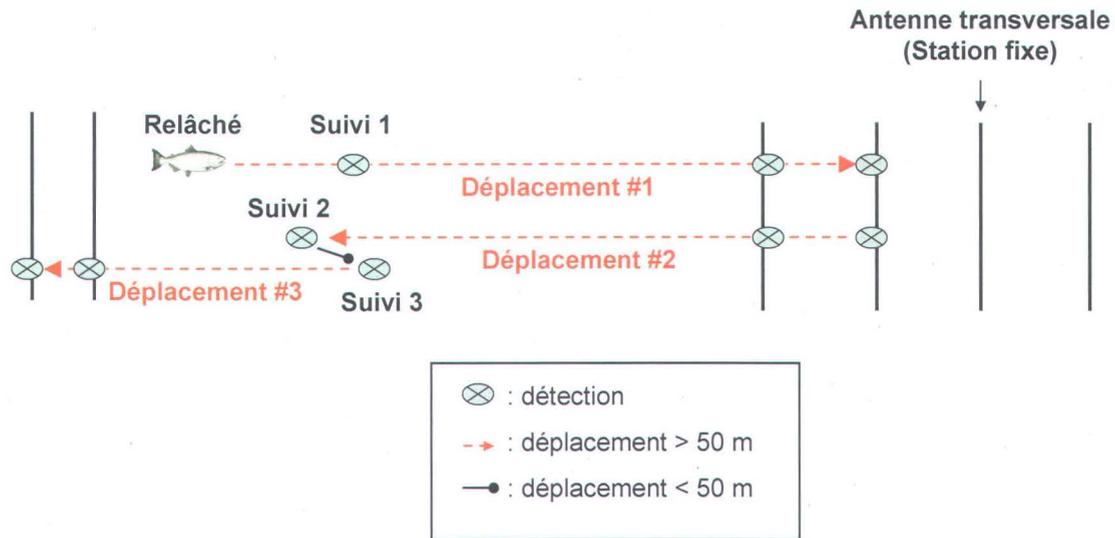


Figure 3.8. Représentation schématique qui démontre comment les déplacements ont été définis dans cette étude. Les suivis correspondent aux localisations effectuées avec le système portable. Les flèches pointillées indiquent les déplacements.

Puisque les détections enregistrées par les stations fixes se produisent lorsque les poissons nagent au-dessus des antennes transversales, le nombre de détections effectuées par les stations fixes est ainsi relié au nombre de poissons qui se déplacent et à la distance qu'ils parcourent. Le modèle ZIP est conçu pour analyser les variables de type décompte avec surabondance de zéros comme le nombre de détections dans le cas qui nous concerne. Il présente à la fois dans la même analyse l'aspect quantitatif (i.e. Est-ce que le nombre de détections est influencé par le débit lorsque les poissons se déplacent?) ainsi que l'aspect binaire (i.e. Est-ce que la décision de se déplacer ou non est influencée par le débit?). Les débits moyens de la journée même (Débit), de la journée précédente (Lag1_Débit) et de la journée antérieure à cette dernière (Lag2_Débit) ont été utilisés comme variables explicatives possibles. La sélection de la ou des variables explicatives a été réalisée selon la méthode algorithmique pas-à-pas ("Stepwise"). Un test de Durbin-Watson a été appliqué à chaque analyse pour déterminer si la variable dépendante (i.e. nombre de détections) était autocorrélée. Si tel était le cas, le seuil de signification était abaissé à 0,01 au

lieu de 0,05 car le modèle ZIP ne tient pas compte de l'autocorrélation. Lorsque les régressions réalisées étaient significatives, une analyse de corrélation de Pearson était effectuée entre les valeurs prédites par le modèle et les valeurs brutes afin de connaître le pourcentage de variance qui était expliqué par le modèle (i.e. Pseudo-R²). D'autre part, le nombre de détections associées aux déplacements de plus de 50 m a été utilisé pour illustrer graphiquement les patrons spatio-temporels des déplacements des individus de l'étude.

CHAPITRE 4

RÉSULTATS

4.1. DÉTECTIONS EFFECTUÉES PAR LES STATIONS FIXES ET LE SYSTÈME PORTABLE

Les stations fixes ont été en fonction de manière continue durant toute la période d'étude allant du 1^{er} août au 15 novembre, aucun problème n'ayant entravé leur fonctionnement. Les stations fixes ont totalisé 688 217 détections durant l'étude. Un très grand nombre des détections enregistrées par les stations fixes provenait de poissons qui sont restés stationnaires sur les antennes. Ces détections ont été supprimées de la base de données pour la simplifier en ne gardant que les détections qui ont été effectuées lors des déplacements. Pour ce faire, les séries continues de détections d'un même poisson sur une même antenne ont été supprimées, à l'exception de la première et de la dernière détection des séries qui représentent l'arrivée et le départ du poisson sur l'antenne en question. Après ces traitements, les stations fixes comptaient 843 détections, ce qui représente 0,12 % des détections enregistrées originalement par celles-ci. En tenant compte que le système portable a effectué 423 détections durant l'étude, la base de données totalisait ainsi 1266 détections en combinant les deux systèmes.

Des 131 poissons marqués (108 saumons : 23 ombles) et remis dans la section d'étude, 10 poissons (5 : 5) n'ont jamais été détectés. De plus, deux transpondeurs qui ont été possiblement expulsés par les poissons et/ou qui ont été rejetés par un prédateur suite à l'ingestion de ces derniers ont été retrouvés sur le substrat du ruisseau. Un total de 119 poissons (101 : 18) a ainsi été détecté par le système portable et/ou les stations fixes, ce qui représente 91% des individus marqués. Il y a eu 50 individus (42 : 8) qui ont été détectés par les deux types de systèmes, 46 individus (44 : 2) qui ont été détectés exclusivement

par le système portable et 23 (15 : 8) individus qui ont été détectés exclusivement par les stations fixes. Ainsi, le système portable a détecté 81 % des individus de l'étude tandis que les stations fixes en ont détecté 61 %.

4.2. MOBILITÉ ET PATRON DES DÉPLACEMENTS OBSERVÉS DURANT L'ÉTUDE

Les stations fixes et le système portable n'ont pas tracé un portrait similaire des déplacements effectués durant l'expérience (Tableau 4.1). Les stations fixes ont permis d'observer des déplacements chez presque trois fois (2,6X) plus d'individus. Seulement huit poissons qui se sont déplacés durant l'étude n'ont pas été détectés par les stations fixes. Ces dernières ont aussi observé six fois (6,2X) plus de déplacements. De plus, la distance moyenne parcourue par les individus durant la période de suivi et la distance moyenne des déplacements effectués durant cette même période a été plus élevée avec les stations fixes, soit respectivement huit fois (8,3X) et presque quatre fois (3,5X).

L'analyse des détections réunies du système portable et des stations fixes a permis d'établir le portrait des déplacements observés durant l'étude. Il a été possible de détecter des déplacements chez 78 individus (66 %) (63 : 15) (Tableau et Fig. 4.1). Au total, 255 déplacements ont été observés (114 vers l'amont (45 %) et 141 vers l'aval (55%)). La distance totale parcourue par les 78 individus lors de ces déplacements a été de 253 537 m (106 441 m vers l'amont et 145 687 m vers l'aval). Ils ont effectué en moyenne 3,3 déplacements (Fig. 4.2). La moyenne de la distance parcourue par les individus pendant toute la période de suivi a été de 3 251 m (1 365 m vers l'amont et 1 886 m vers l'aval) (Fig. 4.3). La moyenne de la distance parcourue par déplacement a été de 994 m (934 m vers l'amont et 1 043 m vers l'aval).

Tableau 4.1. Résumé des informations sur les déplacements observés avec le système portable, les stations fixes et les deux systèmes réunis pendant la période de suivi.

		Système portable	Stations fixes	Système portable & Stations fixes
Nombre d'individus*		27	70	78
Nombre de déplacements	Deux directions	38	235	255
	Amont	22	103	114
	Aval	16	132	141
Nombre de déplacements par individu**	Deux directions	1,4 ± 0,8 (1-4)	3,4 ± 5,2 (1-28)	3,3 ± 5,0 (1-28)
	Amont	0,8 ± 0,5 (1-2)	1,5 ± 2,7 (0-14)	1,5 ± 2,6 (0-14)
	Aval	0,6 ± 0,7 (1-2)	1,9 ± 2,6 (0-14)	1,8 ± 2,5 (0-14)
Distance parcourue par déplacement (m)**	Deux directions	302 ± 374 (50-1881)	1053 ± 886 (10-2425)^a	994 ± 880 (10-2425)^a
	Amont	281 ± 417 (50-1881)	1004 ± 921 (10-2425)^a	934 ± 912 (10-2425)^a
	Aval	331 ± 318 (50-957)	1091 ± 859 (10-2425)^a	1043 ± 852 (10-2425)^a
Distance parcourue par individu (m)**	Deux directions	425 ± 707 (50-3009)	3536 ± 7222 (200-47970)	3251 ± 6900 (60-47970)
	Amont	223 ± 440 (0-2000)	1479 ± 3712 (0-23985)	1365 ± 3533 (0-23985)
	Aval	202 ± 376 (0-1588)	2057 ± 3552 (0-23985)	1886 ± 3407 (0-23985)

* Nombre d'individus dont les déplacements ont été détectés

** Moyenne ± écart-type (étendue)

^a Limite inférieure établie par les incursions qui n'ont pas atteint les stations fixes du milieu (voir section 4.3.2.2)
(10 m = distance de l'embouchure de l'antenne amont de la station fixe situé à l'embouchure)

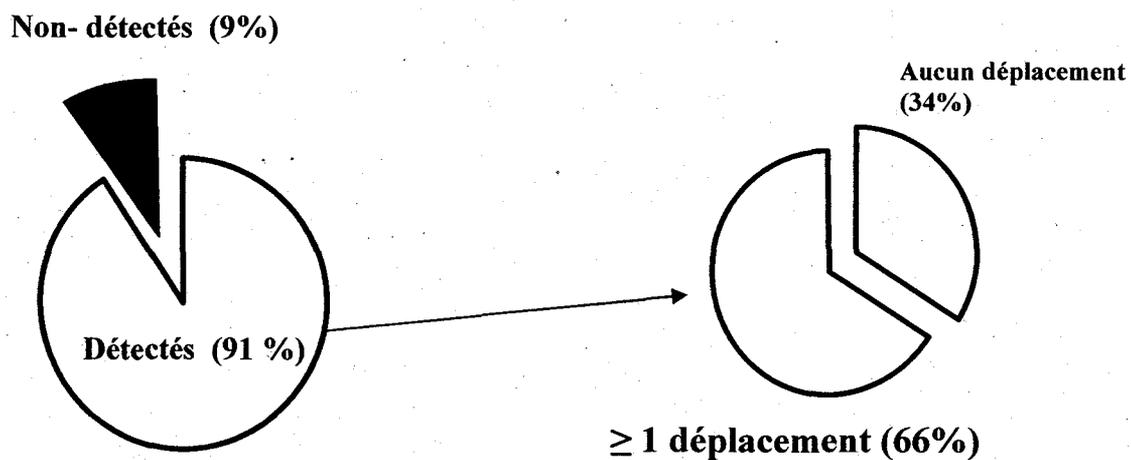


Figure 4.1. Proportion des poissons détectés qui ont effectué un ou plusieurs déplacements durant l'expérience.

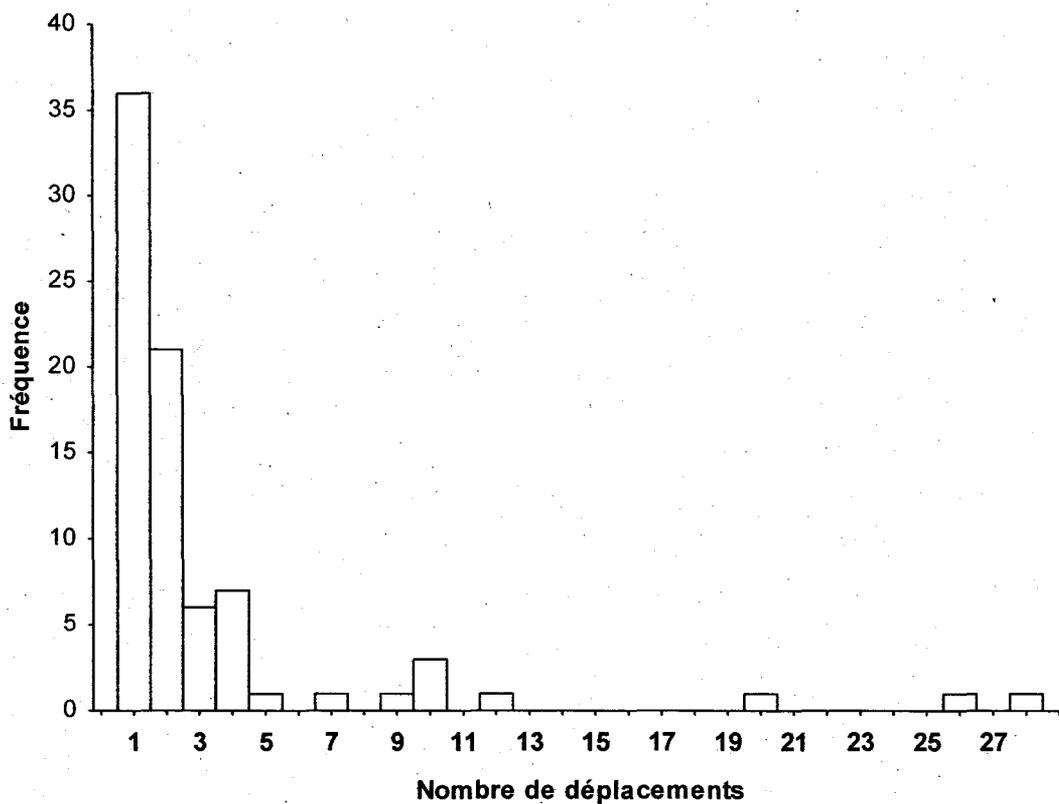


Figure 4.2. Distribution du nombre de déplacements effectués par les poissons qui se sont déplacés durant l'étude (n=78).

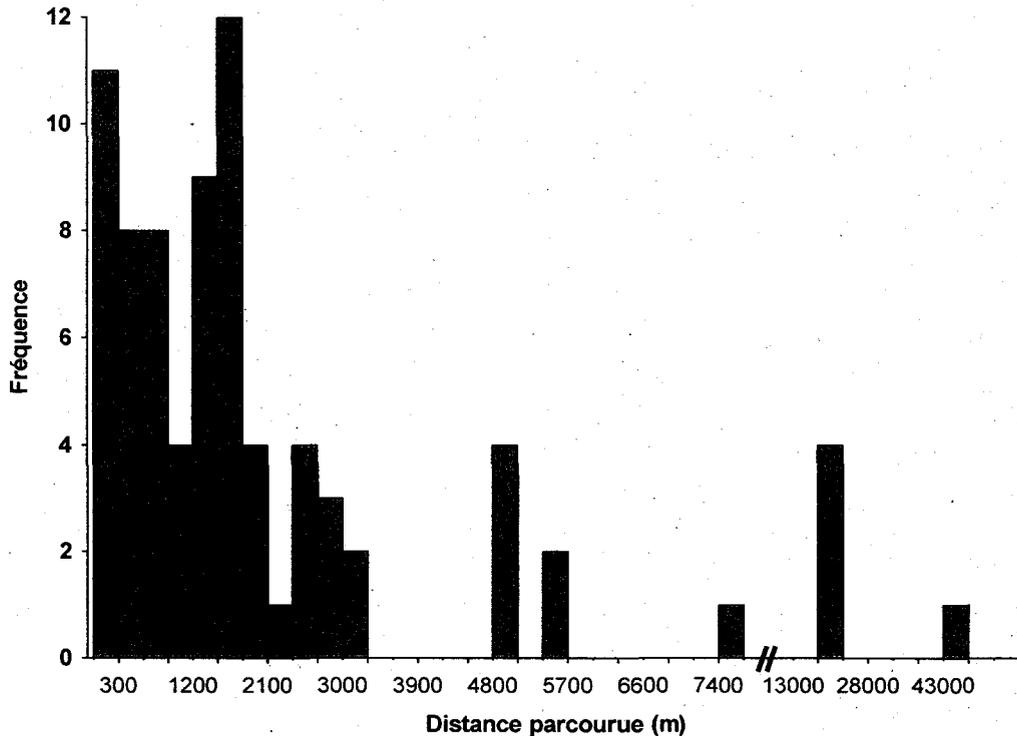


Figure 4.3. Distribution de la distance parcourue durant toute la période de suivi par les poissons qui se sont déplacés (n=78). Noter la coupure de l'axe des abscisses dans le graphique.

Les déplacements observés étaient répartis de façon relativement homogène sur l'ensemble de la période de suivi. Le patron des déplacements observés illustre une série de nombreuses courtes séquences estivales de déplacements suivie d'une plus longue séquence de déplacements davantage regroupés pendant la période automnale (Fig. 4.4). Il y a eu 47 individus qui ont effectué des déplacements pendant la période estivale (40 % des individus détectés) tandis que 48 individus se sont déplacés à l'automne. La majorité de ces individus a uniquement effectué des déplacements dans la section d'étude pendant l'une de ces deux périodes (n=61; 78 %). Seulement 17 individus se sont déplacés pendant les deux périodes. Il y a eu 181 déplacements qui ont été observés durant la période estivale (71 %) et 74 déplacements pendant la période automnale (29 %). Les déplacements automnaux ont été effectués en bonne partie vers l'aval (n= 50; 68 %). 65 % des individus qui se sont déplacés durant l'automne sont sortis du ruisseau sans y revenir.

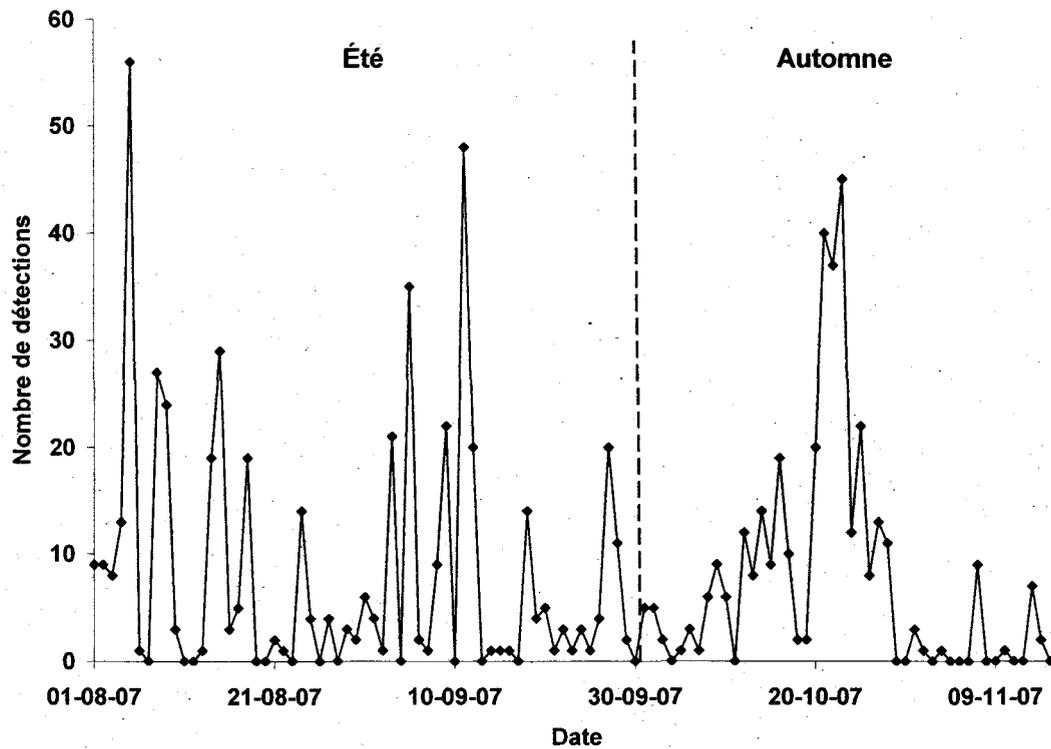


Figure 4.4. Patron spatio-temporel des déplacements effectués par les poissons qui se sont déplacés durant l'étude. Le graphique illustre le nombre de détections effectuées à chaque jour par toutes les stations fixes. Les détections enregistrées par les stations fixes se produisent lorsque les poissons nagent au-dessus des antennes transversales. Le nombre de détections enregistrées est ainsi relié au nombre de poissons qui se déplacent et à la distance qu'ils parcourent.

4.3. COMPORTEMENTS SPATIAUX OBSERVÉS DURANT L'ÉTUDE

Les individus de l'étude ont été classifiés en fonction de leur comportement spatial durant la période de suivi. La classification s'est basée sur la mobilité des individus en période estivale et sur les caractéristiques des déplacements qu'ils ont effectués (i.e. distance, direction, moment, vitesse, agrégation ou non).

Dans un premier temps, les poissons qui répondaient à la définition du paradigme du déplacement restreint énoncé dans la littérature ont été identifiés. Ainsi, les individus qui n'ont pas effectué de déplacements de 50 m ou plus en période estivale ont été classifiés et désignés comme des individus sédentaires. Il a été possible d'identifier 72 individus sédentaires (66 : 6), ce qui représente 60 % des individus de l'étude. Dans un second temps, tous les poissons qui ne correspondaient pas à la définition des individus sédentaires ont été classifiés en tant qu'individu mobile. Au total, 47 individus mobiles ont été identifiés, soit 40 % des individus de l'étude.

4.3.1. Individus sédentaires

Les individus sédentaires ne se sont pas déplacés en période estivale mais certains d'entre eux l'ont fait à l'automne. Il y a eu 31 individus sédentaires qui se sont déplacés en période automnale (43 %) (28 : 3). Les individus sédentaires ont effectué 44 déplacements qui étaient très majoritairement orientés vers l'aval (13 vers l'amont (30 %) et 31 vers l'aval (70 %)) (Tableau. 4.2). Les déplacements des individus sédentaires ont été davantage regroupés en une séquence qui s'est étalée du 8 au 28 octobre (Fig. 4.5). La majorité des détections (i.e. 87 %) d'individus sédentaires effectuées par les stations fixes à partir du 1^{er} octobre était comprise dans cette séquence. Les 31 individus sédentaires qui se sont déplacés pendant l'automne ont effectué en moyenne 1,4 déplacement (Fig. 4.6). La distance moyenne parcourue par les individus a été

de 1 264 m (194 m vers l'amont et 1 070 m vers l'aval) (Fig. 4.7). La distance moyenne parcourue lors des déplacements a été de 890 m (462 m vers l'amont et 1 070 m vers l'aval). Les individus qui ont effectué un seul déplacement (78 %) l'ont fait à 83 % vers l'aval. Il y a eu 19 poissons (18 :1) qui sont sortis du ruisseau lors de leurs déplacements vers l'aval tandis que deux poissons (2 : 0) sont sortis de la section d'étude par l'amont. Ces poissons ne sont pas revenus dans le ruisseau par la suite. Ainsi, 61 % des déplacements vers l'aval et 15 % des déplacements vers l'amont ont mené à une sortie du site d'étude. La vitesse moyenne des déplacements des individus sédentaires était de 80 m/h vers l'amont et de 157 m/h vers l'aval. Leurs déplacements se déroulaient davantage à la fin de la journée et durant la nuit de 18h00 à 7h00 (Fig. 4.8). Une grande partie (i.e. 80 %) des détections effectuées par toutes les stations fixes pendant la période automnale des individus sédentaires s'est produite pendant cette dernière plage horaire. Les individus sédentaires se déplaçaient solitairement. Les deux détections les plus rapprochées dans le temps d'individus différents passant au-dessus d'une même antenne transversale ont été à 2 min 55 sec d'intervalle.

Tableau 4.2. Résumé des informations sur les déplacements effectués par les individus sédentaires et mobiles durant l'étude.

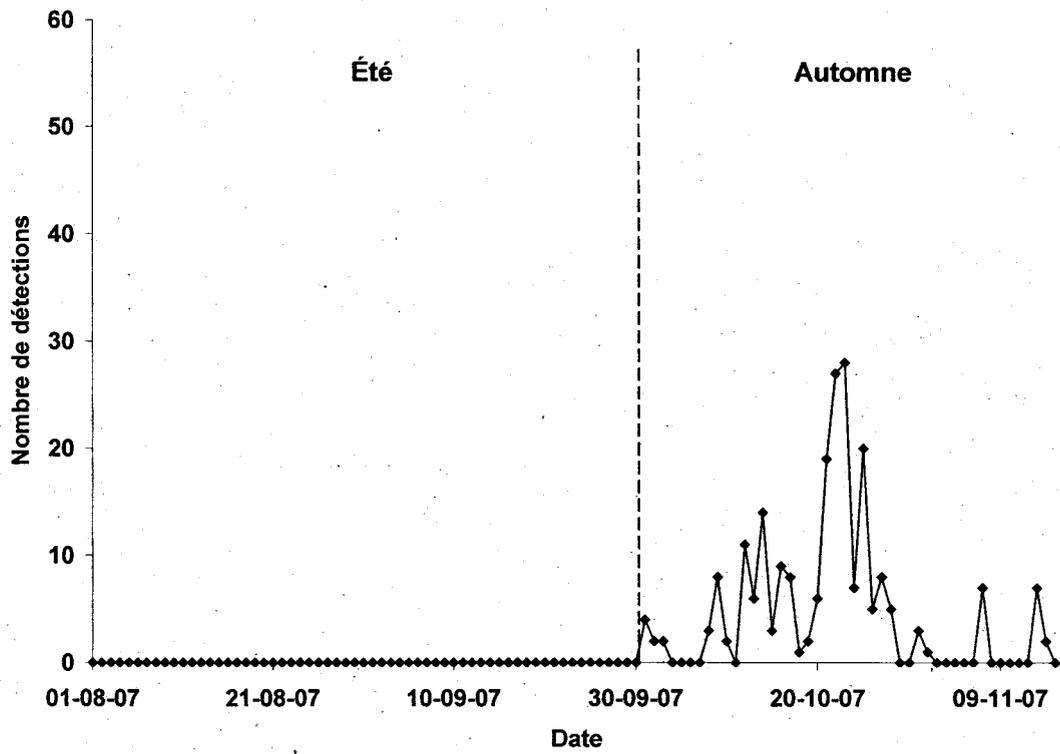
		Sédentaires	Mobiles résidents		Mobiles voyageurs
			été	automne	
Nombre d'individus*		31	31	17	16
Nombre de déplacements	Deux directions	44	65	30	116
	Amont	13	32	11	58
	Aval	31	33	19	58
Nombre de déplacements par individu **	Deux directions	1,4 ± 0,9 (1-4)	2,1 ± 3,5 (1-19)	1,8 ± 1,5 (1-7)	7,2 ± 7,6 (2-28)
	Amont	0,4 ± 0,6 (1-2)	1,0 ± 1,7 (1-9)	0,7 ± 1,0 (1-4)	3,6 ± 3,8 (1-14)
	Aval	1,0 ± 0,5 (1-2)	1,1 ± 1,9 (1-10)	1,1 ± 0,6 (1-3)	3,6 ± 3,8 (1-14)
Distance parcourue par déplacement (m) **	Deux directions	890 ± 603 (50-2425)	184 ± 262 (50-1175)	667 ± 669 (50-2425)	1572 ± 826 (10-2425)^a
	Amont	462 ± 299 (75-1075)	133 ± 165 (50-706)	453 ± 566 (50-1886)	1572 ± 829 (10-2425)^a
	Aval	1070 ± 611 (50-2425)	234 ± 326 (50-1175)	791 ± 706 (50-2425)	1572 ± 829 (10-2425)^a
Distance parcourue par individu (m) **	Deux directions	1264 ± 648 (173-2928)	386 ± 507 (50-2127)	1177 ± 819 (150-3008)	11399 ± 12361 (2750-47970)
	Amont	194 ± 323 (0-575)	137 ± 199 (0-706)	293 ± 503 (0-1886)	5699 ± 6180 (1375-23985)
	Aval	1070 ± 644 (0-2425)	249 ± 420 (0-1421)	884 ± 695 (0-2425)	5699 ± 6180 (1375-23985)
Vitesse (m/h) **	Amont	80 ± 72 (6-187)	178 ± 264 (8-857)	118 ± 246 (5-1000)	1161 ± 801 (139-3000)
	Aval	157 ± 266 (3-683)	449 ± 503 (17-1000)	519 ± 501 (42-1500)	2673 ± 1579 (625-6000)
Nombre de sortie du ruisseau ***	Amont	2	0	0	0
	Aval	19	6	12	16

*Nombre d'individus qui se sont déplacés

** Moyenne ± écart-type (étendue)

*** Nombre de poissons qui sont sortis du ruisseau et qui ne sont pas revenus

^a Limite inférieure de l'étendue établie en fonction des incursions qui n'ont pas atteint les stations fixes du milieu (voir section 4.3.2.2) (10 m = distance de l'embouchure des deux antennes amont de la station fixe située à l'embouchure).



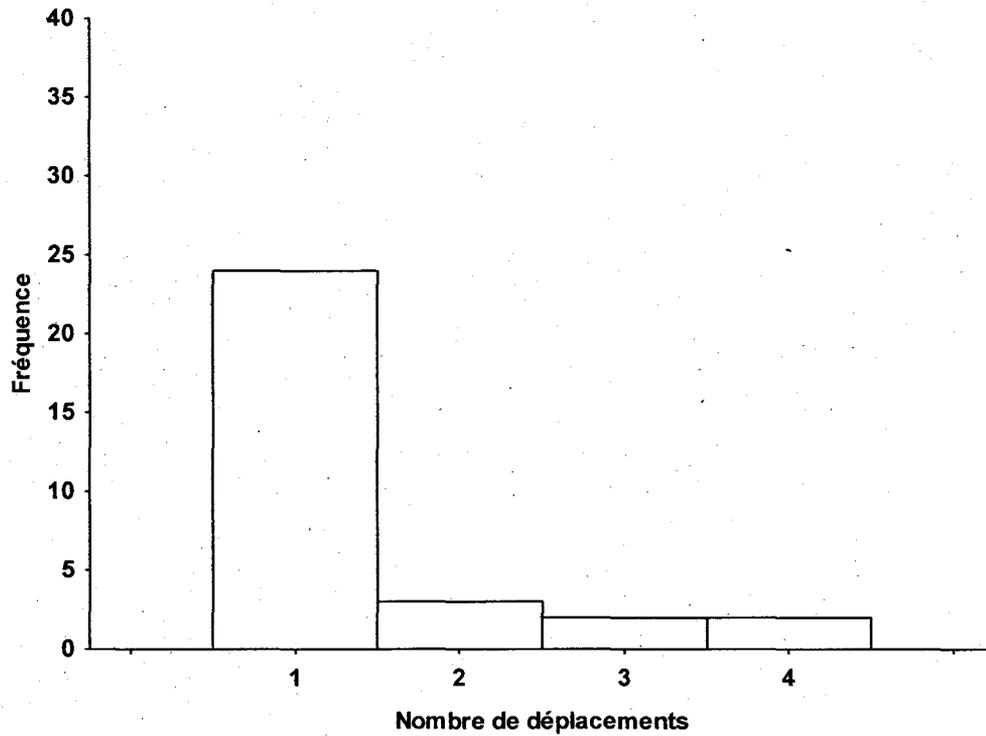


Figure 4.6. Distribution du nombre de déplacements effectués par les individus sédentaires en période automnale (n=31).

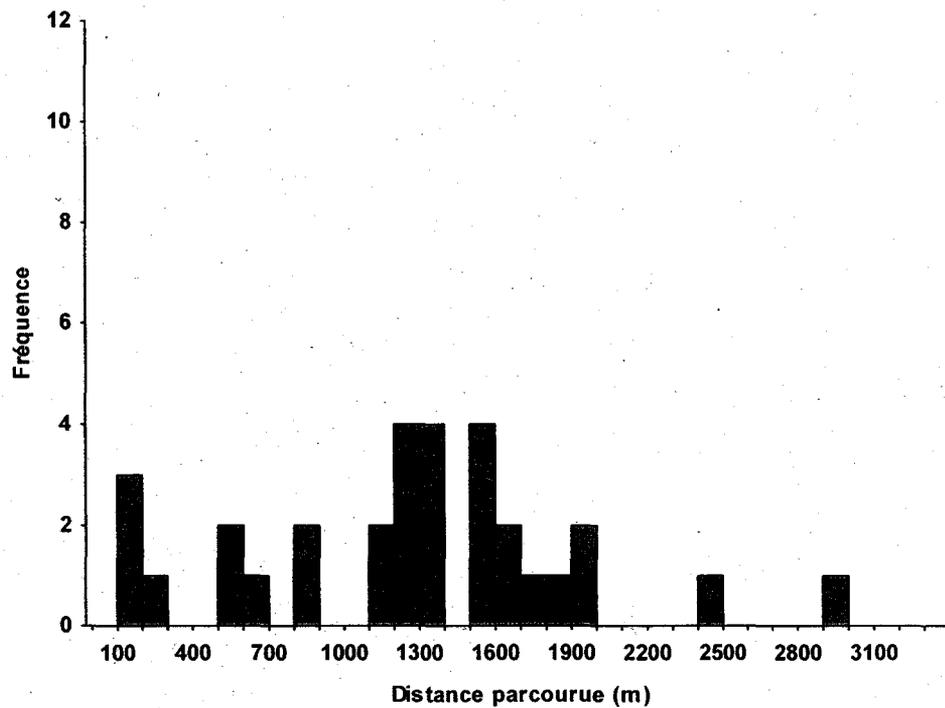


Figure 4.7. Distribution de la distance parcourue par les individus sédentaires en période automnale (n=31).

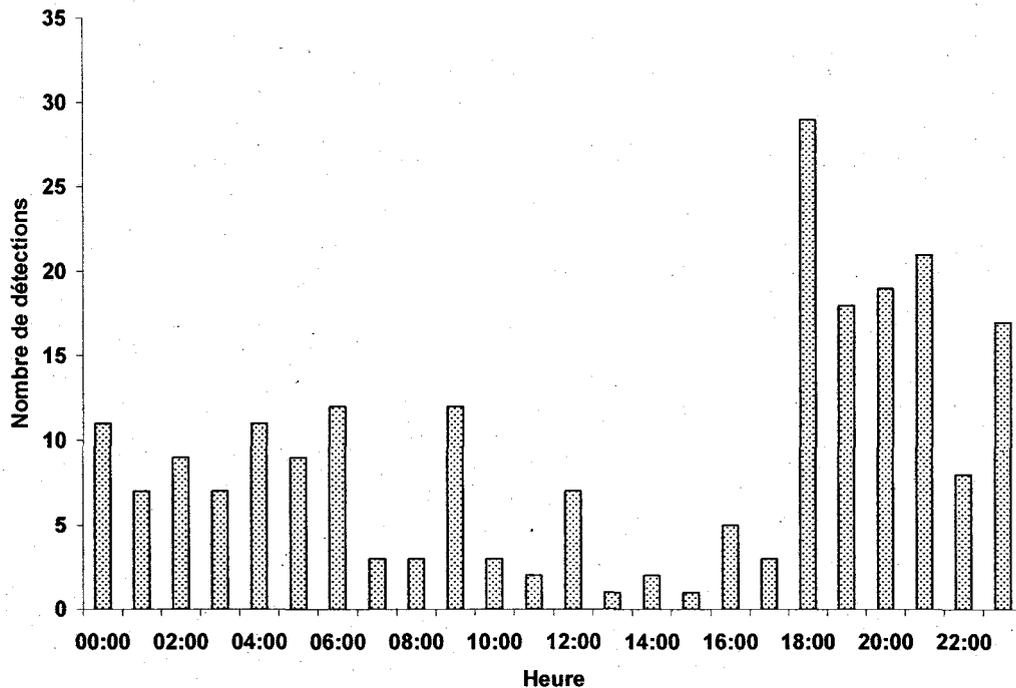


Figure 4.8. Distribution journalière des déplacements des individus sédentaires pendant la période automnale. Le graphique illustre le nombre de détections des individus sédentaires effectuées à chaque heure de la journée par toutes les stations fixes du 1^{er} octobre au 15 novembre.

4.3.2. Individus mobiles

Les individus mobiles ont présenté deux comportements spatiaux différents lors de l'étude. Ils ont ainsi été classifiés en deux groupes distincts, soit les individus mobiles **résidants** et les individus mobiles **voyageurs**. Les individus mobiles résidants étaient résidants de la section d'étude tandis que les individus mobiles voyageurs ne l'étaient pas. Les individus mobiles résidants ont été détectés lors des suivis avec le système portable à l'inverse des individus mobiles voyageurs qui ne l'ont pas été puisqu'ils ne restaient pas dans le ruisseau. Les individus mobiles voyageurs résidaient dans la rivière et ils effectuaient des incursions dans le ruisseau Xavier. Ces incursions présentaient des caractéristiques particulières, comme entre autres de grandes distances parcourues ainsi qu'une agrégation des individus en mouvement, qui n'étaient pas observées chez les individus mobiles résidants. On a dénombré 31 individus

mobiles résidants (23 : 8) et 16 individus mobiles voyageurs (12 : 4), ce qui représente respectivement environ 26 % et 14 % des individus de l'étude. Aucune différence significative de taille (Fig. 4.9) ou de masse (Fig. 4.10) n'a été observée entre les deux groupes d'individus mobiles de même qu'entre les individus mobiles et sédentaires.

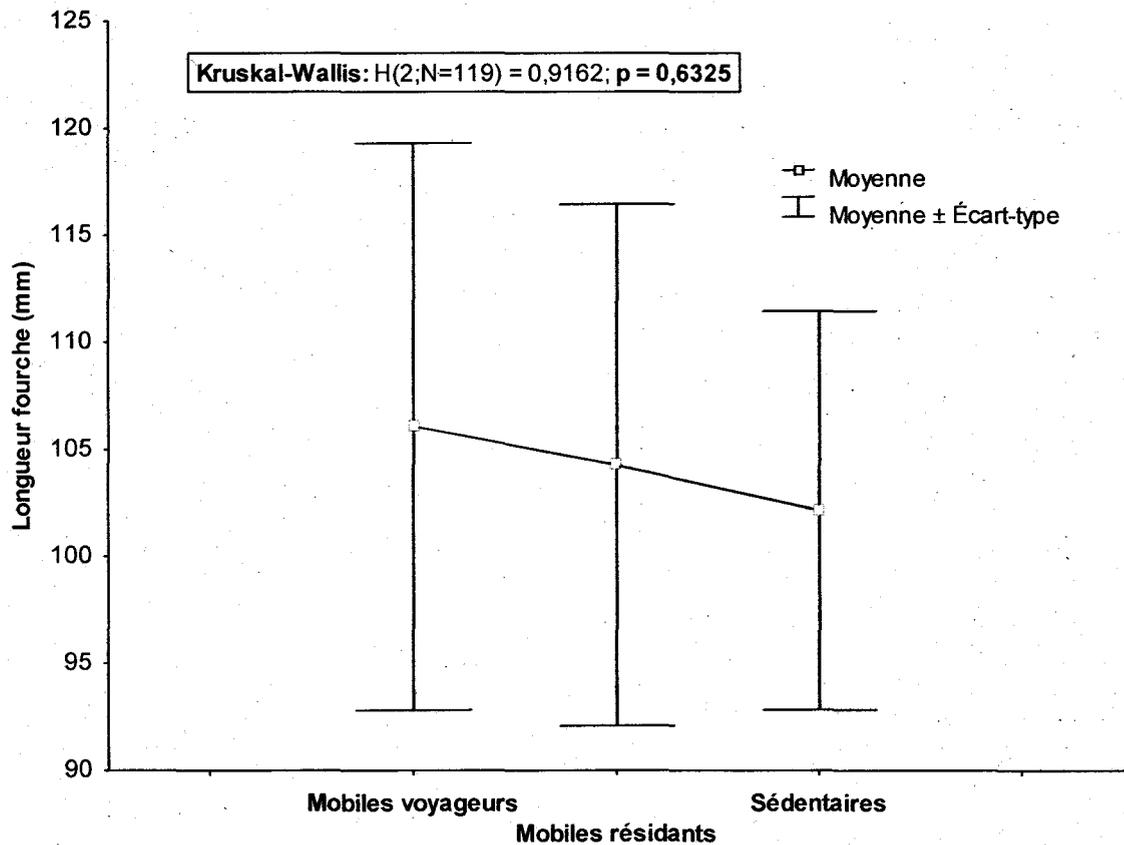


Figure 4.9. Longueur fourche moyenne (\pm écart-type) des individus des différents groupes comportementaux de l'étude (i.e. mobiles voyageurs, mobiles résidants et sédentaires). Un test de Kruskal-Wallis a été effectué pour déterminer s'il existe ou non une différence entre les groupes par rapport à la longueur fourche des individus. Le résultat est présenté dans l'encadré situé dans le haut du graphique.

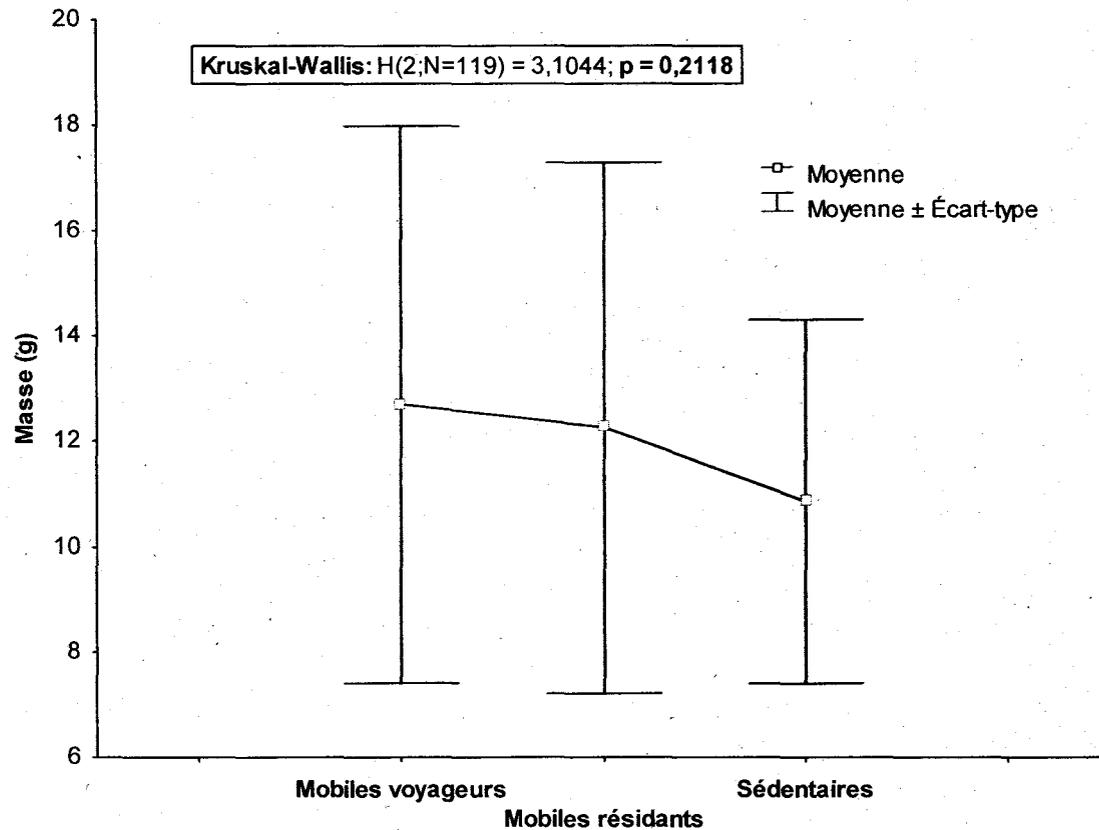


Figure 4.10. Masse moyenne (\pm écart-type) des individus des différents groupes comportementaux de l'étude (i.e. mobiles voyageurs, mobiles résidents et sédentaires). Un test de Kruskal-Wallis a été effectué pour déterminer s'il existe ou non une différence entre les groupes par rapport à la masse des individus. Le résultat est présenté dans l'encadré situé dans le haut du graphique.

4.3.2.1. Individus mobiles résidents

Les individus mobiles résidents ont effectué des déplacements pendant toute la période de suivi (Fig. 4.11). Ils ont effectué 95 déplacements au total durant l'étude, soit 65 durant la période estivale et 30 pendant la période automnale.

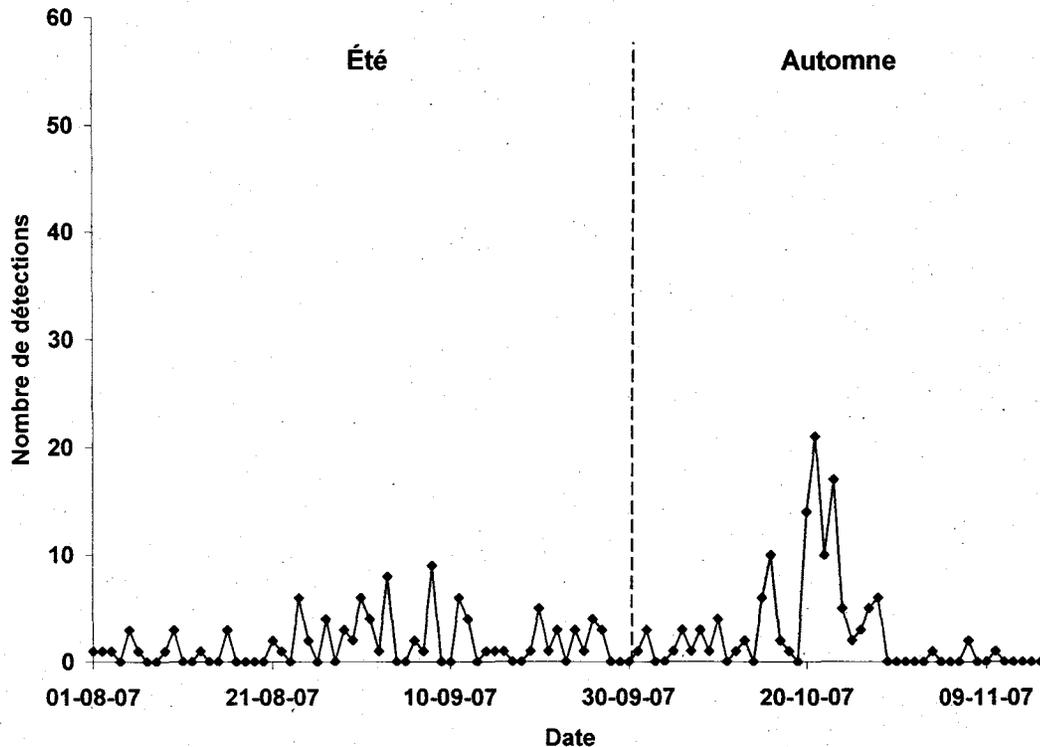


Figure 4.11. Patron spatio-temporel des déplacements des individus mobiles résidants. Le graphique illustre le nombre de détections des individus mobiles résidants effectuées à chaque jour durant la période de suivi par toutes les stations fixes.

4.3.2.1a. Déplacements en période estivale

Durant la période estivale, les individus mobiles résidants ont effectué en moyenne 2,1 déplacements (Fig. 4.12) pour une distance moyenne parcourue par les individus de 386 m (137 m vers l'amont et 249 m vers l'aval) (Fig. 4.13). La distance moyenne parcourue lors des déplacements pour ces individus a été de 184 m (133 m vers l'amont et 234 m vers l'aval). Des 65 déplacements qu'ils ont effectués, 33 de ceux-ci étaient orientés vers l'aval (51%). Six individus mobiles résidants sont sortis du ruisseau vers l'aval (19 %) (1 : 5) et aucun vers l'amont pendant cette période. Ces poissons ne sont pas revenus dans la section d'étude par la suite. Les déplacements étaient distribués sans patron apparent pour cette période (Fig. 4.11). Les individus mobiles ont effectué davantage leurs déplacements de 3h00 à 7h00 et de 19h00 à 23h00 (Fig. 4.14). Une grande

partie (i.e. 74 %) des détections d'individus mobiles résidants effectuées par toutes les stations fixes pendant la période estivale s'est produite pendant ces deux dernières plages horaires. La vitesse moyenne des déplacements était plus élevée vers l'aval que vers l'amont, soit de 449 m/h et de 178 m/h respectivement. D'autre part, les individus mobiles résidants se déplaçaient individuellement pendant leurs déplacements estivaux. Les deux détections les plus rapprochées dans le temps d'individus différents passant au-dessus d'une même antenne transversale ont été à 2 h 16 min d'intervalle.

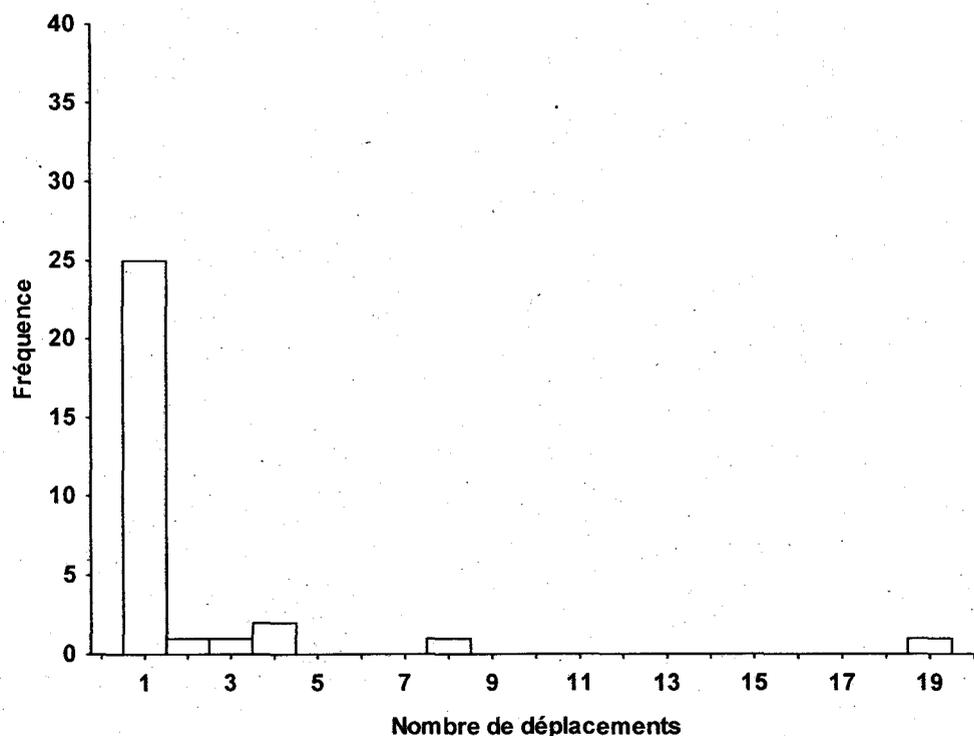


Figure 4.12. Distribution du nombre de déplacements effectués par les individus mobiles résidants en période estivale (n=31).

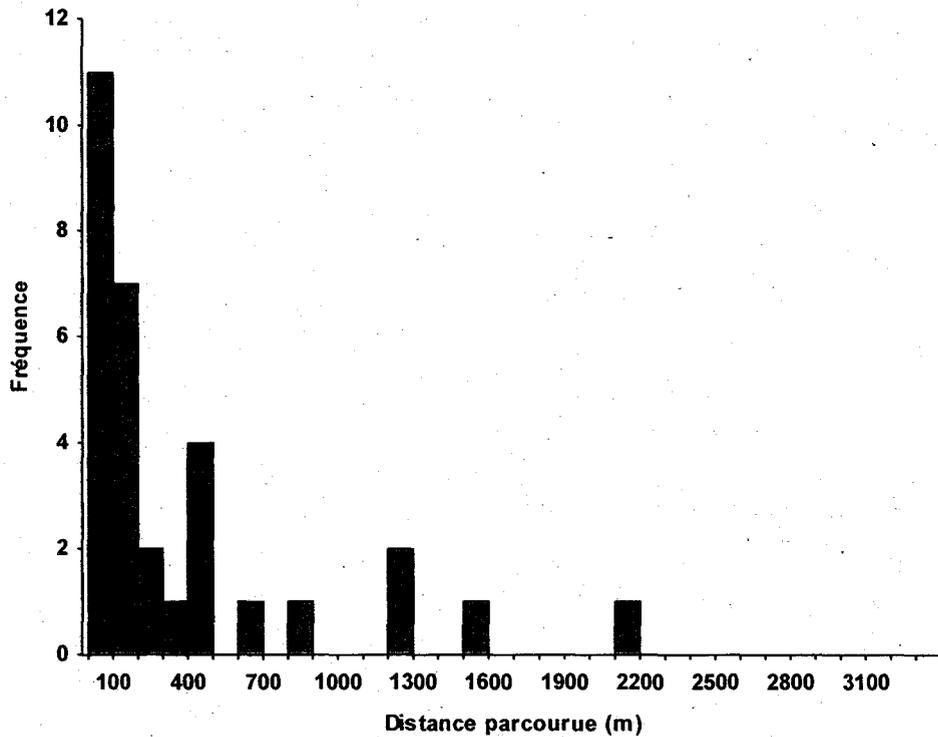


Figure 4.13. Distribution de la distance parcourue par les individus mobiles résidants en période estivale (n=31).

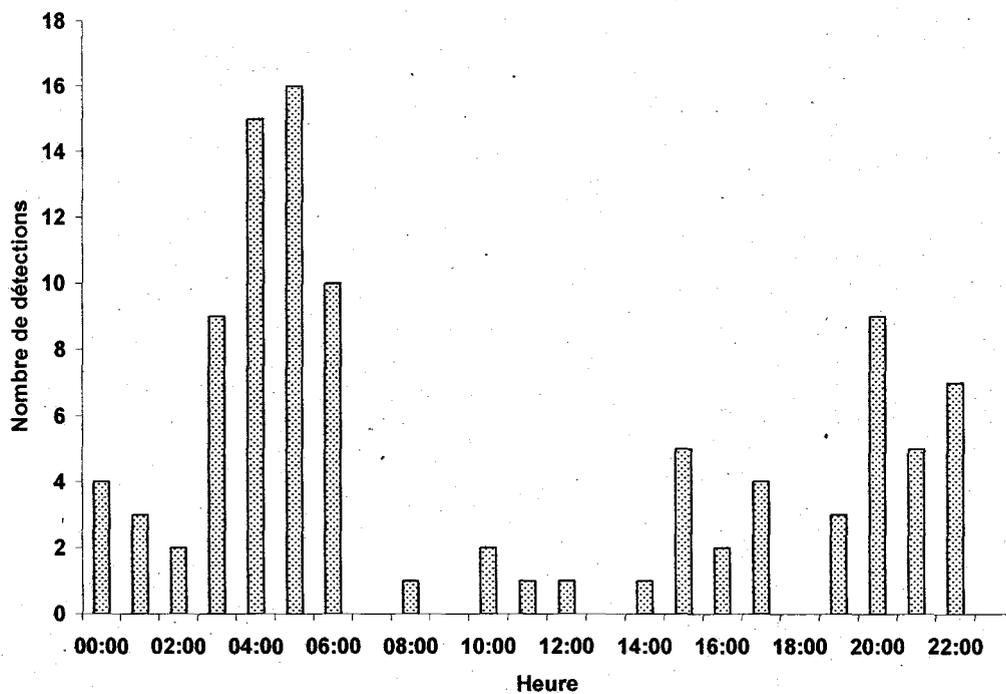


Figure 4.14. Distribution journalière des déplacements des individus mobiles résidants pendant la période estivale. Le graphique illustre le nombre de détections des individus mobiles résidants effectuées à chaque heure de la journée par toutes les stations fixes du 1^{er} août au 30 septembre.

4.3.2.1b. Déplacements en période automnale

Pendant la période automnale, les individus mobiles résidants qui se sont déplacés ($n=17$) ont effectué en moyenne 1,8 déplacement (Fig. 4.15). Les 30 déplacements effectués par ces individus durant cette période ont été majoritairement orientés vers l'aval ($n=19$; 61 %). La distance moyenne parcourue par les individus a été de 1 177 m pendant cette période (293 m vers l'amont et 884 m vers l'aval) (Fig. 4.16). La distance moyenne parcourue lors des déplacements a été de 667 m (453 m vers l'amont et 791 m vers l'aval). Il y a eu 12 individus mobiles résidants qui sont sortis de la section d'étude vers l'aval durant l'automne (68 %) (11 :1). Ces poissons ne sont pas revenus par la suite. La majorité des déplacements automnaux s'est déroulée du 15 au 28 octobre (Fig. 4.11). La majorité (i.e. 81 %) des détections d'individus mobiles résidants par les stations fixes à partir du 1^{er} octobre s'est produite entre ces deux dates. Leurs déplacements s'effectuaient à différentes heures de la journée (Fig. 4.17). La vitesse moyenne des déplacements était plus élevée pour les déplacements vers l'aval que vers l'amont, soit de 519 m/h et de 118 m/h respectivement. Par ailleurs, les individus mobiles résidants se déplaçaient individuellement durant l'automne. Les deux détections les plus rapprochées dans le temps d'individus différents passant au-dessus d'une même antenne transversale ont été à 1 h 55 min d'intervalle.

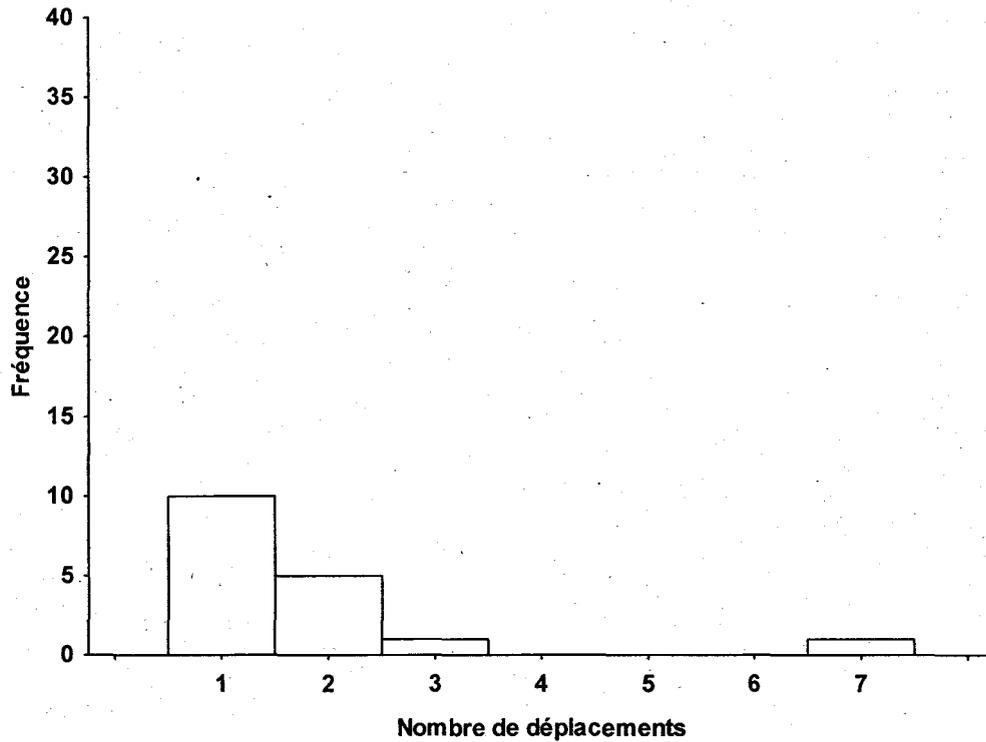


Figure 4.15. Distribution du nombre de déplacements effectués par les individus mobiles résidants en période automnale (n=17).

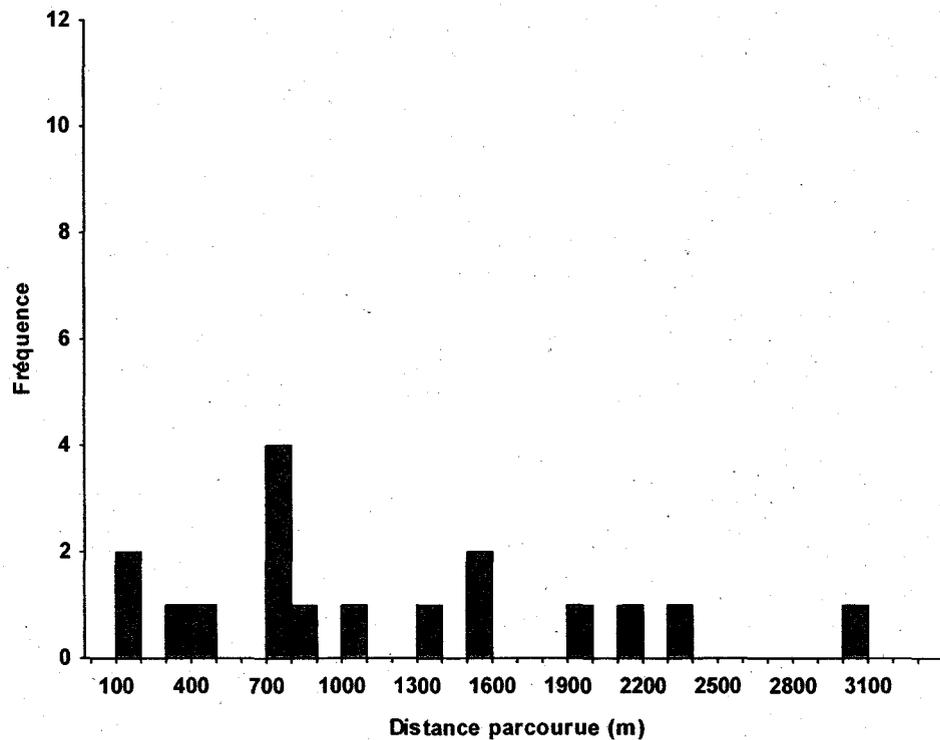


Figure 4.16. Distribution de la distance parcourue par les individus mobiles résidants en période automnale (n=17).

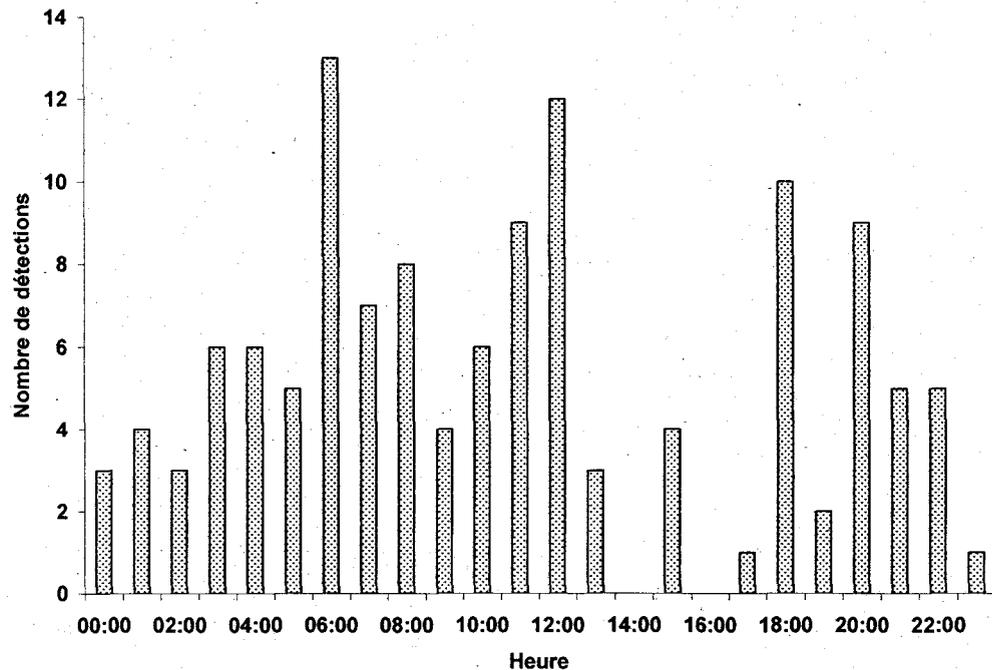


Figure 4.17. Distribution journalière des déplacements des individus mobiles résidents pendant la période automnale. Le graphique illustre le nombre de détections des individus mobiles résidents effectuées à chaque heure de la journée par toutes les stations fixes du 1^{er} octobre au 15 novembre.

4.3.2.2. Individus mobiles voyageurs

Les individus mobiles voyageurs ont effectué des déplacements uniquement durant la période estivale. Leurs déplacements correspondaient à des incursions journalières dans le ruisseau Xavier. Les individus mobiles voyageurs ne résidaient pas dans le ruisseau. Ils y voyageaient pour ensuite retourner à la rivière (Fig. 4.18). Les incursions s'étalaient seulement sur une journée et elles se déroulaient pendant le jour uniquement (Fig. 4.19). Chaque incursion journalière était très majoritairement (i.e. 90%) effectuée par plus d'un individu (Fig. 4.20). Les individus mobiles voyageurs entraient généralement groupés dans le ruisseau en passant quasi-simultanément au-dessus des antennes fixes (Fig. 4.18). Le nombre d'individus par groupe variait d'une incursion à l'autre (Fig. 4.20). Les groupes présentaient des assemblages d'individus variables et ils pouvaient être constitués de saumons ainsi que

d'ombles. Le nombre moyen de poissons par groupe lors des incursions était de 2,9 poissons. Les individus mobiles voyageurs, qui entraient généralement groupés au départ des incursions, pouvaient se distancer les uns des autres au cours des incursions. Il y a eu 20 incursions durant la durée de l'étude et elles se sont toutes déroulées pendant les mois d'août et de septembre (Fig. 4.21). Le nombre moyen d'incursions par poisson durant cette période était de 3,6 incursions. Certains de ces individus ont effectué un très grand nombre d'incursions, soit jusqu'à 14 incursions (Fig. 4.22). La dernière incursion s'est déroulée le 28 septembre. Par la suite, les individus mobiles voyageurs ne sont pas revenus dans le ruisseau. La distance parcourue vers l'amont du ruisseau lors des incursions était variable. Il y a eu 25 % des incursions (5/20) qui n'ont pas atteint les antennes du milieu de la section (< 1 025m), 45 % (9/20) qui ont dépassé les antennes du milieu de la section sans se rendre à celles en amont (entre 1 375 et 2 400 m) et 30 % (6/20) qui ont dépassé les antennes situées en amont de la section d'étude (> 2 425 m). Chaque incursion représentait deux déplacements de distance égale orientés en sens opposés. La distance des déplacements a été déterminée en fonction de la position de la dernière antenne franchie lors des incursions. La distance moyenne parcourue lors des déplacements a été de 1 572 m. La distance moyenne parcourue par les individus mobiles voyageurs pendant l'étude a été de 11 399 m (5 699 vers l'amont et l'aval). Certains individus ont parcouru de très grandes distances dans la section d'étude, soit jusqu'à 47 970 m (Fig. 4.23). La vitesse des déplacements durant les incursions changeait dépendamment de la direction du déplacement. Les déplacements vers l'amont étaient effectués en moyenne à 1 161 m/h tandis que ceux vers l'aval étaient effectués en moyenne à 2 673 m/h. La vitesse des déplacements des individus mobiles voyageurs était très élevée en comparaison avec celle des individus mobiles résidants et des sédentaires (Tableau 4.2).

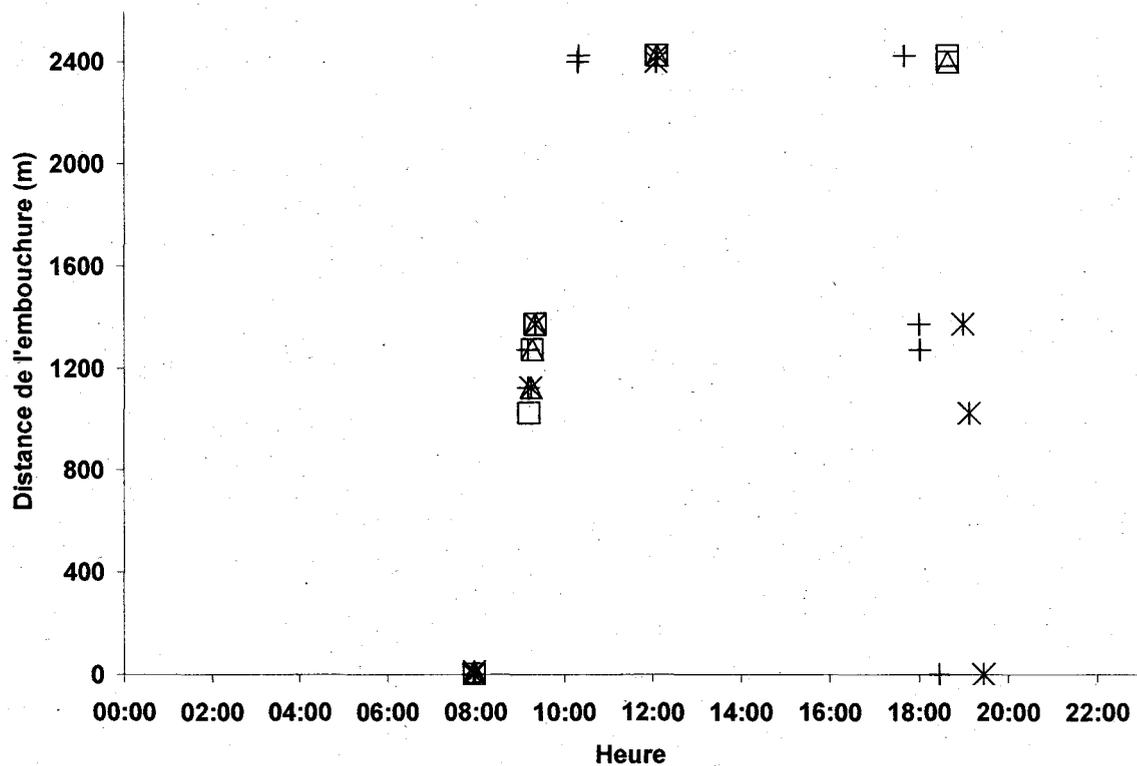


Figure 4.18. Graphique illustrant une incursion effectuée par quatre poissons (+, Δ, □, ✕) dans le ruisseau Xavier (11-09-07). Les points sur le graphique indiquent les détections effectuées par ces quatre poissons en passant par-dessus les antennes des stations fixes au cours de leur parcours. La superposition des points indique que les poissons passaient en même temps à quelques secondes près sur les antennes. L'efficacité de détection des antennes n'étant pas parfaite, certaines antennes n'ont pas détecté tous les poissons et ce, surtout lors de la descente où les vitesses de déplacements étaient supérieures.

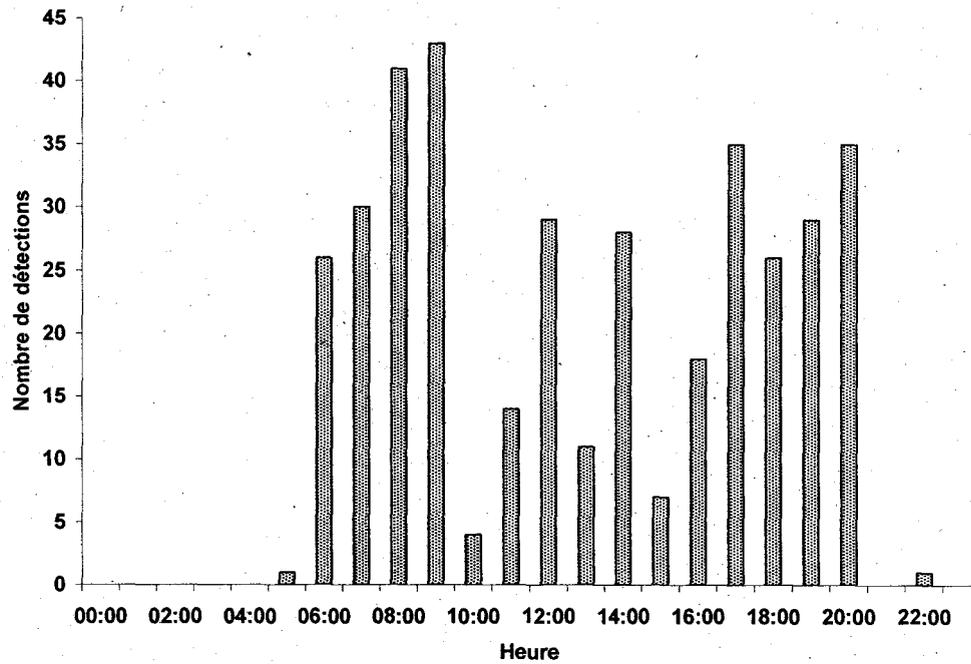


Figure 4.19. Distribution journalière des déplacements des individus mobiles voyageurs. Le graphique illustre le nombre de détections des individus mobiles voyageurs effectuées à chaque heure de la journée par toutes les stations fixes pendant l'étude.

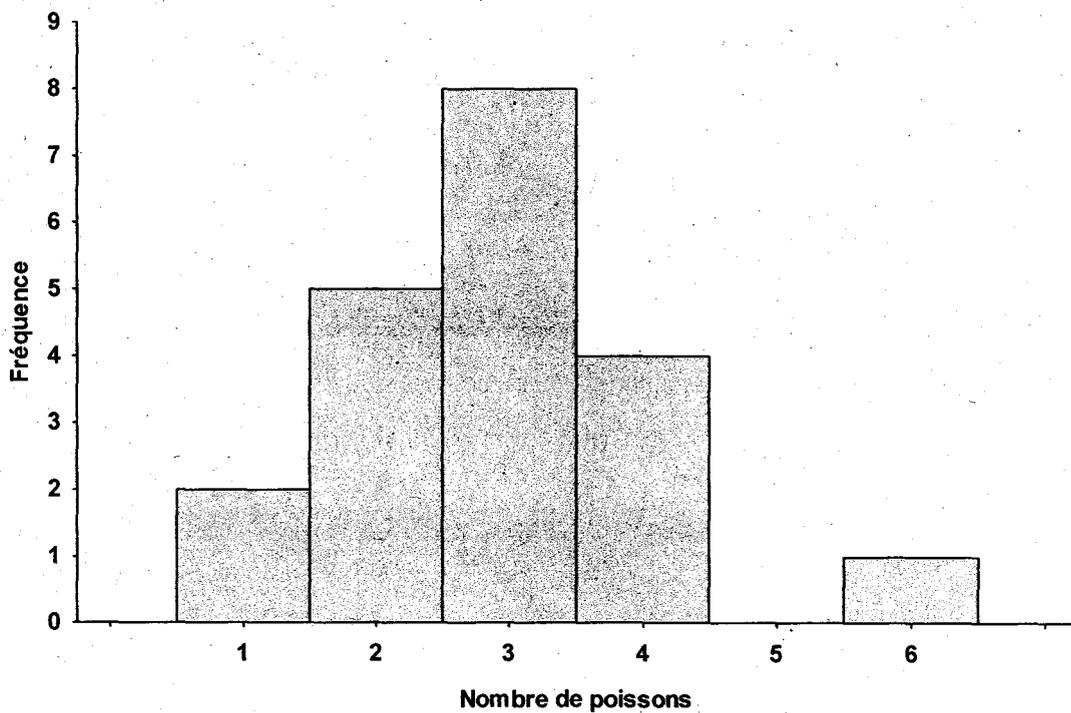


Figure 4.20. Distribution du nombre de poissons présents à chacune des incursions.

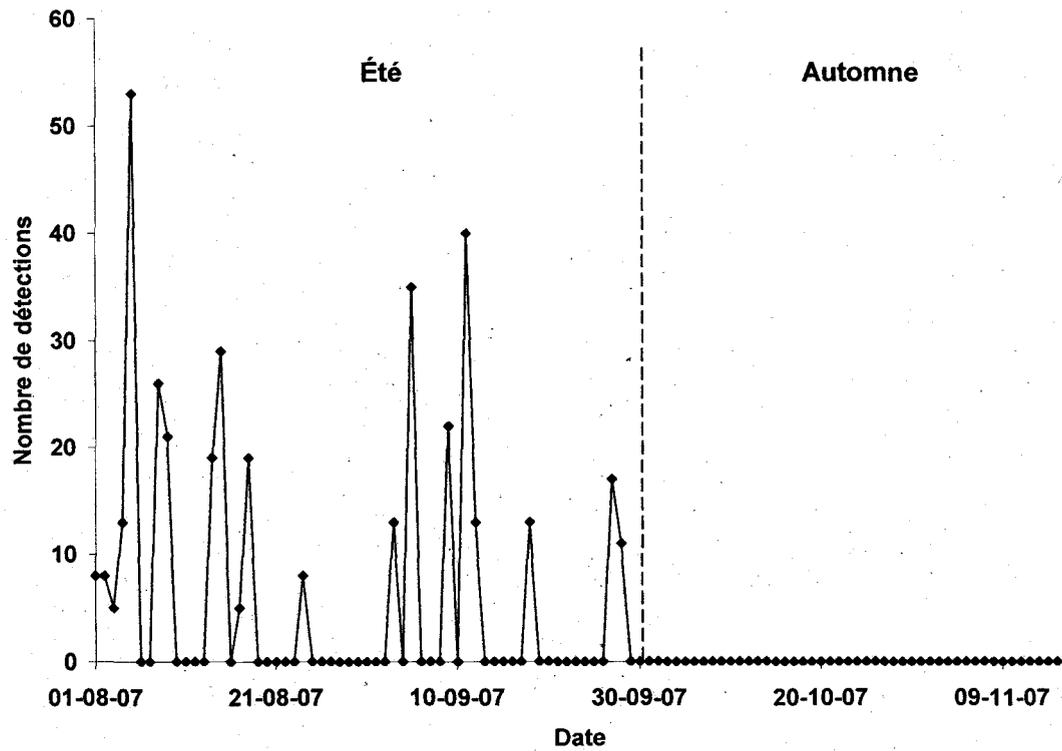


Figure 4.21. Patron spatio-temporel des déplacements des individus mobiles voyageurs. Le graphique illustre le nombre de détections des individus mobiles voyageurs effectuées à chaque jour durant la période de suivi par toutes les stations fixes.

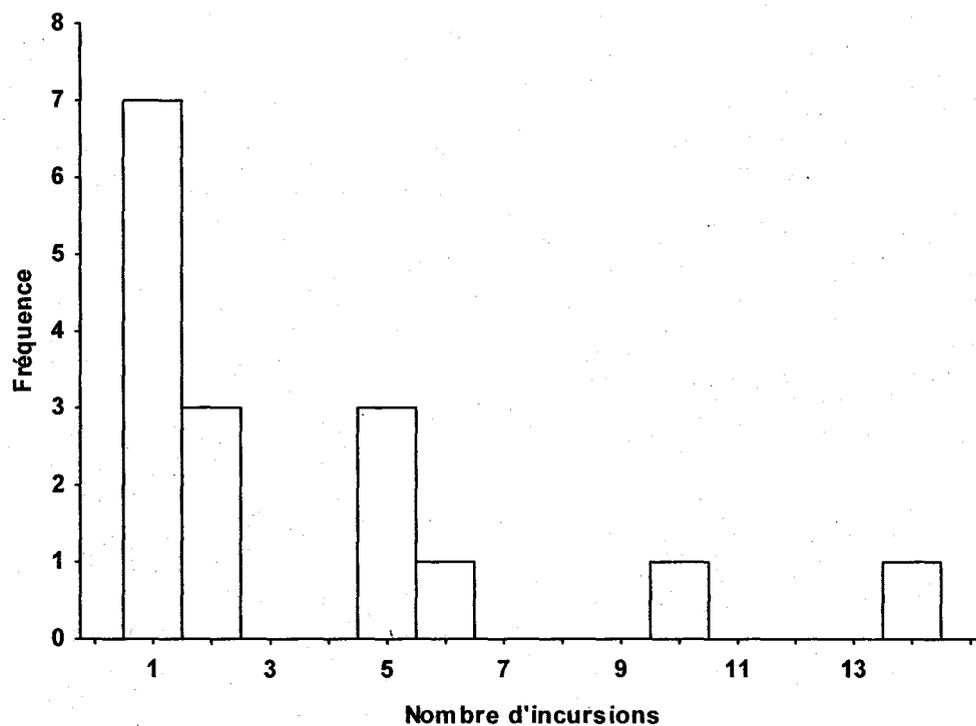


Figure 4.22. Distribution du nombre d'incursions effectuées par les individus mobiles voyageurs pendant la période estivale (n=16).

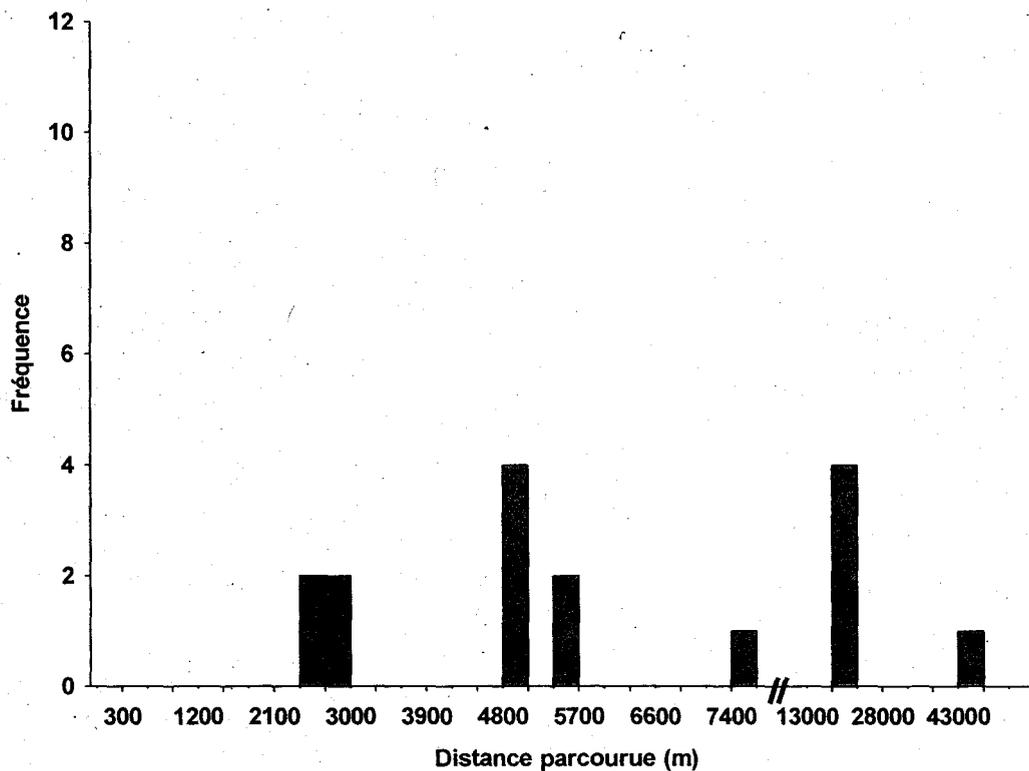


Figure 4.23. Distribution de la distance parcourue par les individus mobiles voyageurs en période estivale (n=16). Noter la coupure de l'axe des abscisses dans le graphique.

4.4. INFLUENCE DU DÉBIT SUR LES DÉPLACEMENTS DES INDIVIDUS DE L'ÉTUDE

4.4.1. Débits enregistrés pendant la période de suivi

Au cours de la période d'étude, plusieurs événements de pluie ont eu pour effet d'engendrer des variations substantielles du débit (Fig. 4.24). Les débits moyens journaliers ont varié de 0,23 à 3,94 m³/s (Fig. 4.25) pour une moyenne de $0,87 \pm 0,72$ m³/s. Durant la période automnale, le débit a été en général plus élevé et les variations de débit ont été plus considérables. La moyenne estivale des débits moyens journaliers était de $0,63 \pm 0,47$ m³/s tandis que celle pour la période automnale était de $1,20 \pm 0,86$ m³/s.

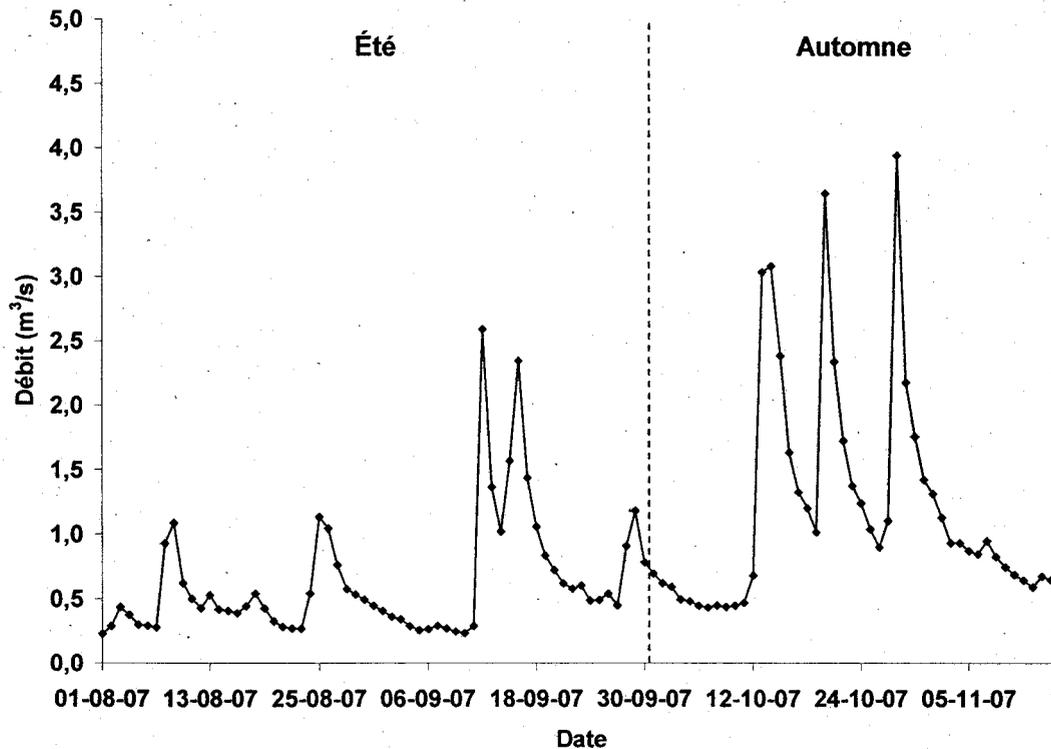


Figure 4.24. Débits moyens journaliers enregistrés durant la période de suivi.

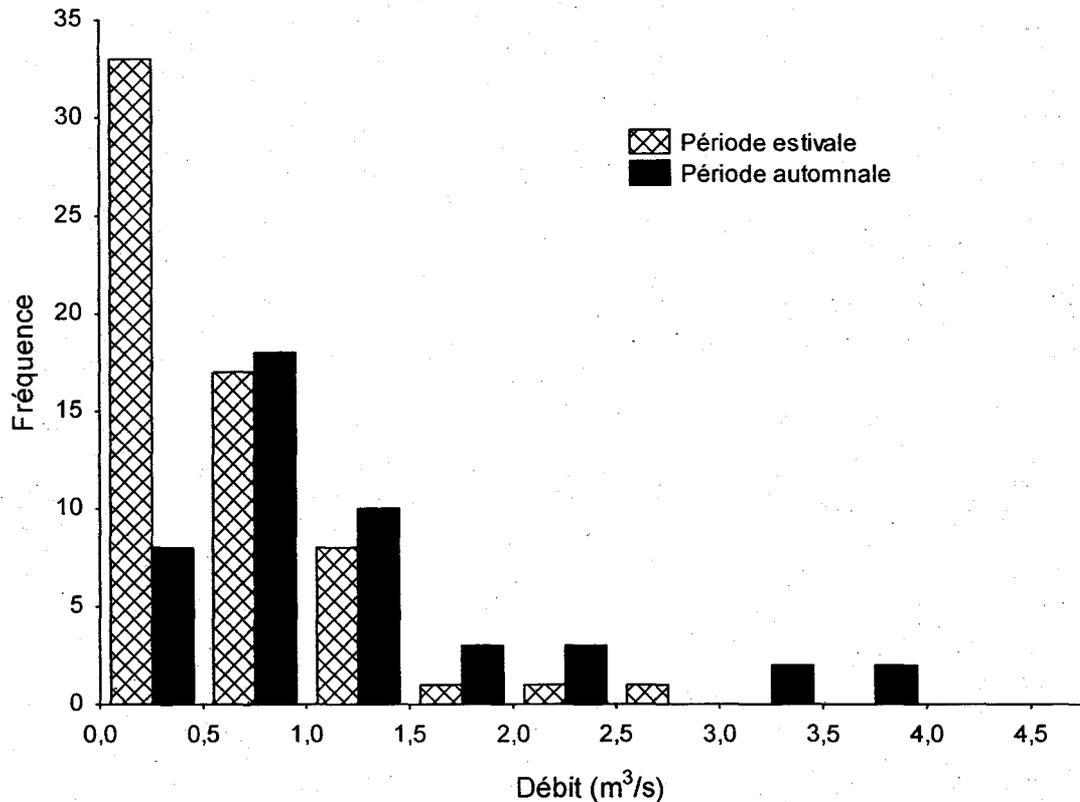


Figure 4.25. Distribution des débits moyens journaliers observés durant la période estivale et automnale.

4.4.2. Influence du débit sur les déplacements des individus sédentaires

En observant la figure 4.26, il est possible de constater que la majorité (i.e. 65%) des détections des individus sédentaires enregistrées par les stations fixes pendant la période automnale est liée aux deux premiers pics de débits qui ont eu lieu pendant cette même période. Une relation positive significative a été observée entre le nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont ainsi que vers l'aval des individus sédentaires enregistrées pendant la période automnale par les stations fixes et le débit moyen de la journée précédente (Tab. 4.3) (Analyse quantitative). Il est ainsi possible d'affirmer que les débits élevés semblent avoir stimulé les déplacements vers l'amont et l'aval des individus sédentaires. Le pourcentage de la variance qui est expliqué par le modèle est de 9 % pour les déplacements vers l'amont et de 15 % pour les

déplacements vers l'aval. D'autre part, aucune relation significative n'a été observée entre la décision de se déplacer ou non et les débits moyens journaliers (Analyse binaire). Le débit ne semble pas initier les déplacements automnaux des individus sédentaires.

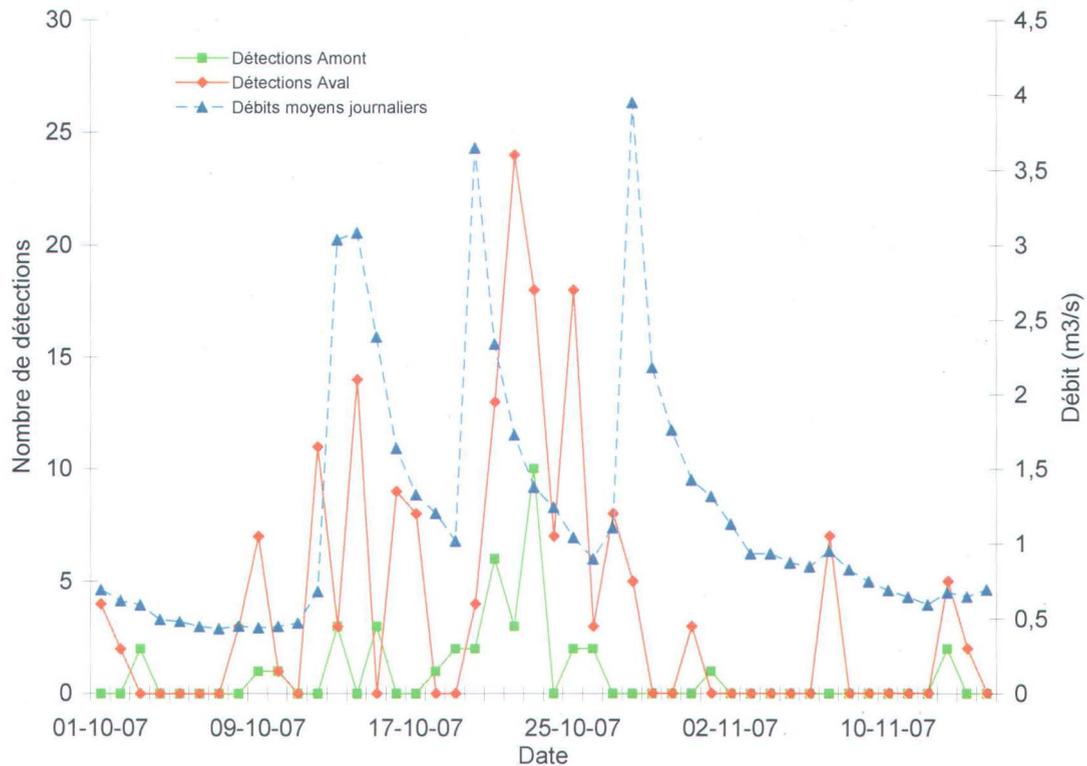


Figure 4.26. Nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont et l'aval des individus sédentaires enregistrées à chaque jour pendant la période automnale par les stations fixes (axe gauche des ordonnées) illustré avec les débits moyens journaliers (axe droit des ordonnées).

Tableau 4.3. Valeurs estimées par vraisemblance maximum des paramètres des régressions de Poisson significatives entre le nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont et l'aval des individus sédentaires enregistrées à chaque jour pendant la période automnale par les stations fixes et le débit moyen journalier.

Direction	Paramètre	Valeur estimée	Erreur type	Khi-2 (Wald)	Pr > Khi-2
Amont	Intercept	0,1712	0,36	0,23	0,6344
	Lag1_Débit	0,4483	0,1577	8,08	0,0045
Aval	Intercept	1,4362	0,1417	102,66	< 0,0001
	Lag1_Débit	0,4237	0,0725	34,13	< 0,0001

4.4.3. Influence du débit sur les déplacements des individus mobiles résidents

4.4.3a. Déplacements en période estivale

Il est difficile de déterminer à première vue si les déplacements des individus mobiles résidents observés pendant la période estivale ont été influencés par le débit (Fig. 4.27). Néanmoins, une relation négative significative a été observée entre le nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont des individus mobiles résidents enregistrées pendant la période estivale par les stations fixes et le débit moyen de la journée précédente (Tab. 4.4) (Analyse quantitative). Il est ainsi possible d'affirmer que les faibles débits semblent avoir stimulé les déplacements estivaux vers l'amont des individus mobiles résidents. Le pourcentage de la variance qui est expliqué par le modèle est de 2 %. D'autre part, aucune relation significative n'a été observée entre la décision de se déplacer ou non et les débits moyens journaliers (Analyse binaire). Le débit ne semble pas initier les déplacements estivaux des individus mobiles résidents.

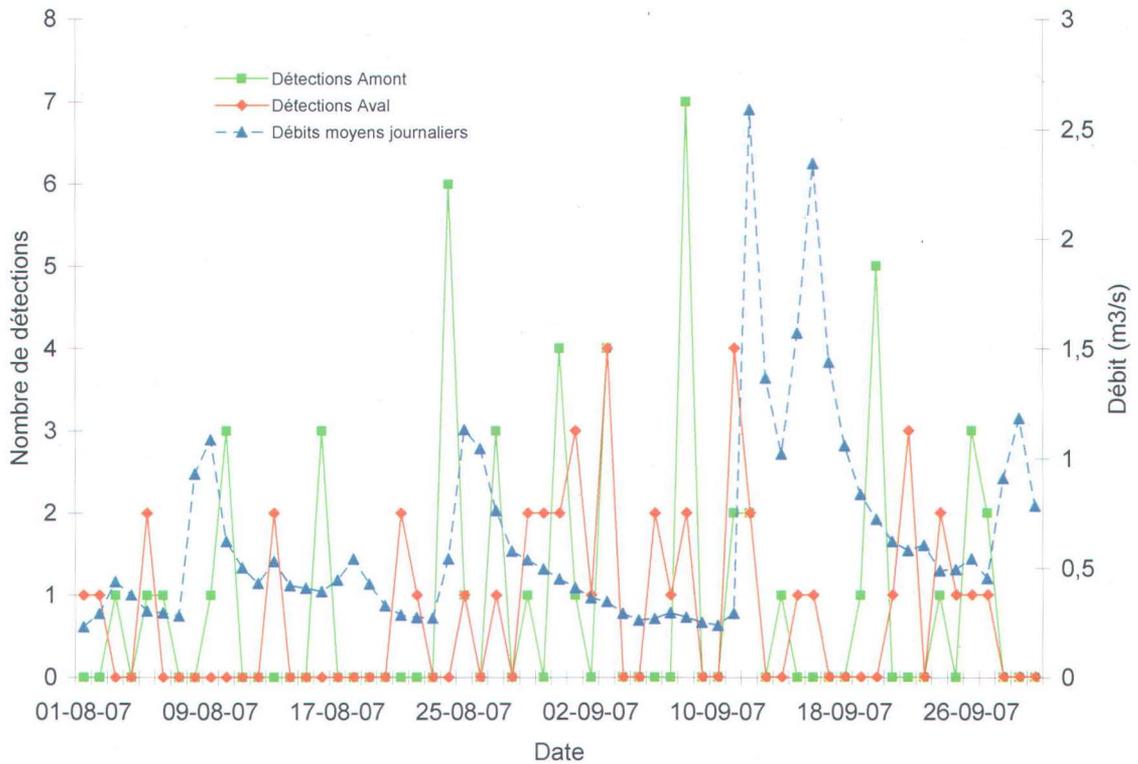


Figure 4.27. Nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont et l'aval des individus mobiles résidants enregistrées à chaque jour pendant la période estivale par les stations fixes (axe gauche des ordonnées) illustré avec les débits moyens journaliers (axe droit des ordonnées).

Tableau 4.4. Valeurs estimées par vraisemblance maximum des paramètres de la régression de Poisson significative entre le nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont des individus mobiles résidants enregistrées à chaque jour pendant la période estivale par les stations fixes et le débit moyen journalier.

Direction	Paramètre	Valeur estimée	Erreur type	Khi-2 (Wald)	Pr > Khi-2
Amont	Intercept	1,4194	0,2888	24,16	< 0,0001
	Lag1_Débit	-1,2939	0,4922	6,91	0,0086

4.4.3b. Déplacements en période automnale

Il est possible de constater sur la figure 4.28 que la majorité (i.e. 73%) des détections des individus mobiles résidants enregistrées par les stations fixes pendant la période automnale est associée aux deux premiers pics de débits qui ont eu lieu pendant cette même période. Une relation positive significative a été observée entre le nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont des individus mobiles résidants enregistrées pendant la période automnale par les stations fixes et le débit moyen de la journée même ainsi que celui de la journée précédente (Tab. 4.5) (Analyse quantitative). Il est ainsi possible d'affirmer que les débits élevés semblent avoir stimulé les déplacements automnaux vers l'amont des individus mobiles résidants. De plus, une relation positive significative a été observée entre le nombre de détections associées aux déplacements vers l'aval des individus mobiles résidants enregistrées pendant la période automnale par les stations fixes et le débit moyen de la journée précédente (Tab. 4.5) (Analyse quantitative). Les débits élevés semblent ainsi avoir stimulé les déplacements automnaux vers l'aval des individus sédentaires. Le pourcentage de la variance qui est expliqué par le modèle est de 20 % pour les déplacements vers l'amont et de 10 % pour les déplacements vers l'aval. D'autre part, aucune relation significative n'a été observée entre la décision de se déplacer ou non et les débits moyens journaliers (Analyse binaire). Le débit ne semble pas initier les déplacements automnaux des individus mobiles résidants.

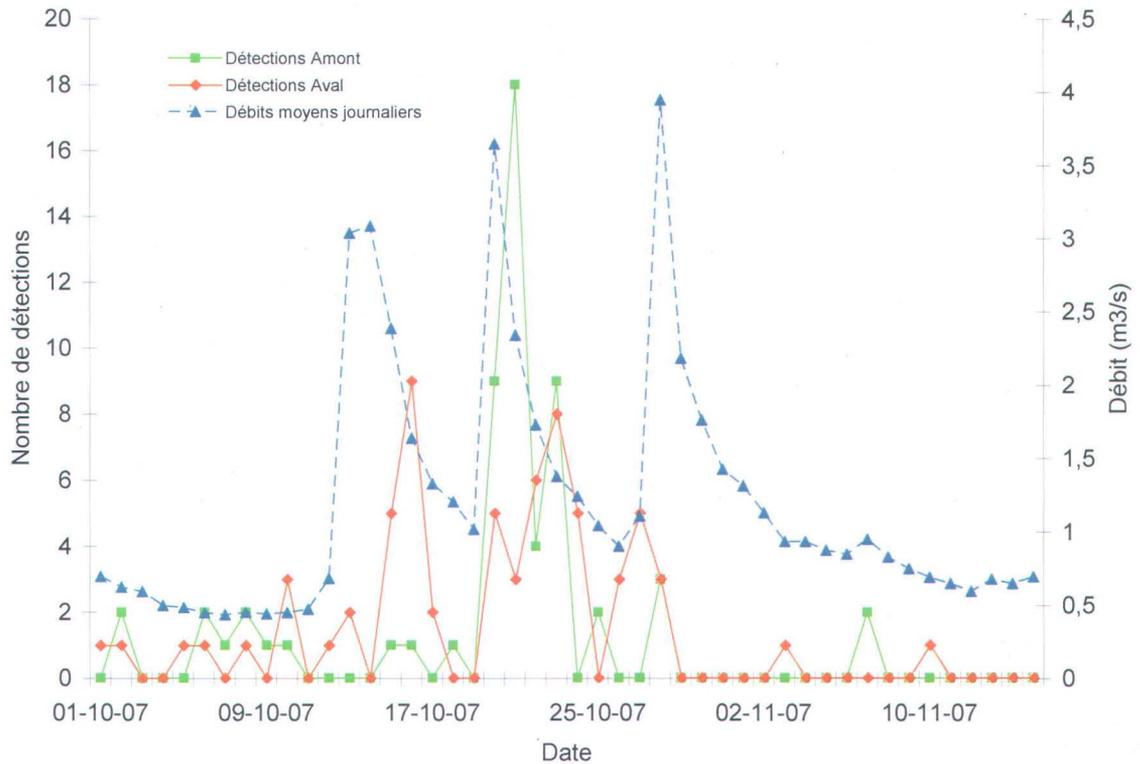


Figure 4.28. Nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont et l'aval des individus mobiles résidants enregistrées à chaque jour pendant la période automnale par les stations fixes (axe gauche des ordonnées) illustré avec les débits moyens journaliers (axe droit des ordonnées).

Tableau 4.5. Valeurs estimées par vraisemblance maximum des paramètres des régressions de Poisson significatives entre le nombre de détections associées aux déplacements vers l'amont ainsi que vers l'aval des individus mobiles résidants enregistrées à chaque jour pendant la période automnale par les stations fixes et le débit moyen journalier.

Direction	Paramètre	Valeur estimée	Erreur type	Khi-2 (Wald)	Pr > Khi-2
Amont	Intercept	-0,3835	0,4313	0,79	0,3738
	Débit	0,3977	0,14	8,07	0,0045
	Lag1_Débit	0,5127	0,1273	16,22	< 0,0001
Aval	Intercept	0,4811	0,2499	3,71	0,0542
	Lag1_Débit	0,4251	0,1208	12,39	0,0004

4.4.4. Individus mobiles voyageurs

La figure 4.29 suggère une possible influence du débit sur les déplacements effectués par les individus voyageurs car certains pics de débit correspondent à des journées durant lesquelles il y a eu des incursions. Les détections des individus voyageurs n'ont pas été séparées selon leur direction (i.e. amont et aval) car les incursions sont exécutées dans une même journée et elles représentaient deux déplacements de distance égale orientés en sens opposés. Une relation négative significative a été observée entre le nombre de détections associées aux incursions des individus mobiles voyageurs enregistrées pendant la période estivale par les stations fixes et le débit moyen de la journée même (Tab. 4.6) (Analyse quantitative). Il est ainsi possible d'affirmer que les faibles débits semblent avoir stimulé les incursions des individus mobiles voyageurs. Le pourcentage de la variance qui est expliqué par le modèle est de 7 %. D'autre part, aucune relation significative n'a été observée entre la décision de se déplacer ou non et les débits moyens journaliers (Analyse binaire). Le débit ne semble pas initier les incursions des individus mobiles voyageurs.

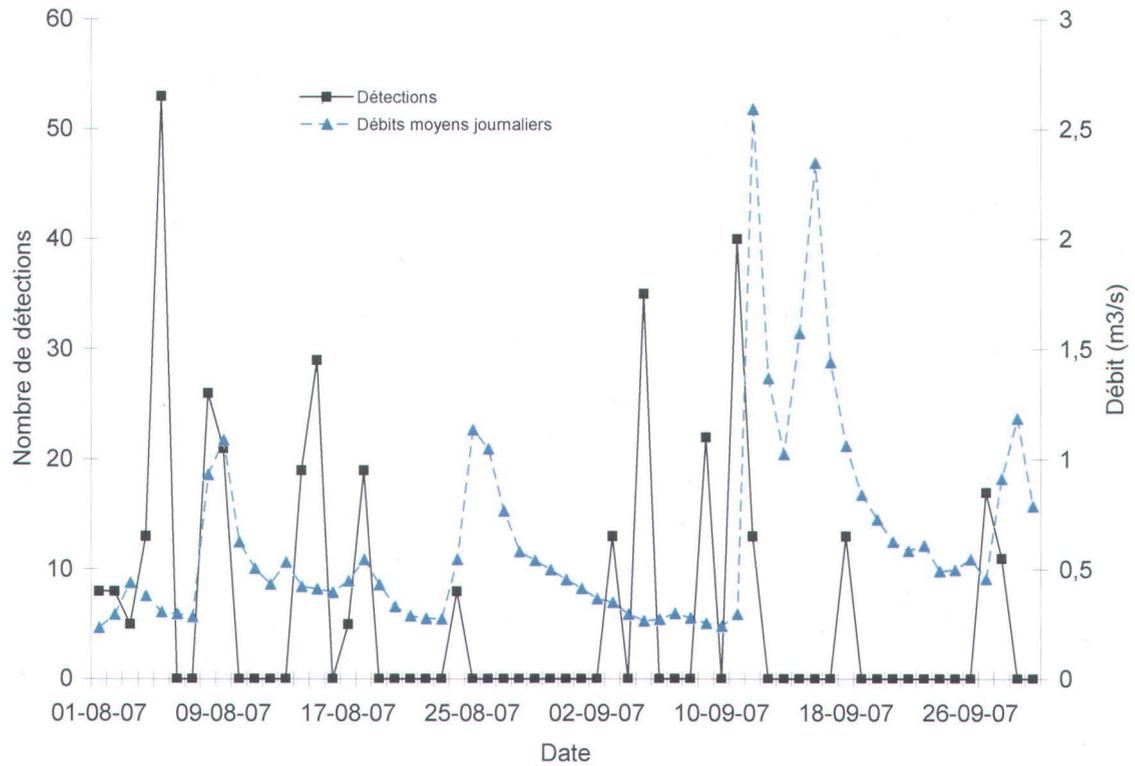


Figure 4.29. Nombre de détections associées aux déplacements des individus mobiles voyageurs enregistrées à chaque jour pendant la période estivale par les stations fixes (axe gauche des ordonnées) illustré avec les débits moyens journaliers (axe droit des ordonnées).

Tableau 4.6. Valeurs estimées par vraisemblance maximum des paramètres de la régression de Poisson significative entre le nombre de détections associées aux déplacements des individus mobiles voyageurs enregistrées à chaque jour pendant la période estivale par les stations fixes et le débit moyen journalier.

Paramètre	Valeur estimée	Erreur type	Khi-2 (Wald)	Pr > Khi-2
Intercept	3,1604	0,0853	1371,37	< 0,0001
Débit	-0,3254	0,1222	7,09	0,0078

CHAPITRE 5

DISCUSSION

L'originalité des résultats présentés dans cette étude réside principalement dans la mobilité démontrée en période estivale par une grande proportion des individus de l'étude et par le comportement des individus mobiles voyageurs qui n'a jamais été documenté auparavant. Les résultats amènent de nouvelles perspectives dans la compréhension du comportement spatial des salmonidés en rivière. Cette discussion reprendra entre autres ces points intéressants en trois sections qui traitent dans l'ordre, du bilan d'utilisation des deux systèmes PIT-tag, des comportements spatiaux observés durant l'étude et des effets du débit sur les déplacements des individus de l'étude.

5.1. BILAN DE L'UTILISATION DES STATIONS FIXES ET DU SYSTÈME PORTABLE

L'utilisation des systèmes PIT-tag pour le suivi des déplacements des salmonidés a été très profitable. Un très grand nombre de déplacements de 50 m et plus ont été observés avec ces deux systèmes qui offrent ensemble un suivi d'une excellente résolution spatio-temporelle. La mobilité observée en période estivale par une grande proportion des individus de l'étude (i.e. 40 %) est étonnante. Le patron des déplacements observés (Fig. 4.4) diffère ainsi de celui traditionnellement décrit dans la littérature (ex. Fig. 2.8). Les nombreux déplacements effectués durant la période estivale par les individus mobiles ne sont pas présentés dans le patron de la littérature. Les déplacements estivaux observés ont été beaucoup plus nombreux que ceux automnaux et ce, pour un nombre presque égal d'individus qui se sont déplacés durant ces deux périodes. Ces observations appuient la remise en question de Gowan et al. (1994) du paradigme du déplacement restreint ainsi que de la méthode de marquage-recapture pour l'étude du comportement spatial des salmonidés. Elles sont aussi

en accord avec les résultats de Gowan et Fausch (1996) et de Kahler et al. (2001) qui ont observé dans des proportions considérables (jusqu'à plus de 50 %) des individus qui sont davantage mobiles que défini dans la littérature. De plus, les stations fixes de notre étude ont observé les déplacements des individus mobiles voyageurs. Le comportement spatial de ces individus qui n'a jamais été recensé dans la littérature n'aurait pas pu être défini sans l'utilisation de ces stations.

Les différences obtenues entre les déplacements observés avec les stations fixes et le système portable (Tableau 4.1) sont expliquées par les caractéristiques spécifiques des deux systèmes. D'une part, le fonctionnement en continu des stations fixes explique que celles-ci aient détecté un plus grand nombre d'individus qui se sont déplacés et un nombre plus élevé de déplacements. D'autre part, l'emplacement des stations fixes aux extrémités de la section d'étude a permis d'observer les déplacements des poissons qui quittaient celle-ci. Ceci explique l'obtention d'une plus grande distance parcourue par individu et par mouvement observé avec les stations. Malgré un nombre plus élevé de détections effectuées et de déplacements observés, les stations fixes ont détecté un plus petit nombre d'individus que le système portable. Le plus grand nombre d'individus détectés par le système portable est attribuable à la détection des individus sédentaires qui ne se sont pas déplacés pendant l'expérience. Bien que les deux systèmes ont chacun apporté leur contribution aux résultats de l'étude, les stations fixes ont été très utiles pour définir le patron spatio-temporel des déplacements et les caractéristiques de ces derniers. Les stations fixes ont aussi permis de détecter les déplacements fréquents et ceux qui se déroulaient sur une plus grande distance (i.e. sortie de la section d'étude). Par exemple, elles ont permis d'observer les incursions effectuées par les individus mobiles voyageurs ainsi que les déplacements des poissons mobiles résidents et sédentaires qui quittaient le ruisseau à l'automne. La comparaison entre les systèmes PIT-tag de l'étude démontre que la méthode de suivi utilisée influence grandement la nature des résultats. Il est ainsi très important de choisir

dans les études sur le comportement spatial des salmonidés des méthodes qui offrent la meilleure résolution spatio-temporelle possible.

Comparativement à la majorité des études qui utilisent la méthode de marquage-recapture, il a été possible de suivre avec les deux méthodes de suivi utilisées dans cette étude un très grand pourcentage des poissons marqués (i.e. 91%). Les dix poissons qui n'ont pas été détectés ni par les stations fixes ni par le système portable sont possiblement sortis du ruisseau avant le début de la période de suivi. Ils peuvent aussi être demeurés dans des endroits difficilement accessibles situés dans les zones non-couvertes par les stations fixes ou être sortis du ruisseau sans être détectés durant le suivi. Les antennes des stations fixes avaient une plage de détection qui couvrait la totalité de la colonne d'eau à tous les débits rencontrés. Toutefois, il est possible que certains poissons passant rapidement au-dessus des antennes et près de la surface n'aient pas été détectés par celles-ci. Par exemple, les individus mobiles voyageurs n'étaient pas toujours détectés par toutes les antennes des stations fixes lors de leurs sorties du ruisseau (ex. Fig. 4.18). Finalement, la prédation peut aussi être une explication à la non-détection de certains poissons dans la présente expérience.

5.2. LES COMPORTEMENTS SPATIAUX OBSERVÉS DURANT L'ÉTUDE

5.2.1. Les individus mobiles voyageurs

Le comportement des individus mobiles voyageurs est très original car il présente des particularités qui n'ont jamais été décrites dans la littérature qui concerne les salmonidés. Le regroupement des individus lors des incursions constitue un comportement d'agrégation qui n'a jamais été décrit chez ces poissons. Il est toutefois possible d'avancer certaines hypothèses explicatives de ce comportement. L'agrégation peut permettre aux individus d'éviter les prédateurs lors de leurs déplacements. La probabilité de prédation sur un

individu particulier dans un groupe diminue lorsque la taille du groupe augmente (effet de dilution) (Hamilton 1971). De plus, les groupes peuvent faciliter la nage des poissons en augmentant leur hydrodynamisme (Moyle et Cech, 2004). Il est intéressant de constater que les incursions se déroulent seulement durant le jour. Le principal lien sensoriel entre des poissons formant un groupe étant la vision (Moyle et Cech, 2004), les individus mobiles voyageurs pourraient ainsi restreindre leurs incursions à la clarté pour cette raison. La présence de saumons et d'ombles dans les groupes lors des incursions est un autre résultat intéressant de l'étude. À notre connaissance, aucune étude n'a déjà observé une agrégation d'individus de ces deux espèces lors de déplacements. Les incursions ne sont pas l'œuvre de prédateurs potentiels ayant ingurgités les poissons, car une variation dans la composition des groupes et de l'intervalle de temps entre les individus lors de leur passage au-dessus des antennes a été observée lors de ces déplacements. Le nombre d'individus par incursion est sûrement sous-estimé dans cette étude, car seulement les poissons marqués ont été dénombrés lors de leur passage au-dessus des antennes.

Les distances considérables parcourues par les individus mobiles voyageurs pendant une journée (jusqu'à 4850 m) et/ou pendant les 59 jours où ces déplacements ont eu lieu (jusqu'à 48 km) n'ont jamais été recensés dans la littérature à notre connaissance pour des salmonidés juvéniles en période estivale. Ces distances représentent exclusivement celles parcourues par les individus dans la section d'étude. Les incursions qui ont dépassé la limite amont de cette dernière et les déplacements possibles effectués dans la rivière Ste-Marguerite n'étaient pas comptabilisés. Les individus qui ont poursuivi leurs incursions en amont de la section d'étude pourraient s'être rendus jusqu'à la source du ruisseau Xavier (Deuxième lac Félix). Par exemple, dans l'incursion illustrée à la figure 4.18, les poissons sont demeurés environ sept heures en amont de la section d'étude. Le Deuxième lac Félix est situé à environ 5,5 km de la dernière antenne en amont. En assumant que les poissons ont continué à se déplacer au même rythme à l'extérieur qu'à l'intérieur de la section d'étude (*i.e.*

vitesse moyenne de montée et de descente semblable), il est plausible qu'ils se soient rendus jusqu'au lac Félix en sept heures (~4,5h pour la montée + ~2h pour la descente ≈ 6,5h). Selon ces calculs, ils auraient eu seulement une trentaine de minutes pour accéder au lac. L'utilisation des milieux lacustres par les salmonidés a été documentée à quelques reprises dans la littérature (Hutchings 1986; Erkinaro et al. 1995, Halvorsen et Svenning 2000). Les lacs semblent fournir aux poissons des ressources qui avantagent leur croissance et leur survie. Il serait très intéressant de poursuivre cette étude en installant une station fixe à la décharge du lac pour observer si les poissons se rendent réellement jusqu'au lac et s'il y a lieu, d'évaluer l'utilisation qu'ils en font. Toutefois, étant donné le peu de temps qu'ils semblaient avoir pour accéder au lac (~30 min.), l'utilisation de ce milieu lors des incursions ne semble pas importante. D'autre part, il serait aussi très intéressant de savoir comment ils se comportent lorsqu'ils réintègrent la rivière après leurs incursions.

Il est surprenant dans cette étude d'avoir capturé autant d'individus mobiles voyageurs par la pêche électrique. En effet, cette dernière technique de capture n'est pas très adaptée pour capturer des individus en déplacement. Malgré cela, les individus mobiles voyageurs représentaient environ 14 % des individus de l'étude. Cette proportion est sans doute sous-estimée par rapport à celle que l'on retrouve réellement dans la population. Les techniques de capture peuvent ainsi avoir un rôle à jouer dans la proportion d'individus mobiles dans les études sur le comportement spatial des salmonidés. L'utilisation de filets (ex. verveux) pourrait être la technique à préconiser dans ces études dans le but de suivre davantage d'individus mobiles et d'obtenir une meilleure estimation de leur proportion dans la population.

La cause des incursions est pour le moment inconnue. Les individus mobiles voyageurs pourraient avoir effectué ces incursions dans le but d'explorer le ruisseau pour trouver des sites d'alimentation, d'hivernage ou de fraie. Toutefois, aucun individu voyageur n'est revenu ou ne s'est établi dans la section

d'étude après les incursions. Le suivi ayant été effectué jusqu'au 15 novembre, il est peu probable que ces individus y soient retournés seulement après cette date. Malgré le fait que les incursions demandent assurément une grande quantité d'énergie aux poissons, les individus mobiles voyageurs semblent combler un besoin en se déplaçant ainsi. Une hypothèse possible serait qu'il s'agit d'une stratégie alimentaire alternative basée sur la quête active de nourriture. Les individus pourraient changer de mode d'alimentation selon les caractéristiques de l'environnement, la disponibilité des différentes sortes de proies et la présence de certains prédateurs (Moyle et Cech, 2004). Il est convenu dans la littérature que les salmonidés s'établissent à des sites d'alimentation et qu'ils se nourrissent des proies qui dérivent dans le courant ou qui se retrouvent près d'eux sur le substrat (Stradmeyer et Thorpe, 1987). Dans le cas des incursions, les individus pourraient se déplacer pour accéder à leur nourriture. Les ruisseaux présentent généralement une densité de proies plus élevée que les rivières en plus de contenir des organismes qui diffèrent de ceux rencontrés dans ces dernières (Vannote et al. 1980). Il est ainsi possible que la recherche active de nourriture dans les ruisseaux soit bénéfique. Selon cette hypothèse, le déplacement en groupe serait aussi avantageux pour permettre aux poissons de trouver plus facilement leur nourriture en raison du plus grand nombre d'individus qui peuvent repérer des proies (Moyle et Cech, 2004). La compétition intraspécifique et interspécifique pourrait être absente en raison de la grande quantité de nourriture rencontrée lors de ces déplacements. De plus, il est possible de suggérer que les incursions s'effectuent uniquement durant le jour pour permettre aux poissons de trouver efficacement leurs proies. Il serait très intéressant d'en apprendre davantage sur les individus mobiles voyageurs afin de déterminer si cette hypothèse est valable. Notamment, il faudrait déterminer si ces individus s'alimentent dans le ruisseau lors des incursions. La réalisation d'analyses de contenus stomacaux et l'installation de caméras vidéo submergées à différents sites potentiels d'alimentation sont des avenues envisageables pour tester l'hypothèse de la stratégie alternative d'alimentation.

La longueur et la masse ne semblent pas être des facteurs qui déterminent le comportement des individus mobiles voyageurs. Ce résultat vient à l'encontre de l'idée véhiculée par certaines études qui suggèrent que les individus qui se déplacent sont de petites tailles et qu'ils se déplacent en raison de leur infériorité à compétitionner avec les individus qui ne se déplacent pas (Chapman 1962; Titus 1990).

5.2.2. Le comportement automnal des individus sédentaires et mobiles résidants

L'orientation vers l'aval des déplacements automnaux et plus particulièrement le nombre d'individus qui quittent le ruisseau sans y revenir démontrent une tendance des poissons à quitter le ruisseau à l'automne pour se diriger vers la rivière. Différentes causes peuvent expliquer ces déplacements. Les déplacements vers la rivière peuvent correspondre à un changement d'habitat saisonnier. Typiquement, les déplacements automnaux vers les habitats hivernaux s'effectuent vers l'aval (Huusko et al. 2007). Ces déplacements peuvent aussi être associés à une prédévalaison qui mène les poissons plus près de l'estuaire pour une dévalaison éventuelle au printemps prochain (McCormick et al. 1998). Les individus de l'étude avaient l'âge et la taille pour devenir des smolts le printemps suivant. Finalement, il est possible que chez les individus précoces ces déplacements vers la rivière soient reliés à la fraie (McCormick et al. 1998).

5.2.3. La classification comportementale des individus de l'étude

Dans cette étude, trois comportements spatiaux différents ont été définis à partir d'une classification établie en fonction de la mobilité des individus et des caractéristiques de leurs déplacements. Aucune limite claire n'est définie dans la littérature pour déterminer si un individu est mobile. La classification des individus sédentaires et mobiles dans cette étude s'est ainsi basée sur la limite

mentionnée dans la littérature de la grandeur de la section utilisée par les salmonidés hors des phases de déplacements (i.e. 50 m) (Gowan et al. 1994; Rodriguez 2002). Il n'est toutefois pas démontré en raison des individus limitrophes que la limite établie est exacte et suffisante pour classier correctement les individus. Par exemple, la différence entre les individus mobiles résidants qui se sont déplacés sur une cinquantaine de mètres en période estivale et les individus sédentaires qui se sont déplacés sur une quarantaine de mètres est très mince pour classier différemment ces individus. Les résultats suggèrent néanmoins que les populations de salmonidés sont constituées d'individus sédentaires et d'une proportion considérable d'individus mobiles. Il n'est toutefois pas clairement défini que les individus sédentaires et mobiles constituent deux groupes distincts. Il pourrait simplement s'agir de plasticité comportementale. Tous les individus ont peut-être une tendance naturelle aux déplacements qui s'exprime à différents moments (Gowan et al. 1994; Rodriguez, 2002). Il serait très intéressant que d'autres études similaires soient effectuées dans différentes populations et sur plusieurs années pour établir si les individus conservent leur comportement dans le temps.

D'autre part, les caractéristiques particulières des incursions effectuées par les individus mobiles voyageurs ont justifié le fait qu'ils soient classifiés séparément des individus mobiles résidants. L'observation avec les stations fixes des incursions et plus particulièrement des caractéristiques de celles-ci a ainsi permis de comprendre davantage les comportements des individus mobiles. Pour cette raison, les études subséquentes devraient utiliser les méthodes de suivi appropriées qui offrent la meilleure résolution spatio-temporelle pour être en mesure d'observer tous les déplacements possibles et d'obtenir un maximum d'information sur ceux-ci (i.e. distance, direction, vitesse, moment, agrégation ou non, influence des conditions environnementales). De plus, il serait très intéressant de comprendre l'influence de la génétique sur le comportement spatial des salmonidés pour identifier s'il existe une base génétique à celui-ci.

L'identification d'une base génétique pourrait aider à mieux définir les différents comportements spatiaux des salmonidés.

5.3. INFLUENCE DU DÉBIT SUR LES DÉPLACEMENTS DES INDIVIDUS DE L'ÉTUDE

Le débit semble avoir eu dans cette étude une influence sur les déplacements des trois groupes comportementaux de l'étude (i.e. individus sédentaires, mobiles résidants et mobiles voyageurs). Il semble que le débit stimule les déplacements des individus mais qu'il ne les initie pas. Ces résultats sont ainsi en accord avec les études qui ont observé que le débit semblait stimuler les déplacements chez les salmonidés (McCormick et al. 1998).

L'influence du débit sur les déplacements s'est observée tant en période estivale qu'automnale et sur les déplacements vers l'amont ainsi que vers l'aval. Pendant la période estivale, les faibles débits semblent avoir eu une influence positive sur les incursions des individus mobiles voyageurs ainsi que sur les déplacements vers l'amont des individus mobiles résidants. Les faibles débits pourraient stimuler les déplacements estivaux vers l'amont en assurant une moins grande résistance et ainsi une dépense d'énergie moindre dans des eaux qui peuvent être relativement chaudes pour les salmonidés durant cette période de l'année. En ce qui concerne la période automnale, la majorité des déplacements automnaux des individus mobiles résidants et sédentaires s'est effectuée durant les deux premiers pics de débit de cette période. De plus, les déplacements vers l'amont et vers l'aval en période automnale des individus sédentaires et mobiles résidants semblent avoir été influencés positivement par les débits élevés. Les débits élevés pourraient stimuler les déplacements automnaux en assurant une meilleure connectivité entre les habitats. Les déplacements vers l'aval pourraient aussi être facilités par les débits élevés en permettant aux poissons de dériver rapidement de façon passive.

Pour l'ensemble des relations significatives observées dans cette étude, il y a eu une grande variation qui a été démontrée par les individus dans leur réponse au débit. Cette variation peut s'expliquer par le fait que l'étude s'est déroulée en milieu naturel et que le comportement des salmonidés peut y être influencé par divers facteurs en plus du débit.

CONCLUSION

Le paradigme du déplacement restreint qui définit le comportement des salmonidés dans la littérature a été remis en question par Gowan et al. (1994). Selon ces auteurs, les études qui appuient le paradigme sont arrivés à la conclusion que les poissons se déplaçaient peu ou pas à l'extérieur du patron général des déplacements en raison de l'utilisation de la méthode de marquage-recapture qui ne permettait pas de suivre adéquatement les déplacements. De récents développements de la technologie des transpondeurs passifs (PIT-tag) qui permettent un meilleur suivi spatio-temporel des poissons à l'aide de deux nouvelles méthodes sans recapture (i.e. marquage-localisation et marquage-suivi en continu) sont maintenant disponibles pour tester le paradigme et étudier le comportement des salmonidés dans les cours d'eau naturels. Les développements de cette technologie ont toutefois été très peu exploités. L'étude visait ainsi à utiliser ces derniers pour suivre les déplacements des salmonidés dans un ruisseau dans le but de déterminer si un ou des comportements spatiaux différents du déplacement restreint étaient observés. L'utilisation des stations fixes et du système portable a permis comparativement à la majorité des études de marquage-recapture de suivre une grande proportion des poissons marqués et d'observer chez les individus de l'étude une mobilité étonnante en période estivale. La présence dans une proportion considérable d'individus mobiles est un résultat intéressant qui vient appuyer la remise en question par Gowan et al. (1994) du paradigme du déplacement restreint chez les salmonidés. Ce résultat apporte de nouvelles perspectives à la compréhension du comportement spatial des salmonidés. De plus, l'observation des déplacements des individus mobiles voyageurs par les stations fixes nous a permis de définir un comportement spatial très particulier qui n'avait jamais été documenté dans la littérature jusqu'à présent. Cette réalisation est sans aucun doute une avancée très importante dans l'étude du comportement spatial des salmonidés. Elle démontre entre autres que les salmonidés peuvent parcourir de très grandes distances en période estivale et que leurs déplacements peuvent être très structurés. Elle

démontre aussi l'importance de la méthode de suivi sur la nature des résultats ainsi que celle du développement de nouveaux outils qui permettent de suivre avec une meilleure résolution spatio-temporelle les déplacements des salmonidés. Il est important de continuer à étudier les déplacements des salmonidés en utilisant des méthodes appropriées, comme celles utilisées dans la présente étude, qui permettent d'établir une meilleure connaissance de leur comportement spatial. Les décisions en ce qui concerne l'exploitation ainsi que l'aménagement de leurs habitats pourraient être plus éclairées et elles assureraient davantage la pérennité de cette famille de poissons dans nos rivières. Cette étude démontre ainsi que les salmonidés peuvent être très mobiles et qu'il est important de ne pas entraver leur déplacement avec des obstacles anthropiques (ex. ponceaux, barrages, digues) ayant pour effet de fragmenter l'habitat.

D'autre part, très peu d'études ont été réalisées jusqu'à maintenant concernant l'influence du débit sur les déplacements des salmonidés (Gowan et al. 1994; Rodriguez et al. 2002). Il serait important, à la suite des résultats observés dans ce mémoire, que d'autres études utilisant des méthodes de suivi appropriées, comme les stations PIT-tag fixes, soient effectuées sur différentes populations de salmonidés ainsi que sur plusieurs années pour réduire la possibilité de relations circonstanciées et arriver à définir en détail le rôle du débit sur les déplacements des salmonidés. Une meilleure compréhension et gestion des impacts des débits contrôlés sur les salmonidés vivant dans les cours d'eau exploités pourraient en résulter.

BIBLIOGRAPHIE

- Adams, N.S., D.W. Rondorf et al. (1998). Effects of Surgically and Gastrically Implanted Radio Transmitters on Growth and Feeding Behaviour of Juvenile Chinook Salmon. *Transactions of the American Fisheries Society* **127**: 128-136.
- Albanese, B., P. L. Angermeier, et al. (2003). Designing Mark-Recapture Studies to Reduce Effects of Distance Weighting on Movement Distance Distributions of Stream Fishes. *Transactions of the American Fisheries Society* **132**: 925-939.
- Albanese, B., P. L. Angermeier, et al. (2004). Ecological correlates of fish movement in a network of Virginia streams. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences* **61**: 857-869.
- Armstrong, J. D., V. A. Braithwaite, et al. (1996). A flat-bed passive integrated transponder antenna array for monitoring behaviour of Atlantic salmon parr and other fish. *Journal of Fish Biology* **48**: 539-541.
- Armstrong, J. D., V. A. Braithwaite, et al. (1997). Spatial strategies of wild Atlantic salmon parr: exploration and settlement in unfamiliar areas. *Journal of Animal Ecology* **66**: 203-211.
- Bernatchez, L. et M. Giroux (2000). Guide des poissons d'eau douce du Québec et leur distribution dans l'Est du Canada. *Éditions Broquet Inc.*
- Brännas, E., H. Lundqvist, et al. (1994). Use of the passive integrated transponder (PIT) in a fish identification and monitoring system for fish behavioral studies. *Transactions of the American Fisheries Society* **123**, 395-401.
- Buckley, R. M. et H. L. Blankenship (1990). Internal extrinsic identification systems: overview of implanted wire tags, otolith marks, and parasites. *American Fisheries Society Symposium* **7**: 173-182.
- Burns, M. D., N. H. C. Fraser, et al. (1997). An automated system for monitoring fish activity patterns. *Transactions of the American Fisheries Society* **126**, 1036-1040.
- Castro-Santos, T., A. Haro, et al. (1996). A passive integrated transponder (PIT) tag system for monitoring fishways. *Fisheries Research* **28**: 253-261.
- Chapman, D.W. (1962). Aggressive behavior in juvenile coho salmon as a cause of emigration. *J. Fish. Res. Board Can.* **19**: 1047-1080.

- Cucherousset, J., J. M. Roussel, et al. (2005). The use of two new portable 12-mm PIT tag detectors to track small fish in shallow streams. *North American Journal of Fisheries Management* **25**, 270-274.
- Erkinaro, J., Y.U. Shustov et al. (1995). Enhanced growth and feeding rate in Atlantic salmon parr occupying a lacustrine habitat in the River Utsjoki, northern Scandinavia. *Journal of Fish Biology* **47**: 1096-1098.
- Erkinaro, J., M. Julkunen, et al. (1998). Migration of juvenile atlantic salmon *Salmo salar* in small tributaries of the subarctic river teno, northern Finland. *Aquaculture* **168**(1-4): 105-119.
- Fausch, K. D., C. E. Torgersen, et al. (2002). Landscape to riverscapes: bridging the gap between research and conservation of stream fishes. *BioScience* **52**(6): 483-498.
- Gerking, S. D. (1959). The restricted movement of fish populations. *Biological Reviews* **34**: 221-242.
- Gowan, C., M. Young, et al. (1994). Restricted movement in resident stream salmonids: a paradigm lost ? *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences* **51**: 2626-2637.
- Gowan, C. et K. D. Fausch (1996). Mobile brook trout in two high-elevation Colorado streams: re-evaluating the concept of restricted movement. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **53**: 1370-1381.
- Gresswell, R. E. et S. R. Hendricks (2007). Population-scale movement of coastal cutthroat trout in a naturally isolated stream network. *Transactions of the American Fisheries Society* **136**: 238-253.
- Halvorsen, M. et M. A. Svenning (2000). Growth of Atlantic Salmon parr in fluvial and lacustrine habits. *Journal of Fish Biology* **57**(1): 145-160
- Hamilton W.D. (1971). Geometry for the selfish herd. *Journal of Theoretical Biology* **31**(2): 295-311.
- Heggenes, J., P. K. Omholt, et al. (2007). Movements by wild brown trout in a boreal river: response to habitat and flow contrasts. *Fisheries Management and Ecology* **14**: 333-342.
- Hill, M. S., G. B. Zydlewski, et al. (2006). Development and evaluation of portable PIT tag detection units: PITpacks. *Fisheries Research* **77**(1): 102-109.
- Hutchings, J.A. (1986). Lakeward migrations by juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences* **43**: 732-741.

- Huusko, A., L. Greenberg et al. (2007). Life in the ice lane: the winter ecology of stream salmonids. *River Research and Applications* **23**(5): 469-491.
- Ibbotson, A. T., W. R. C. Beaumont, et al. (2004). A cross-river antenna array for the detection of miniature passive integrated transponder tags in deep, fast flowing rivers. *Journal of Fish Biology* **65**: 1441-1443.
- Jensen, L. F., M. M. Hansen, et al. (2008). Visible implant elastomer (VIE) marking of brown trout, *Salmo trutta*, alevins. *Fisheries Management and Ecology* **15**: 81-83.
- Johnston, P., F. Bérubé et al. (2009). Development of a flatbed passive integrated transponder antenna grid for continuous monitoring of fishes in natural streams. *Journal of Fish Biology* **74**: 1651-1661.
- Jones, M.W. et J. A. Hutchings (2002). Individual variation in Atlantic salmon fertilization success: Implications for effective population size. *Ecological Applications* **12**(1): 184-193
- Kahler, T. H., P. Roni, et al. (2001). Summer movements and growth of juvenile anadromous salmonids in small western Washington streams. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences* **58**: 1947-1956.
- Keene, J. L., D. L. G. Noakes, et al. (1998). The efficacy of clove oil as an anaesthetic for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research* **29**(2): 89-101.
- Knouft, J. H. et J. R. Spotila (2002). Assessment of movements of resident stream brown trout, *Salmo trutta* L., among contiguous sections of stream. *Ecology of Freshwater Fish* **11**: 85-92.
- Linnansaari, T. P. et R. A. Cunjak (2007). The performance and efficacy of a two-person operated portable PIT-antenna for monitoring spatial distribution of stream fish populations. *River Research and Applications* **23**(6): 559-554.
- Lucas, M. C. et E. Baras (2000). Methods for studying spatial behaviour of freshwater fishes in the natural environment. *Fish and Fisheries* **1**: 283-316.
- McCormick, S. D., L. P. Hansen, et al. (1998). Movement, migration, and smolting of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences* **55**(suppl. 1): 77-92.
- McDowall, R. M. (1997). The evolution of diadromy in fishes (revisited) and its place in phylogenetic analysis. *Reviews in Fish Biology and Fisheries* **7**(4): 443-462.

- McFarlane, G. A., R. S. Wydoski, et al. (1990). Historical review of the development of external tags and marks. *American Fisheries Society Symposium* 7: 9-29.
- Morinville, G. et V. Thériault (2004). Les mystères de la truite de mer. *Saumons Illimités* 27(3) (no 70):36-38.
- Moyle, P.B. et J.J. Cech (2004). Fishes: An Introduction to Ichthyology (Fifth Edition). *Éditions Prentice-Hall.*
- Murchie, K.J., S.J. Cooke et al. (2004). Effects of radio-transmitter antenna length on swimming performance of juvenile rainbow trout. *Ecology of Freshwater Fish*13: 312-316.
- Prentice, E. F., T. A. Flagg, et al. (1990). Feasibility of using implantable passive integrated transponders (PIT) tags in salmonids. *American Fisheries Society Symposium* 7: 317-322.
- Roberts, J. J. et F. J. Rahel (2005). Accuracy of aerial telemetry in fisheries studies. *North American Journal of Fisheries Management* 25(2): 660-666.
- Rodriguez, M. A. (2002). Restricted movement in stream fish: the paradigm is incomplete, not lost. *Ecology* 83(1): 1-13.
- Roussel, J.-M., A. Haro, et al. (2000). Field test of a new method for tracking small fishes in shallow rivers using passive integrated transponder (PIT) technology. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 57(7): 1326-1329.
- Roussel, J.-M., R. A. Cunjak, et al. (2004). Movements and habitat use by PIT-tagged Atlantic salmon parr in early winter: the influence of anchor ice. *Freshwater Biology* 49(8): 1026-1035.
- Steingrimsson, S. O. et J. W. A. Grant (2003). Patterns and correlates of movement and site fidelity in individually tagged young-of-the-year Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences* 60: 193-202.
- Stradmeyer, L. et J. E. Thorpe (1987). Feeding behaviour of wild Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr in mid- to late summer in a Scottish river. *Aquaculture and Fisheries Management* 18: 33-49.
- Teixeira, A. et R. M. V. Cortes (2007). PIT telemetry as a method to study the habitat requirements of fish populations: application to native and stocked trout movements. *Hydrobiologia* 582, 171-185.

- Titus, R.G. 1990. Territorial behavior and its role in population regulation of young brown trout (*Salmo trutta*): new perspectives. *Ann. Zool. Fenn.* **27**: 119-130.
- Vannote, R.L., G.W. Minshall et al. (1980). The river continuum concept. *Canadian Journal Fisheries and Aquatic Sciences* **37**: 130-137.
- Whoriskey, F.G. et J. Glebe (1998). The Atlantic Salmon Biodiversity industry: Economic initiatives and social conflict. *For: The Symposium on the Sustainability of Salmon Fisheries: Binational Perspectives, 24-25 August 1998. American Fisheries Society Annual Meeting, Hartford, Connecticut.*
- Zydlewski, G. B., A. Haro, et al. (2001). Performance of stationary and portable passive transponder detection systems for monitoring of fish movements. *Journal of Fish Biology* **58**: 1471-1475.
- Zydlewski, G. B., G. Horton, et al. (2006). Remote monitoring of fish in small streams: A unified approach using PIT tags. *Fisheries* **31**(10): 492-502.