

**ESTIMATION DU NOMBRE D'ANGUILLES D'AMÉRIQUE (*Anguilla rostrata*)
QUITTANT LE BASSIN VERSANT DU SAINT-LAURENT
ET DE SON TAUX D'EXPLOITATION**

par

Francois Caron¹
Guy Verreault²
et
Eric Rochard³

¹ Société de la faune et des parcs du Québec, 675 boul. René-Lévesque Est, Québec (Québec)
G1R 5V7

² Société de la faune et des parcs du Québec, 506 rue Lafontaine, Rivière-du-Loup (Québec)
G5R 3C4

³ Cemagref, Unité Ressources Aquatiques Continentales, 33612 Cestas cedex, France



Référence à citer :

CARON, F., G. VERREAUULT et E. ROCHARD. 2000. Estimation du nombre d'anguilles d'Amérique (*Anguilla rostrata*) quittant le bassin versant du Saint-Laurent et de son taux d'exploitation. Société de la faune et des parcs du Québec. 45 p.

Dépôt légal – Bibliothèque nationale du Québec, 2000
ISBN : 2-550-36389-2

TABLE DES MATIÈRES

	<i>Page</i>
TABLE DES MATIÈRES.....	iii
LISTE DES TABLEAUX.....	v
LISTE DES FIGURES	vii
1. CONTEXTE ET OBJECTIFS.....	1
2. AIRE D'ÉTUDE	4
3. ESTIMATION DES CAPTURES DE L'ESTUAIRE MOYEN.....	6
3.1 La pêche d'anguille de l'estuaire moyen.....	6
3.2 Méthodologie.....	8
3.2.1 Échantillonnage.....	8
3.2.2 Estimation des captures	8
3.3 Résultats	9
3.3.1 Captures en biomasse.....	9
3.3.2 Captures en nombre.....	12
3.4 Discussion.....	12
4. ESTIMATION DU FLUX PAR MARQUAGE-RECAPTURE.....	13
4.1 Matériel et méthodes.....	13
4.1.1 Marquage	13
4.1.2 Contrôle.....	14
4.1.3 Méthodes d'estimation utilisées	14
4.1.3.1 Choix de la méthode.....	14
4.1.3.2 Constitution des strates	16
4.2 Résultats	17
4.2.1 Marquage et contrôle.....	17
4.2.1.1 Caractéristiques des anguilles marquées et contrôlées	17
4.2.2 Trajectoires de dévalaison	20
4.2.3 Vitesse de migration	20
4.2.4 Estimation des effectifs, saison de migration 1996	22
4.2.5 Estimation des effectifs, saison de migration 1997	23
4.2.5.1 Stratification selon les quartiles.....	23
4.2.5.2 Stratification selon les déciles.....	24

4.2.6	Évolution du phénomène	25
4.2.7	Comparaison avec les captures.....	25
4.3	Discussion.....	29
4.3.1	Phénomène de dévalaison	29
4.3.2	Estimations par marquage-recapture.....	30
4.3.2.1	Méthodes d'estimation employées	30
4.3.2.2	Respect des postulats liés à l'estimation par marquage- recapture	31
4.3.2.2.1	Échantillonnage.....	31
4.3.2.2.2	Stratification effectuée.....	33
4.3.2.2.3	Marquage.....	33
4.3.3	Estimations	34
4.3.4	Impacts de la pêche.....	35
5.	CONCLUSION	36
	REMERCIEMENTS	39
	LISTE DES RÉFÉRENCES	41

LISTE DES TABLEAUX

	<i>Page</i>
Tableau 1. Estimations des captures totales de la pêcherie d'anguilles argentées de l'estuaire \hat{C} , bornes inférieure (min.) et supérieure (max.) de l'intervalle de confiance à 95 % des estimations.	12
Tableau 2. Strates temporelles retenues, dates de début et de fin. Pour 1996 découpage en semaines; pour 1997 découpage selon les quartiles et les déciles des captures commerciales dans l'estuaire moyen.	16
Tableau 3. Nombre d'anguilles capturées dans les différentes strates de marquage n^c_i et de contrôle n^r_j et recapturées m_{ij} . Nombre total d'anguilles marquées et/ou contrôlées prises en compte.	19
Tableau 4. Longueur (cm) masse (g) et facteur K des anguilles marquées et capturées dans la pêcherie (écart type entre parenthèses).	19
Tableau 5. Estimation du nombre d'anguilles par strates de marquage selon la méthode de Darroch - Plante \hat{N}_i^c . À droite en italique, les valeurs de m_{ij} et u_j^r prédites par le modèle pour les strates de contrôle.	22
Tableau 6. Estimation du nombre d'anguilles par strates de marquage (\hat{N}_i^c) et de recapture (\hat{N}_j^r) selon la méthode de Schaefer et probabilités de captures (\hat{p}_j^r).	23
Tableau 7. Stratification selon les quartiles et estimations produites par la méthode de Schaefer.	24
Tableau 8. Stratification selon les déciles et estimations produites par la méthode de Schaefer.	24
Tableau 9. Résumé des estimations d'effectifs pour 1996 et 1997 selon les stratifications effectuées et les méthodes utilisées.	25

LISTE DES FIGURES

	<i>Page</i>
Figure 1. Carte de situation.....	5
Figure 2. Engin de pêche à l'anguille.....	7
Figure 3. Estimation des captures quotidiennes de la pêcherie d'anguilles argentées de la rive sud de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent en 1996 et 1997.....	10
Figure 4. Cumul des captures quotidiennes de la pêcherie d'anguilles de l'estuaire. (Estimation (trait plein) et intervalle de confiance à 95% (tirets)).	11
Figure 5. Déroulement du marquage et du contrôle (date et nombre d'anguilles) au cours des saisons 1996 et 1997.....	18
Figure 6. Vitesse de migration en 1996 et 1997 entre la zone de marquage et la zone de recapture. Le losange indique la vitesse moyenne, l'extrémité des barres verticales indique les vitesses minimum et maximum et la barre horizontale la période considérée. La ligne diagonale représente le nombre de jours durant lesquels nous pouvions détecter une anguille marquée (avant la fin de la période de contrôle).	21
Figure 7. Images de la migration de dévalaison à Québec et dans l'estuaire moyen (méthode de Schaefer) en 1996 et 1997.	26
Figure 8. Comparaison des estimations des anguilles capturées et des anguilles transitant dans l'estuaire moyen pour une même période.	27
Figure 9. Évolution du taux d'exploitation au cours des saisons de dévalaison 1996 et 1997.....	28

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS

Les deux espèces d'anguille présentes dans l'Atlantique Nord, l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) sur la côte nord-américaine et l'anguille européenne (*A. Anguilla*) sur la côte ouest européenne, sont des espèces catadromes considérées comme panmictiques, c'est-à-dire que l'ensemble de la population ne formerait qu'un seul pool génétique (William *et al.* 1973; Avise *et al.* 1986; 1990). Selon les connaissances actuelles, on suppose donc que chaque espèce n'est constituée que d'un seul stock, ce qui nécessite une approche globale pour la gestion. Les deux espèces ont subi des déclin importants, au moins dans une partie de leur aire de répartition, au cours des dernières années (Castonguay *et al.* 1994a; Robitaille et Tremblay 1994; Ritter *et al.* 1997) et le Conseil international pour l'exploration de la mer (ICES/CIEM) a récemment conclu que le stock d'anguilles européennes n'était plus dans les limites biologiques de maintien de l'espèce (ACFM 1998). Cette situation préoccupe les gestionnaires de la ressource qui recommandent d'avoir maintenant une approche prudente dans la gestion de ces espèces (Ritter *et al.* 1997; ACFM 1998).

Chez l'anguille d'Amérique, le déclin semble se produire principalement dans la partie septentrionale de son aire de répartition, en particulier dans la partie amont du Saint-Laurent (Casselman *et al.* 1994a; 1997). Les causes invoquées sont de deux ordres : des causes naturelles, soit des changements dans l'environnement marin (Castonguay *et al.* 1994b) et des causes anthropiques, soit les barrages, les dégradations de l'habitat, la mortalité dans les turbines hydroélectriques, la surexploitation (Tremblay 1993; Robitaille et Tremblay 1994; Castonguay *et al.* 1994a). Les captures d'anguilles argentées ont également diminué dans le Saint-Laurent au cours des vingt dernières années, alors que pourtant le nombre de pêcheurs recherchant cette espèce semble stable (Axelsen 1997; Robitaille et Tremblay 1994) et que, parallèlement, le prix payé aux pêcheurs a connu des hausses importantes, passant graduellement d'environ 0,50 \$CA à 6,50 \$CA le kilo (Paulin 1997). On assiste depuis peu à un développement de la pêche aux civelles sur la bordure atlantique et dans le golfe (Stevens 1997; Knight 1997; Jessop 1998), ce qui ne manque pas d'inquiéter les gestionnaires de la ressource.

Au Québec, la pêche des anguilles subadultes en dévalaison, appelées anguilles argentées en raison de la livrée particulière qu'elles présentent à ce moment-là, est une pêche traditionnelle qui existait bien avant l'arrivée des Européens. Les Amérindiens exploitaient déjà l'anguille sur les rives du Saint-Laurent avec des moyens de capture qui s'apparentent à ceux actuellement utilisés (Moussette 1979; Martin, 1980) c'est-à-dire une série de barrières en filet, autrefois faites en pierre et en branches d'arbres entrelacées, disposées perpendiculairement à la rive dans la zone de marée.

Dans l'axe du Saint-Laurent, l'anguille colonise le fleuve, ses principaux tributaires et le lac Ontario. Ces anguilles sont particulièrement importantes pour l'espèce puisque plus de 99 % d'entre elles sont des femelles (Vladykov, 1966; Couillard *et al.* 1997; Desjardins *et al.*, 1983; Dutil *et al.* 1987) et qu'elles pourraient représenter environ 25 % des femelles qui se rendent en mer pour se reproduire (Castonguay 1994b).

Les anguilles argentées quittent leurs zones d'engraissement durant l'été (Vladykov 1955). Elles sont l'objet d'une pêche commerciale principalement dans la zone d'étude, entre la ville de Québec et Rimouski, où de 71 % à 74 % des anguilles argentées capturées proviennent de l'axe principal du Saint-Laurent et du lac Ontario (Couillard *et al.* 1997; Dutil *et al.* 1985).

La dévalaison des anguilles, quelle que soit l'espèce, est un phénomène encore mal connu qui, à notre connaissance, n'a encore jamais été quantifié dans un grand bassin versant. Les travaux traitant de la dévalaison ont, pour la plupart, été menés à l'échelle de petits bassins versants connectés aux eaux libres par des ouvrages permettant un contrôle plus ou moins exhaustif de la dévalaison (Rossi et Cannas 1984; Vollestad and Jonsson 1988; Adam 1997; Therrien et Verreault 1998). Dans les grands hydro-systèmes, les travaux visent plutôt à cerner les déplacements sans nécessairement cibler le stade dévalant (Bartel and Kosior 1991), à quantifier et à qualifier les captures (Deelder 1980) ou à relativiser l'impact de la dévalaison à travers les turbines des ouvrages hydroélectriques (Larinier et Dartiguelongue 1989; Desrocher 1994).

L'estimation du nombre d'anguilles quittant un bassin versant après y avoir effectué leur croissance est un élément de référence essentiel pour comprendre le fonctionnement du stock d'anguilles et relativiser les impacts anthropiques, notamment la pêche et la

mortalité dans les turbines lors de la dévalaison. Cela permet de juger, en premier lieu, de la productivité des différents bassins versants (en prenant en compte l'ensemble des mortalités identifiées) ensuite, du niveau de précaution de la gestion du stock d'anguilles (en mettant en relation le nombre de civelles ayant colonisé le bassin et le nombre parvenant à quitter le bassin) et finalement, de la contribution des différents bassins versants au stock reproducteur.

Les méthodes de marquage et de recapture permettent de quantifier des flux de dévalaison et d'obtenir des informations précieuses sur les processus de migration. C'est particulièrement le cas de celles considérant que la population est stratifiée dans le temps (Schaefer 1951; Darroch 1961; Arnason 1972, 1973; MacDonald and Smith 1980; Seber 1982; Plante 1990; Dempson et Stansbury 1991; Schwarz *et al.* 1993; Schwarz et Dempson 1994). Jusqu'à maintenant, ces méthodes n'ont uniquement été utilisées que pour les flux de migration du saumon, mais nous les avons retenues car elles nous semblent avoir les caractéristiques nécessaires pour estimer le flux de dévalaison des anguilles argentées et pour appréhender la cinétique de migration.

Avec un bassin versant de 1,6 million de km², le système hydrographique des Grands Lacs et du Saint-Laurent se classe au 13^e rang des grands fleuves du monde et draine plus de 25 % des réserves mondiales d'eau douce (Centre Saint-Laurent 1996). Au niveau de la zone d'étude, le débit moyen annuel est de 12 600 m³/s.

Le présent document a pour objectif, pour deux saisons consécutives (1996 et 1997) :

- i) d'évaluer le nombre d'anguilles argentées ayant terminé leur croissance dans le bassin versant et transitant dans l'estuaire du Saint-Laurent;
- ii) de relativiser l'exploitation qu'elles subissent en zone estuarienne par la pêche commerciale;
- iii) de préciser le déroulement et les modalités de la dévalaison;
- iv) de donner un cadre méthodologique pour la reconduite d'opérations de ce type.

2. AIRE D'ÉTUDE

La zone de marquage (figure 1) se situe dans l'estuaire fluvial, près de la ville de Québec, environ 30 km en amont du début de la zone de salure des eaux. À cet endroit, le fleuve a une largeur d'environ 1 km et les captures se font sur un estran rocheux semblable de part et d'autre du fleuve.

La zone de recapture se trouve dans l'estuaire moyen du Saint-Laurent, elle s'étend sur 150 km entre l'extrémité est de l'île d'Orléans et l'embouchure du Saguenay. Cette section, d'une largeur moyenne de 17 km, couvre une superficie de 3277 km² (CSL et Université Laval, 1991) et constitue la zone de transition entre le milieu d'eau douce et le milieu marin. C'est dans ce tronçon que les eaux du fleuve et de ses tributaires se mélangent aux eaux salées provenant de l'Atlantique (Ouellet et Cerceau 1976). La salinité passe d'une concentration de 2 ‰ en amont à 30 ‰ en aval (Ghanimé *et al.* 1990). Ce mélange, forcé par des courants de forte intensité, s'accompagne de la remise en suspension des sédiments, ce qui engendre une forte turbidité. Ce processus est dominé par la force des marées semi-diurnes dont l'amplitude maximale peut atteindre 6,9 m dans son secteur amont. Ces fortes marées contribuent au développement de larges zones intertidales composées d'un substrat de sable, de limon et d'argile (d'Anglejean 1990). Les eaux fluviales du Saint-Laurent ont tendance à s'écouler par la rive droite de l'estuaire, tandis que les eaux salées y pénètrent par la rive gauche (Centre Saint-Laurent 1996).

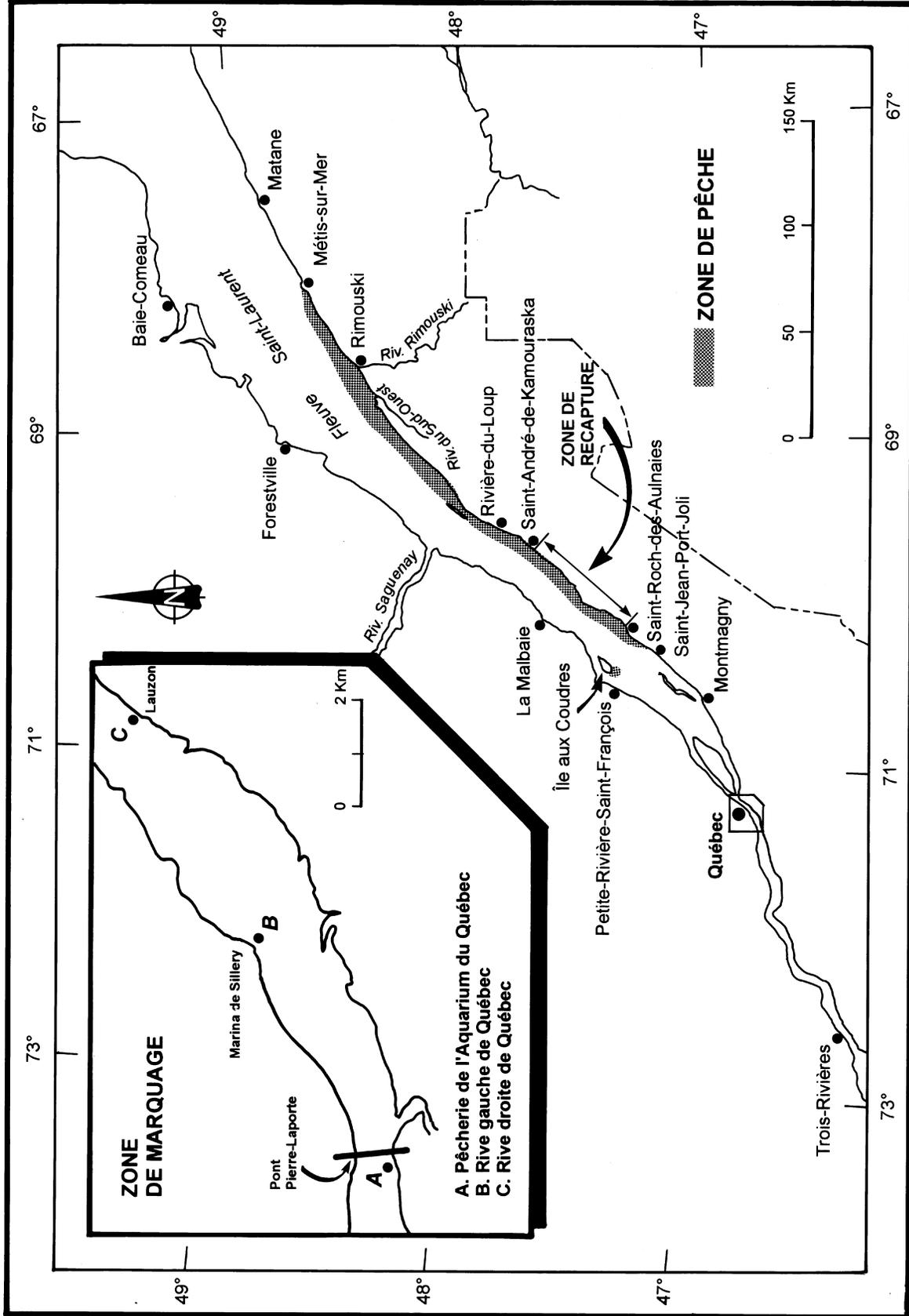


Figure 1. Carte de situation.

3. ESTIMATION DES CAPTURES DE L'ESTUAIRE MOYEN

3.1 La pêcherie d'anguille de l'estuaire moyen

L'anguille argentée en dévalaison dans le bassin du Saint-Laurent est principalement capturée dans l'estuaire moyen où on y recense 89 % de tous les débarquements d'anguilles d'avalaison du Québec (source : Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec 1999). Son exploitation est entièrement réalisée par les pêcheurs commerciaux qui écoulent la presque totalité de leurs captures sur les marchés d'exportation par le biais de quelques mareyeurs. Les captures sont toutes réalisées avec le même type d'équipement, appelé pêche à anguille (figure 2). Ce piège, de taille variable, fixé dans la zone intertidale perpendiculairement au rivage, est recouvert et exondé à chaque cycle de marée. Les anguilles y pénètrent lors de la marée descendante et restent emprisonnées dans la partie terminale du piège, sans possibilité d'évasion, jusqu'à ce que le pêcheur vienne les recueillir à la fin du jusant. Les poissons récoltés sont récupérés par le mareyeur dans les heures qui suivent. Nous considérons que ces engins sont peu ou pas sélectifs, comme en fait foi la capture d'espèces de petite taille telles que l'éperlan arc-en-ciel (*Osmerus mordax*) et le poulamon atlantique (*Microgadus tomcod*) dont la longueur totale est inférieure à 100 mm. L'effort de pêche est estimé par la longueur de la barrière (Axelsen 1997). Les engins sont toujours implantés au même endroit, année après année; au cours d'une saison, la taille des engins de pêche ne varie pas.

Les engins de pêche sont principalement concentrés sur la rive droite, entre La Pocatière et Rivière-du-Loup (figure 1), on en recense 83, distribués sur 132 km de rives. La première pêche à l'anguille se trouve à 90 km en aval de la zone de marquage et la dernière, à 164 km; nous considérons que la distance parcourue par les anguilles entre la zone de marquage et la zone de recapture est en moyenne de 140 km.

Dans ce secteur, les débarquements comme l'effort de pêche représentent 98 % du total de l'estuaire moyen et c'est pourquoi nous avons concentré nos recherches de poissons marqués sur cette rive. La saison de pêche débute le 1^{er} septembre et se termine vers la mi-novembre.

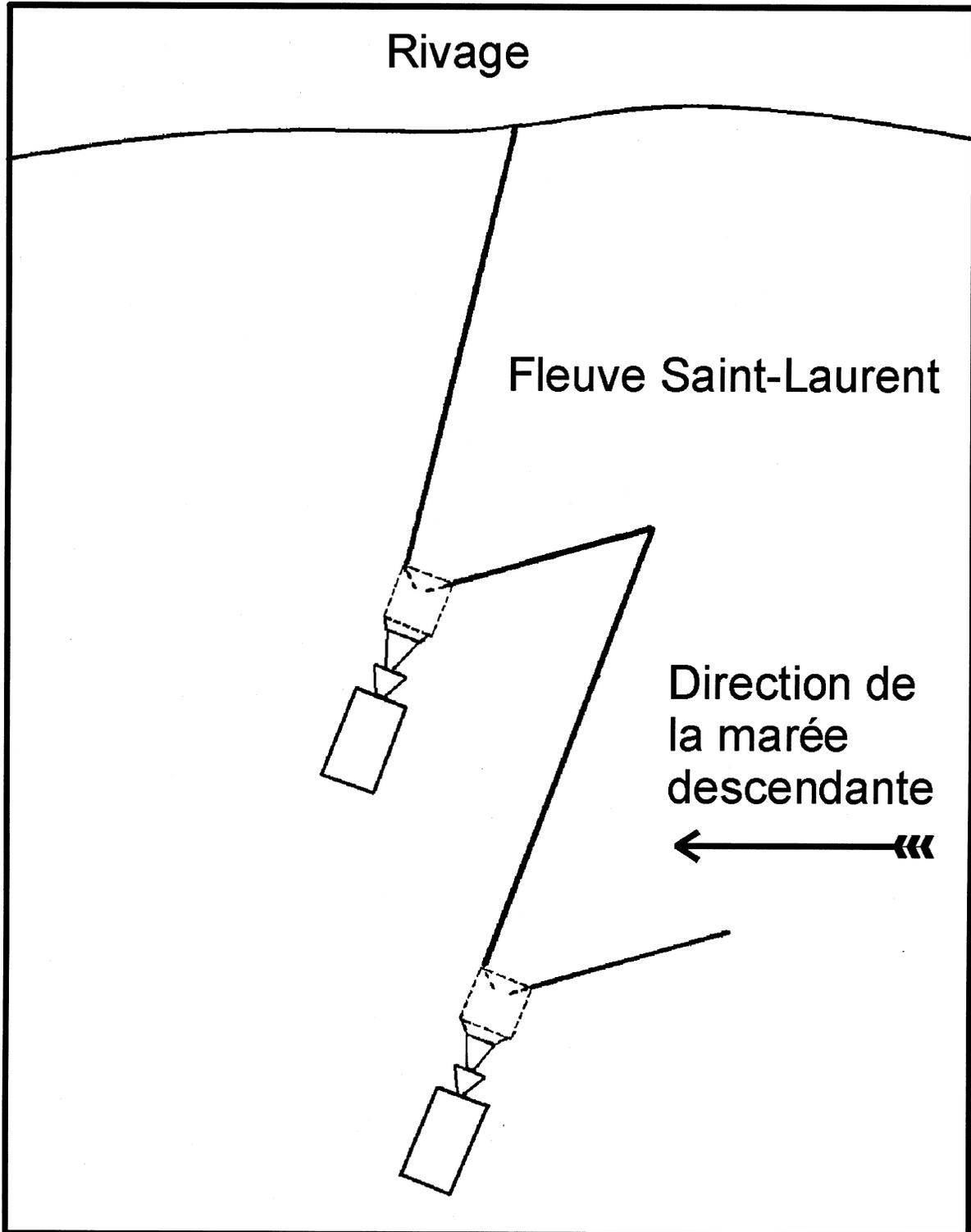


Figure 2. Engin de pêche à l'anguille.

3.2 Méthodologie

3.2.1 Échantillonnage

Un inventaire photographique aérien a été préalablement effectué afin de s'assurer de la localisation et de la taille exactes de chacun des engins.

Le territoire est segmenté en trois zones aux caractéristiques physiographiques homogènes (substrat, salinité, orientation, etc.) à l'intérieur desquelles nous avons mis en place un réseau de pêcheurs-repères. Le réseau se composait en 1996 de treize pêcheurs (40 % de l'effort de pêche dans l'estuaire moyen) et en 1997, de quinze pêcheurs (47 % de l'effort de pêche). Ces pêcheurs consignent leurs captures quotidiennes (kg) et communiquent leurs données à la fin de la saison. À intervalles irréguliers, un échantillonnage est réalisé pour obtenir les caractéristiques morphométriques des captures. Ceci permet de calculer la biomasse journalière des anguilles capturées par les pêcheurs-repères et sur l'ensemble de la saison, l'effort de pêche ainsi que le tonnage et le nombre d'anguilles capturées.

3.2.2 Estimation des captures

L'estimation des captures quotidiennes pour l'ensemble de l'estuaire a été obtenu en pondérant les résultats du réseau de pêcheurs-repères (captures/jour/longueur d'engin) avec la valeur de l'effort total (longueur d'engin) déployé dans chacune des trois zones, pour chacune des années. L'estimation des débarquements totaux a été réalisée selon la méthode de Cochran (1977) à partir des débarquements effectués dans chacune des zones h .

$$\text{Estimation du débarquement total : } Y_R = \sum_{h=1}^3 Y_{R_h} = \sum_{h=1}^3 R_h \cdot X_h = \sum_{h=1}^3 \frac{\sum_{i=1}^{n_h} y_{ih}}{\sum_{i=1}^{n_h} x_{ih}} \cdot X_h$$

$$\text{Variance de l'estimation : } V(Y_R) = \sum_{h=1}^3 V(Y_{Rh}) = \sum_{h=1}^3 \frac{N_h^2(1-f_h) \cdot \sum_{i=1}^{n_h} (y_{ih} - R_h x_{ih})^2}{n_h \cdot (n_h - 1)}$$

Intervalle de confiance de l'estimation (i. c.) : $Y_R \pm t_{\alpha(2), (n-1)} \cdot \sqrt{V(Y_{Rs})}$ avec pour la zone h :

Y_{Rh}	estimation du débarquement en kg
R_h	rendement en kg/m
X_h	longueur totale déployée en m
y_{ih}	captures en kg de l'engin
x_{ih}	longueur en m de la barrière de l'engin i
N_h	nombre d'engins en opération
n_h	nombre d'engins visités
f_h	fraction d'échantillonnage dans la strate h : $\frac{\sum_{i=1}^{n_h} x_{ih}}{X_h}$

Le nombre d'anguilles capturées est estimé en utilisant les poids moyens individuels recueillis lors de l'échantillonnage et en pondérant les résultats en fonction des captures effectuées chaque semaine, selon la méthode suggérée par Frontier (1983) pour un échantillonnage stratifié.

3.3 Résultats

3.3.1 Captures en biomasse

Les débarquements présentent une allure générale unimodale en 1996 et bimodale en 1997 (figure 3). Les maxima de captures sont situés le 11 octobre, en 1996 et de part et d'autre de cette date (31 septembre et 22 octobre), en 1997.

En 1996, les captures sont de 119,5 t (i. c. à 95 % : 107,5 - 133,3) et en 1997, de 111,9 t (i. c. à 95% : 102,1 - 121,6) (figure 4).

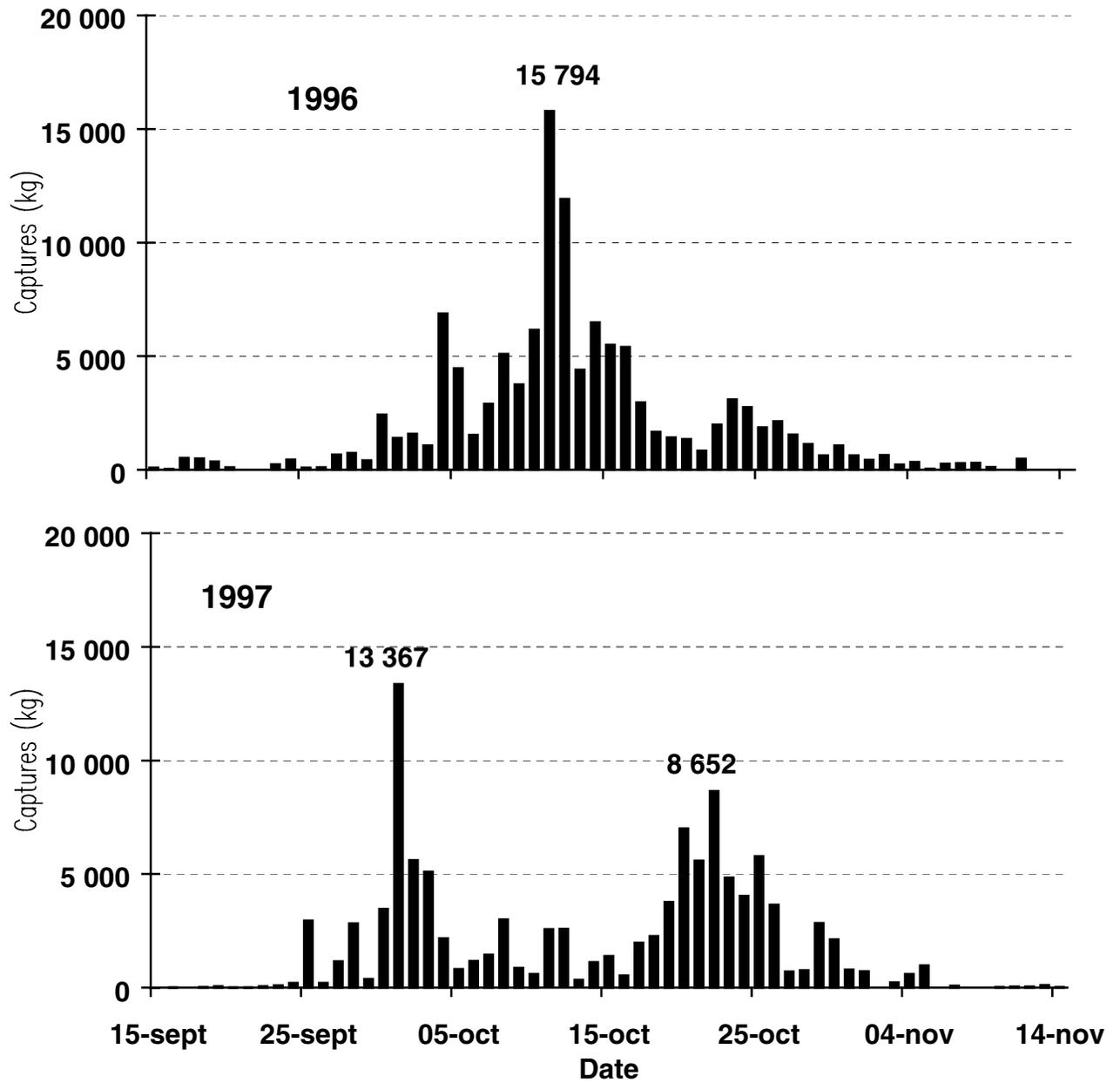


Figure 3. Estimation des captures quotidiennes de la pêcherie d'anguilles argentées de la rive sud de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent en 1996 et 1997.

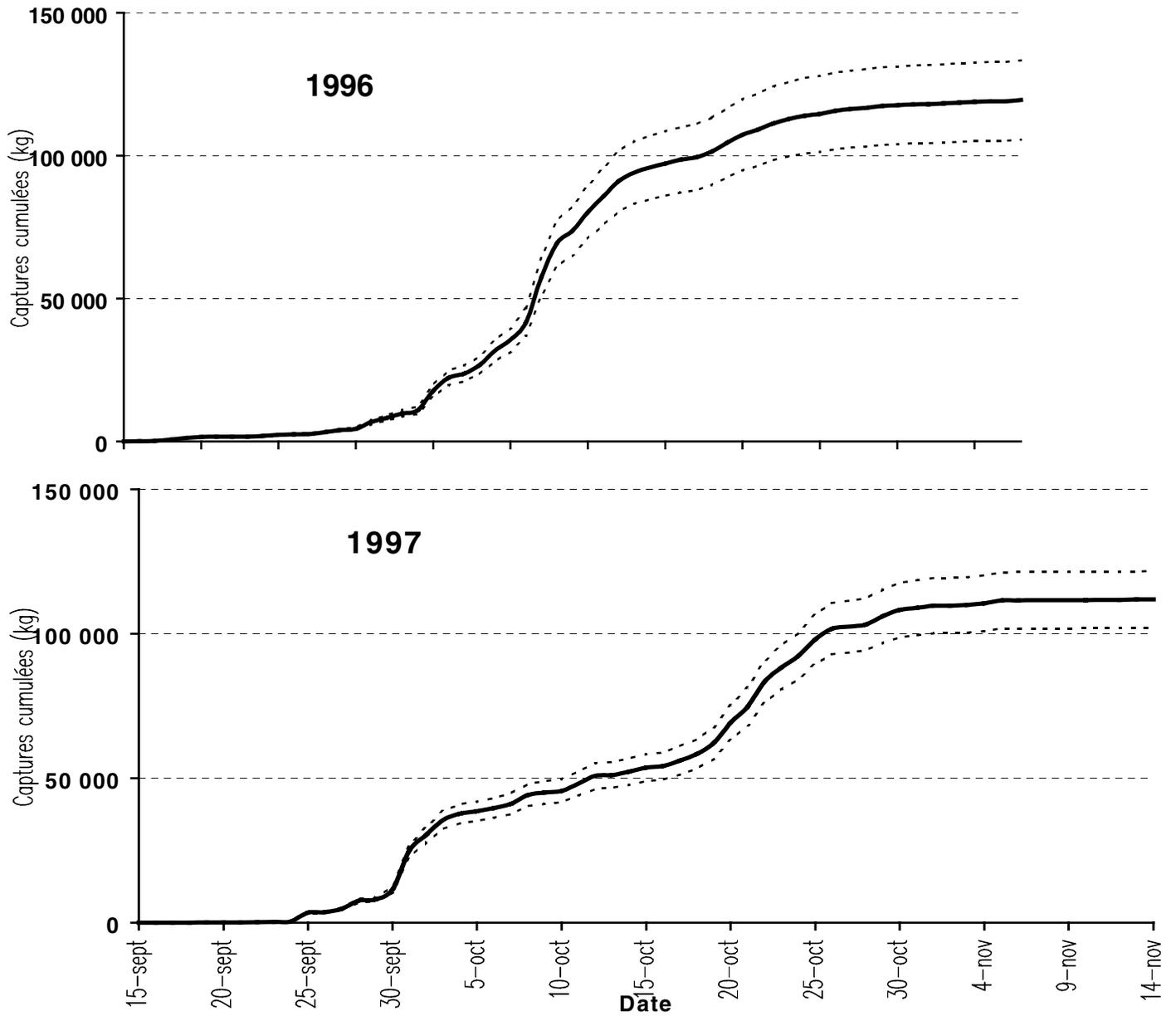


Figure 4. Cumul des captures quotidiennes de la pêcherie d'anguilles de l'estuaire. (Estimation (trait plein) et intervalle de confiance à 95 % (tirets)).

3.3.2 Captures en nombre

Malgré un déroulement différent du phénomène, les captures totales ne diffèrent pas significativement entre les saisons 1996 et 1997 (tableau 1). Toutefois, les poids moyens individuels varient significativement au cours de la saison (Kruskal-Wallis, $p < 0,001$).

Tableau 1. Estimations des captures totales de la pêcherie d'anguilles argentées de l'estuaire \hat{C} , bornes inférieure (min.) et supérieure (max.) de l'intervalle de confiance à 95 % des estimations.

Année	\hat{C}	Min.	Max.	Écart
1996	92 163	78 391	105 935	±14,9 %
1997	94 675	84 419	104 931	±10,8 %

3.4 Discussion

L'utilisation de pêcheurs-repères stratifiés par zone géographique et permettant l'estimation des captures totales, de l'effort et des CPUE est une démarche classique en halieutique continentale (Mérona et Bittencourt, 1991; Rochard 1992; Castelnaud *et al.* 1994; Adam 1997). Dans notre cas, nous estimons que la proportion importante de pêcheurs participant au réseau permet une bonne précision de nos estimateurs.

L'effort de pêche déployé tout comme les captures est similaire pour ces deux années. L'augmentation de la taille des anguilles au cours de la saison suggère que les anguilles peuvent appartenir à des groupes qui sont d'origines différentes, tel que suggéré par l'analyse des contaminants de Castongay *et al.* (1989), ou bien que le déclenchement du phénomène se fait de façon plus précoce pour les plus petits spécimens que pour les plus grands.

4. ESTIMATION DU FLUX PAR MARQUAGE-RECAPTURE

4.1 Matériel et méthodes

4.1.1 Marquage

Les échantillons ont été constitué de façon aléatoire parmi les captures commerciales effectuées à Québec dans deux pêches à anguille, une sur la rive nord et l'autre sur la rive sud. En 1996, la taille de chacun des échantillons était fonction des quantités capturées alors qu'en 1997, elle était fixée à environ 50 individus par jour de marquage.

Les anguilles ont été marquées par thermomarquage à chaud (hotbranding) sur la partie ventrale, entre les nageoires pectorales et la tête; cette méthode ancienne, très simple et peu coûteuse (Mac Farlane *et al.* 1990), génère des marques dont le contrôle est facile et qui ne modifient pas la capturabilité des poissons (Mac Keown 1984). La marque utilisée permettait de distinguer par un code des lots selon l'endroit de lâcher, un en rive gauche et deux en rive droite. En 1996, la même marque pouvait être utilisée pour une période de un à sept jours alors qu'en 1997, chaque journée de lâcher portait une marque distincte.

En 1996, la majorité des anguilles ont été marquées et relâchées de jour, dans les heures qui suivaient leur capture. Toutefois, 429 anguilles provenant des rivières du Sud Ouest et Rimouski (270 et 285 km en aval de Québec) ont été relâchées de nuit, en deux occasions, dans la zone de marquage. Ces poissons capturés dans un piège total (maillage 20 mm de côté) ont été maintenus en captivité pendant quelques jours avant d'être anesthésiés dans un bain d'eau glacée entre 6 et 10°C, marqués, puis transportés en quatre ou cinq heures vers le lieu de lâcher.

En 1997, toutes les anguilles provenaient des captures faites à Québec. Les anguilles étaient d'abord transférées dans un bassin d'observation avant d'être marquées et relâchées dans les heures ou, au plus, deux ou trois jours plus tard; ceci nous a permis de n'utiliser que des anguilles qui semblaient en excellente condition.

Les anguilles étaient relâchées du côté du fleuve où elles avaient été capturées. En 1996 et 1997 respectivement, 531 et 746 anguilles ont été relâchées sur la rive droite, 516 et 687 l'ont été sur la rive gauche.

Six anguilles marquées ont été conservées à titre de témoin durant toute la durée de l'expérience (50 jours) en 1997. Sur ces poissons, les marques sont demeurées bien visibles et aucune mortalité ni signe particulier n'ont été notés; ceci corrobore les résultats obtenus par Sorensen (1983) dans le cas du cryomarquage.

4.1.2 Contrôle

La recherche des anguilles marquées a été effectuée chez un mareyeur (Pêcheries Gingras) qui se procure les anguilles dans l'ensemble de la zone de recapture. L'échantillonnage des lots observés était fait au hasard parmi les anguilles qui étaient apportées à l'usine (la recherche de marques se faisait par du personnel affecté uniquement à cette tâche); les anguilles étaient dénombrées individuellement sauf en deux occasions où le nombre d'anguilles a été évalué à partir du poids total du lot (2,6 % de l'échantillon total) en 1996.

Les anguilles marquées originaires des rivières du Sud-Ouest et Rimouski ainsi que celles capturées dans la pêcherie de l'estuaire ont été mesurées et pesées vivantes. La taille était évaluée à ± 5 mm et le poids à ± 5 g. Le facteur de condition a été déterminé par la formule $K = W/(L)^3$ avec W le poids en grammes et L la longueur totale en centimètres.

4.1.3 Méthodes d'estimation utilisées

4.1.3.1 Choix de la méthode

Parmi les méthodes permettant d'estimer les effectifs de populations en migration, nous avons retenu celle de Schaefer (1951) et celle mise au point par Darroch (1961) et complétée par Plante (1990). Ces méthodes reposent sur le marquage de lots de poissons à différents moments de la saison, en un point de l'itinéraire de migration et sur le contrôle d'autres lots de poissons à différents moments de la saison, un peu plus loin sur leur itinéraire. Les calculs ont été effectués avec le logiciel SPAS (Stratified

Population Analysis System) de Arnason *et al.* (1996) dont nous rappelons ici la terminologie, soit :

- c les strates de captures et r les strates de recaptures.
- n_i^c le nombre d'anguilles relâchées après marquage dans la strate i, $i=1,2,3,\dots,s$
- n_j^r la taille de l'échantillon de la strate de recapture j, $j=1,2,3,\dots,t$
- m_{ij} le nombre de n_i^c recapturées dans la strate j
- u_i^c le nombre de n_i^c qui ne sont pas retrouvées ($u_i^c = n_i^c - m_{ij}$)
- u_j^r le nombre d'animaux non marqués dans la strate de récupération j,
($u_j^r = n_j^r - m_{ij}$)
- N_i^c la taille de la population dans la strate de capture i
- N_j^r la taille de la population dans la strate de recapture
- $j p_i^c$ la probabilité qu'une anguille présente dans la strate de capture i soit capturée dans cette strate
- p_j^r la probabilité qu'une anguille présente dans la strate de recapture j soit capturée dans cette strate
- θ_j^i la probabilité qu'une anguille présente dans la strate i au moment de la capture soit présente dans la strate j au moment de la recapture.

Afin de pouvoir disposer d'un intervalle de confiance sur l'estimation du flux pour les deux saisons, nous avons également conduit une estimation par la méthode Petersen regroupée « Pooled Petersen » (Seber 1982; Arnason *et al.* 1996).

4.1.3.2 Constitution des strates

Les méthodes retenues nécessitent que les marquages et les contrôles soient regroupés en strates correspondant aux différentes phases de la dévalaison. Ce regroupement est nécessaire afin de s'affranchir de contraintes numériques et d'améliorer la précision des estimations, mais il n'existe pas de méthode générale permettant de constituer ces strates (Arnason 1973; Arnason *et al.* 1996).

En 1996, l'utilisation d'une même strate pour plusieurs jours nous a contraint à utiliser une stratification en neuf périodes d'une semaine. En 1997, nous avons choisi de nous baser sur l'image du phénomène que nous fournit la pêche commerciale de l'estuaire moyen (figure 3) pour distinguer, selon le cas, quatre ou dix périodes correspondant aux quartiles et aux déciles des captures (tableau 2).

Tableau 2. Strates temporelles retenues, dates de début et de fin. Pour 1996 découpage en semaines; pour 1997 découpage selon les quartiles et les déciles des captures commerciales dans l'estuaire moyen.

1996		1997	
Semaines		Quartiles	
P1	[5 septembre - 14 septembre]	P1	[1er septembre - 1er octobre]
P2	[15 – 21 septembre]	P2	[2 - 16 octobre]
P3	[22 – 28 septembre]	P3	[17 - 22 octobre]
P4	[29 septembre - 5 octobre]	P4	[23 octobre - 14 novembre]
P5	[6 – 12 octobre]	Déciles	
P6	[13 – 19 octobre]	P1	[1er - 29 septembre]
P7	[20 – 26 octobre]	P2	[30 septembre]
P8	[27 octobre - 2 novembre]	P3	[1er - 2 octobre]
P9	[3 – 10 novembre]	P4	[3 - 8 octobre]
		P5	[9 - 16 octobre]
		P6	[17 - 19 octobre]
		P7	[20 - 21 octobre]
		P8	[22 - 23 octobre]
		P9	[24 - 25 octobre]
		P10	[26 octobre - 14 novembre]

4.2 Résultats

4.2.1 Marquage et contrôle

Les anguilles ont été marquées et contrôlées selon la chronologie indiquée (figure 5). En 1996, au total, 1 047 anguilles ont été marquées lors de 34 occasions (min. 1, max. 144) et 28 714 (31,2 % des captures de la rive sud de l'estuaire) ont été contrôlées lors de 23 occasions (min. 128, max. 4 536). En 1997, au total, 1 433 anguilles ont été marquées lors de 37 occasions (min. 8, max. 58) et 51 558 (54,4 % des captures de la rive sud de l'estuaire) ont été contrôlées lors de 25 occasions (min. 46, max. 6 603).

Il a été nécessaire de regrouper certaines périodes pour lesquelles nous avons trop peu de recaptures. Pour les mêmes raisons, nous n'avons pas toujours considéré les dernières périodes de marquage. De ce fait, le nombre d'anguilles pris en compte dans les calculs (tableau 3) varie selon les stratifications.

4.2.1.1 Caractéristiques des anguilles marquées et contrôlées

En 1996, le poids moyen des anguilles est similaire dans la zone de marquage (1,40 kg, n=516) et dans la zone de recapture (1,30 kg, n=1081), à l'exception des anguilles provenant des rivières Rimouski et du Sud-Ouest (1,88 kg n=356). En 1997, les anguilles des zones de capture et de recapture avaient des caractéristiques de poids similaires (1,40 kg, n=1122 et 1,18 kg, n=470).

Les anguilles marquées provenant des rivières du Sud-Ouest et Rimouski avaient une taille et un poids moyens significativement plus élevés que celles des captures de la pêche commerciale (tableau 4).

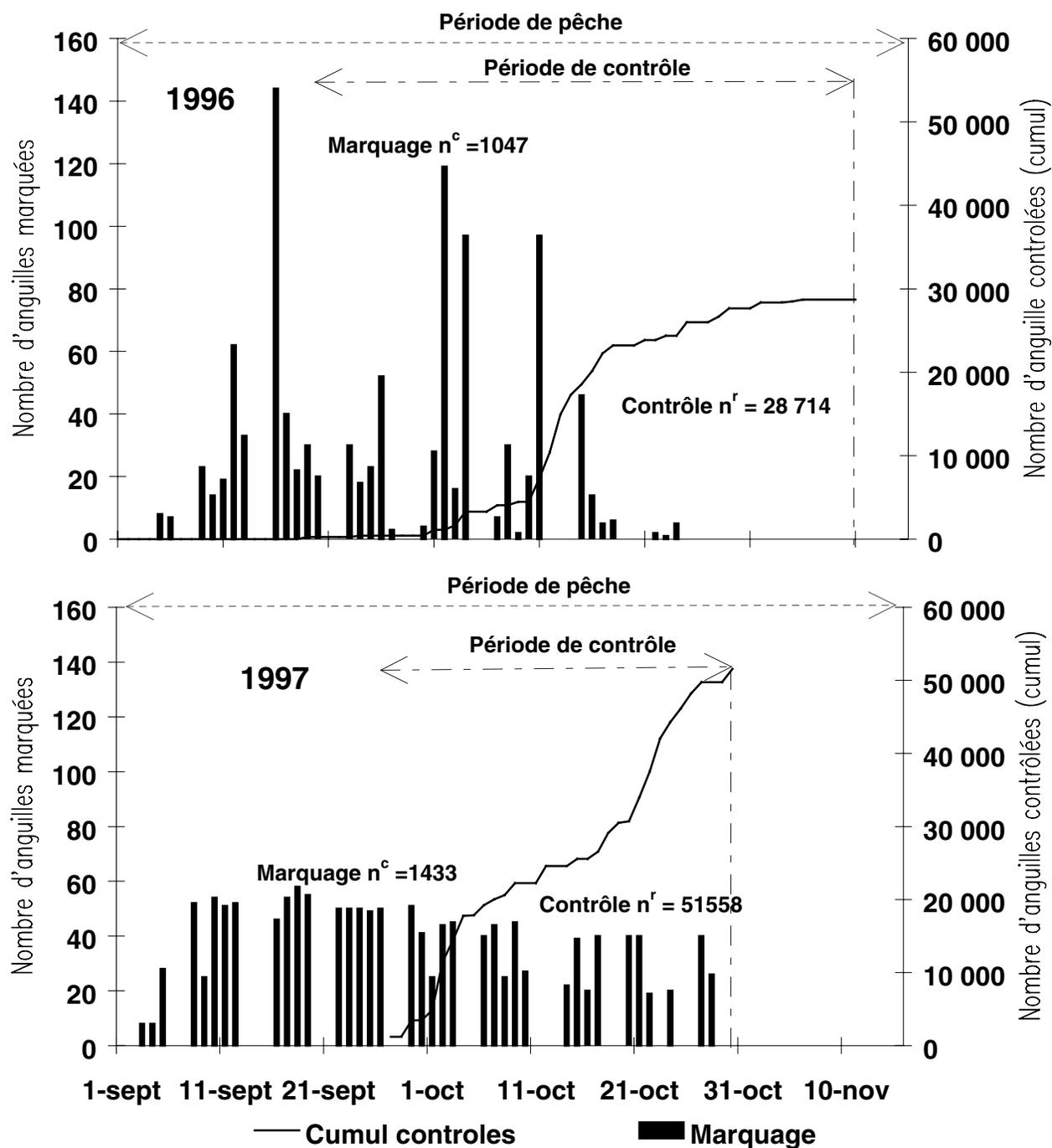


Figure 5. Déroulement du marquage et du contrôle (date et nombre d'anguilles) au cours des saisons 1996 et 1997.

Tableau 3. Nombre d'anguilles capturées dans les différentes strates de marquage n_i^c et de contrôle n_j^r et recapturées m_{ij} . Nombre total d'anguilles marquées et/ou contrôlées prises en compte.

		1996							
Strates	n_i^c	P2 - 3r	P4r	P5r	P6r	P7r	P8r	P9r	
P1c	166	3	4	4	0	1	0	0	
P2c	256		2	5	2	0	0	0	
P3c	126		1	4	5	1	1	0	
P4c	264			5	8	0	0	0	
P5c	156				9	1	2	0	
P6c	71					3	1	1	
Anguilles contrôlées n_j^r		417	2 863	7 127	12 804	2 792	2 344	367	

Stratification selon les semaines (1 039 anguilles marquées, 28 714 anguilles contrôlées)

		1997			
Strates	n_i^c	P1r	P2r	P3r	P4r
P1c	857	36	43	40	13
P2c	351		0	10	17
P3c	139			2	9
n_j^r		4 847	15 885	12 085	14 040

Stratification selon les quartiles (1 347 anguilles marquées, 46 857 anguilles contrôlées)

Strates	n_i^c	P1 - 2r	P3r	P4r	P5r	P6r	P7r	P8r	P9r	P10r
P1c	791	18	24	19	17	14	18	6	3	5
P2 - 3c	110			1	0	1	2	3	2	0
P4c	154				0	0	4	1	2	4
P5c	153					1	1	3	6	3
P6c	40						1	1	1	1
P7c	80							1	3	2
n_j^r		2 249	7 993	9 148	4 981	4 912	3 517	8 032	4 113	3 586

Stratification selon les déciles (1 328 anguilles marquées, 48 531 anguilles contrôlées)

Tableau 4. Longueur (cm) masse (g) et facteur K des anguilles marquées et capturées dans la pêcherie (écart type entre parenthèses).

Année	Site	Longueur (cm)	Masse (g)	K
1996	Rive gauche Québec		1399	
	Anguilles provenant des rivières du Sud-Ouest et Rimouski	95,9 (12,2)	1 920 (634)	0,21 (0,03)
	Pêcherie de l'estuaire moyen	85,4 (9,76)	1 297 (540)	0,20 (0,03)
1997	Rive gauche Québec		1 426 (557)	
	Rive droite Québec		1 396 (565)	
	Pêcherie de l'estuaire moyen	84,2 (9,10)	1 182 (470)	0,19 (0,03)

4.2.2 Trajectoires de dévalaison

Nous avons observé le taux de recapture des anguilles dans la pêcherie commerciale de l'estuaire moyen (rive droite) selon la rive où elles ont été relâchées à Québec. Les anguilles capturées puis relâchées en rive droite et en rive gauche ont eu des taux de recapture identiques de 5,8 % en 1996 et voisins de 12,1 % et de 11,5 % en 1997. Les lots d'anguilles provenant des rivières du Sud-Ouest et Rimouki en 1996, qui possédaient des caractéristiques différentes des autres anguilles et qui avaient subi des manipulations différentes, ont eu un taux de recapture similaire à celui des anguilles capturées à Québec, soit 5,4 %.

4.2.3 Vitesse de migration

En 1996, la vitesse moyenne de migration ne peut être estimée précisément pour toutes les anguilles puisqu'elles portaient une même marque pour une période de un à cinq jours. Nous avons alors pris comme jour de départ la journée où 50 % des anguilles avaient été marquées durant cette période. En 1997, la journée de marquage est connue précisément. La journée de recapture est habituellement connue. Lorsque l'achat concerne des anguilles qui avaient été capturées sur plus d'une journée, ce qui survient en début et en fin de saison, nous avons affecté les recaptures à la date médiane.

Les anguilles ont franchi les 140 km séparant la zone de capture de la zone de recapture à une vitesse moyenne de 12,8 km/jour ($s=10,2$) en 1996 et de 11,0 km/jour ($s=10,0$) en 1997. Les vitesses maximale et minimale de migration ont été identiques lors des deux années, soit 46,7 et 2,9 km/jour. Si on se base sur la vitesse des individus les plus rapides (non biaisée par la fenêtre d'observation), la vitesse de migration varie considérablement au cours du temps (figure 6) et les patrons sont différents pour les deux années. En 1996, la vitesse des anguilles est nettement plus élevée à partir de la fin du mois de septembre (quatrième période d'observation) et demeure ensuite relativement stable jusqu'à la fin du phénomène. En 1997, la vitesse augmente progressivement durant tout le mois de septembre, puis ralentit significativement à la toute fin du mois de septembre avant d'augmenter à nouveau progressivement durant le mois d'octobre.

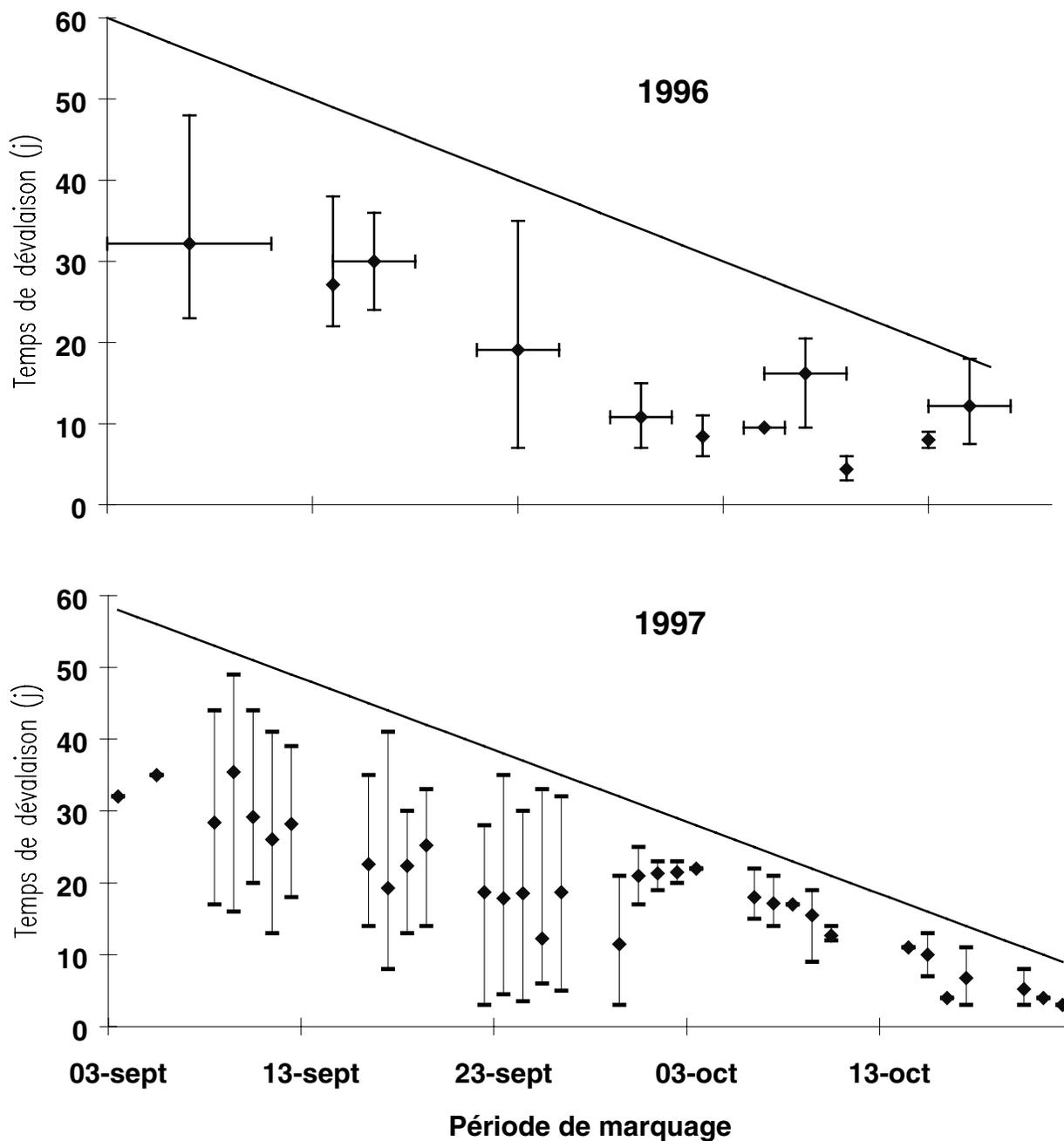


Figure 6. Vitesse de migration en 1996 et 1997 entre la zone de marquage et la zone de recapture. Le losange indique la vitesse moyenne, l'extrémité des barres verticales indique les vitesses minimum et maximum et la barre horizontale la période considérée. La ligne diagonale représente le nombre de jours durant lesquels nous pouvions détecter une anguille marquée (avant la fin de la période de contrôle).

4.2.4 Estimation des effectifs, saison de migration 1996

Le test du Khi^2 ne permet pas de rejeter l'hypothèse du mélange complet des anguilles dans les strates de recapture indépendamment de leur strate de marquage ($p=0,19$), ni d'une répartition en égale proportion des anguilles marquées dans les strates de capture ($p=0,41$); cela signifie que l'on est dans les conditions d'application de l'ensemble des méthodes que nous avons retenues.

La méthode Darroch-Plante donne une estimation $\hat{N} = 502\ 059$ (erreur standard 277 254). Les deux tests d'ajustement suggérés par Plante (1990) G^2 ($p= 0,8$) et Khi^2 ($p= 0,8$) indiquent un bon ajustement du modèle théorique sous-tendant le calcul à la distribution des données (tableau 5).

Tableau 5. Estimation du nombre d'anguilles par strates de marquage selon la méthode de Darroch - Plante \hat{N}_i^c . À droite en italique, les valeurs de m_{ij} et u_j^r prédites par le modèle pour les strates de contrôle.

1996									
	\hat{N}_i^c	S.E \hat{N}_i	m_{ij}						
			<i>p2-3r</i>	<i>p4r</i>	<i>P5r</i>	<i>p6r</i>	<i>p7r</i>	<i>p8r</i>	<i>p9r</i>
p1c	23 264	13 418	<i>2,98</i>	<i>4,02</i>	<i>3,99</i>	<i>0,00</i>	<i>1,02</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
p2c	234 037	357 384	<i>0,00</i>	<i>2,07</i>	<i>4,90</i>	<i>2,03</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
p3c	50 006	258 142	<i>0,00</i>	<i>1,02</i>	<i>3,96</i>	<i>5,03</i>	<i>1,05</i>	<i>0,95</i>	<i>0,00</i>
p4c	27 268	185 360	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>4,99</i>	<i>8,01</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>
p5c	139 147	137 266	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>9,11</i>	<i>1,10</i>	<i>1,78</i>	<i>0,00</i>
p6c	28 334	27 698	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>0,00</i>	<i>3,13</i>	<i>0,95</i>	<i>0,92</i>
	u_j^r		<i>414,02</i>	<i>2 855,78</i>	<i>7 109,33</i>	<i>12 779,69</i>	<i>2 785,59</i>	<i>2 340,51</i>	<i>366,07</i>

Avec le même jeu de données, la méthode de Schaefer amène à une estimation du flux $\hat{N} = 470\ 585$ (tableau 6). La méthode de Petersen estime le flux $\hat{N} = 466\ 617$ avec un intervalle de confiance ($\alpha= 0,05$) de [372 051 - 596 150].

Tableau 6. Estimation du nombre d'anguilles par strates de marquage (\hat{N}_i^c) et de recapture (\hat{N}_j^r) selon la méthode de Schaefer et probabilités de captures (\hat{p}_j^r).

1996								
	\hat{N}_i^c	p2-3r	p4r	p5r	p6r	p7r	p8r	p9r
p1c	56 745	5 768	22 631	21 908	0	6 437	0	0
p2c	109 930		23 267	56 312	30 350	0	0	0
p3c	59 971		4 294	16 629	28 008	4 886	6 153	0
p4c	126 877			40 203	86 673	0	0	0
p5c	83 704				62 419	6 049	15 236	0
p6c	33 355					19 823	8 321	5 211
\hat{N}_j^r		5 768	50 193	135 054	207 451	37 195	29 710	5 211
\hat{p}_j^r		0,0723	0,057	0,0528	0,0617	0,0751	0,0789	0,0704

4.2.5 Estimation des effectifs, saison de migration 1997

Quelle que soit la stratification, le test du Chi^2 permet de rejeter les hypothèses « nulle » selon lesquelles il y aurait un mélange total entre les strates (quartiles $p=0,00$; déciles $p=0,01$) ou égalité des proportions entre les strates de captures et de contrôles (quartiles $p=0,10$; déciles $p=0,00$). Ceci indique notamment que le regroupement des strates peut être problématique.

4.2.5.1 Stratification selon les quartiles

La méthode de Schaefer donne une estimation $\hat{N} = 381\ 927$ anguilles argentées. Leur distribution dans le temps est indiquée dans le tableau 7. La méthode Petersen regroupée fournit, quant à elle, une estimation $\hat{N} = 369\ 382$, les bornes de l'intervalle de confiance ($\alpha=0,05$) étant de [322 331 - 426 055].

Tableau 7. Stratification selon les quartiles et estimations produites par la méthode de Schaefer.

	1997				
	N_i^c	P1r	P2r	P3r	P4r
P1c	225 340	31 468	103 132	60 354	30 384
P2c	109 772			30 212	79 560
P3c	46 815			5 873	40 941
N_j^r		31 468	103 132	96 440	150 886
p_j^r		0,1540	0,1540	0,1253	0,0931

4.2.5.2 Stratification selon les déciles

La méthode de Schaefer donne une estimation $\hat{N} = 382\ 476$ anguilles argentées. Leur distribution dans le temps est indiquée dans le tableau 8. La méthode Petersen regroupée fournit, quant à elle, une estimation de $\hat{N} = 381\ 650$ ($v = 27\ 299$) les bornes de l'intervalle de confiance ($\alpha = 0,05$) sont de [332 780 - 440 576].

Tableau 8. Stratification selon les déciles et estimations produites par la méthode de Schaefer.

	1997									
	N_i^c	P1-2r	P3r	P4r	P5r	P6r	P7r	P8r	P9r	P10r
P1m	228 244	14 346	50 987	55 437	31 773	27 417	15 531	20 494	4 630	7 625
P2-3m	38 197			5 590		3 752	3 306	19 633	5 914	
P4m	35 233						7 575	7 496	6 774	13 387
P5m	46 091					3 355	1 478	17 555	15 864	7 837
P6m	11 517						1 352	5 354	2 419	2 390
P7m	23 192							7 139	9 677	6 375
N_j^r		15 293	54 352	64 686	33 870	36 333	30 269	79 027	45 585	38 119
p_j^r		0,1568	0,1568	0,1499	0,1568	0,1423	0,1203	0,1034	0,0908	0,0953

Le tableau 9 résume l'ensemble des estimations effectuées. En 1996, les trois estimations (Darroch, Schaefer et Petersen regroupés) sont similaires et dans l'intervalle de confiance de l'estimation. En 1997, les deux estimations sont également similaires quelles que soient la stratification et la méthode utilisées. Les intervalles de confiance

des estimateurs se chevauchent; il n'y a pas de différence significative entre le nombre d'anguilles ayant transité dans le Saint-Laurent en 1996 et 1997.

Tableau 9. Résumé des estimations d'effectifs pour 1996 et 1997 selon les stratifications effectuées et les méthodes utilisées.

	1996	1997	
		(quartiles)	(déciles)
Petersen regroupé	466 617	369 382	381 650
i.c.	[372 051-596 150]	[322 331-426 055]	[332 780-440 576]
Schaefer	470 585	381 927	382 476
Darroch – Plante	502 059	-	-

4.2.6 *Évolution du phénomène*

La méthode de Schaefer permet d'appréhender la cinétique du phénomène entre les deux sites. Au-delà du décalage temporel évident, les images obtenues pour les deux sites sont différentes. En 1996, le phénomène apparaît bimodal à Québec et unimodal dans l'estuaire moyen (figure 7). Cette modification de l'allure du phénomène entre les deux sites permet d'imaginer que le passage de Québec à l'estuaire moyen ne se fait pas de façon passive. En 1997, la dévalaison apparaît très régulière à Québec avec juste deux pics de faibles amplitudes alors que dans l'estuaire moyen, le phénomène est nettement bimodal (figure 7).

4.2.7 *Comparaison avec les captures*

Afin de juger de l'estimation obtenue et de l'image du phénomène, nous avons confronté les quantités d'anguilles transitant par strates avec le nombre d'anguilles capturées dans les mêmes strates, au même endroit. Bien que l'allure de la dévalaison soit unimodale en 1996 et bimodale en 1997, l'évolution temporelle des captures lors de ces deux années est similaire à celle du flux transitant (figure 8). En 1996, les images ne coïncident pas exactement; le maximum est observé lors de la période 4 dans les captures et lors de la période 5, dans le flux. Il est possible que ce léger décalage puisse provenir de la stratification retenue (1 strate par semaine). En 1997, les deux images du phénomène coïncident; les pics d'abondance sont situés au même moment, l'évolution d'une strate à l'autre est identique et les captures sont inférieures au nombre

d'anguilles transitant. Les pics sont simplement moins prononcés dans les captures que dans le flux transitant.

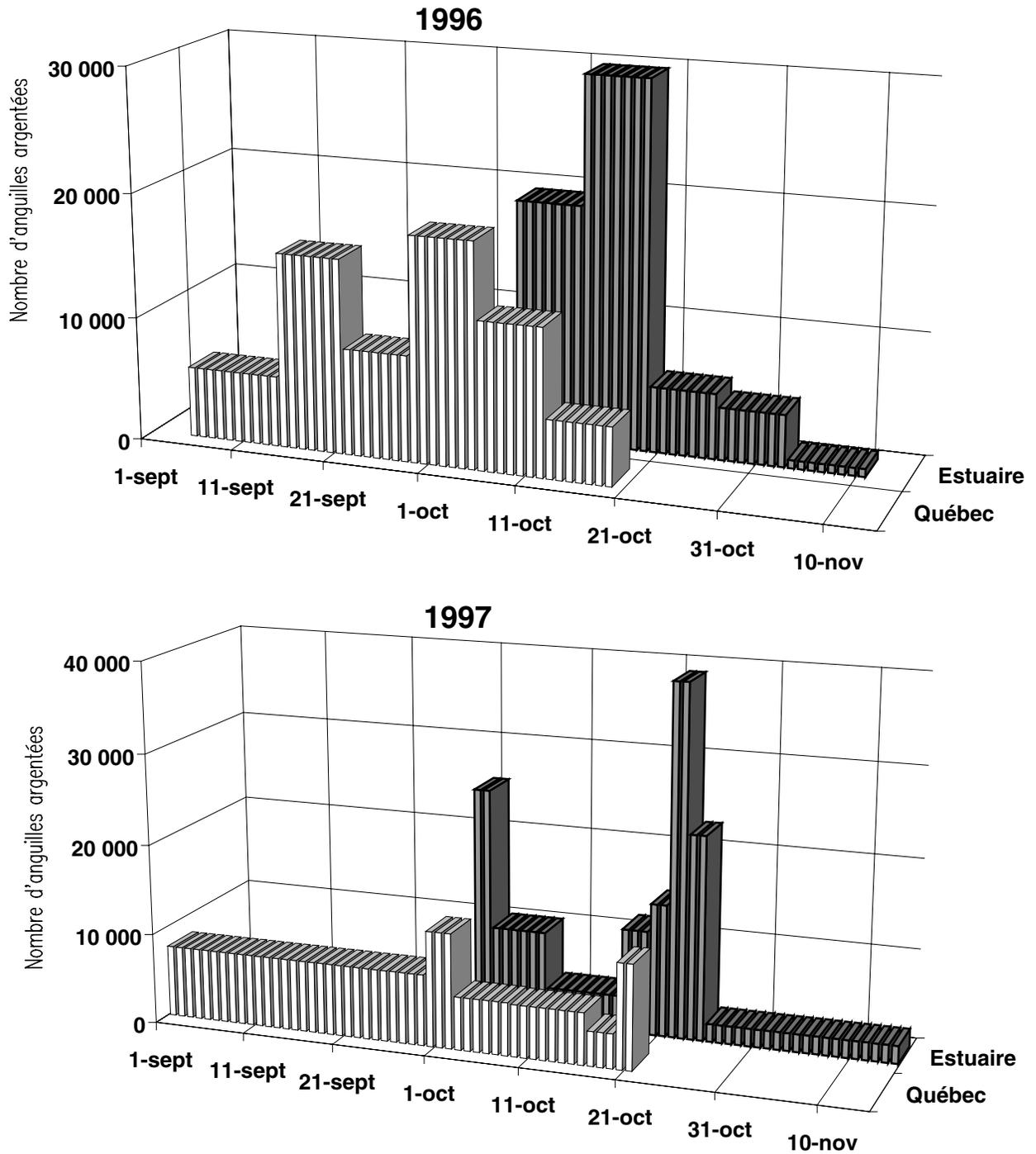


Figure 7. Images de la migration de dévalaison à Québec et dans l'estuaire moyen (méthode de Schaefer) en 1996 et 1997.

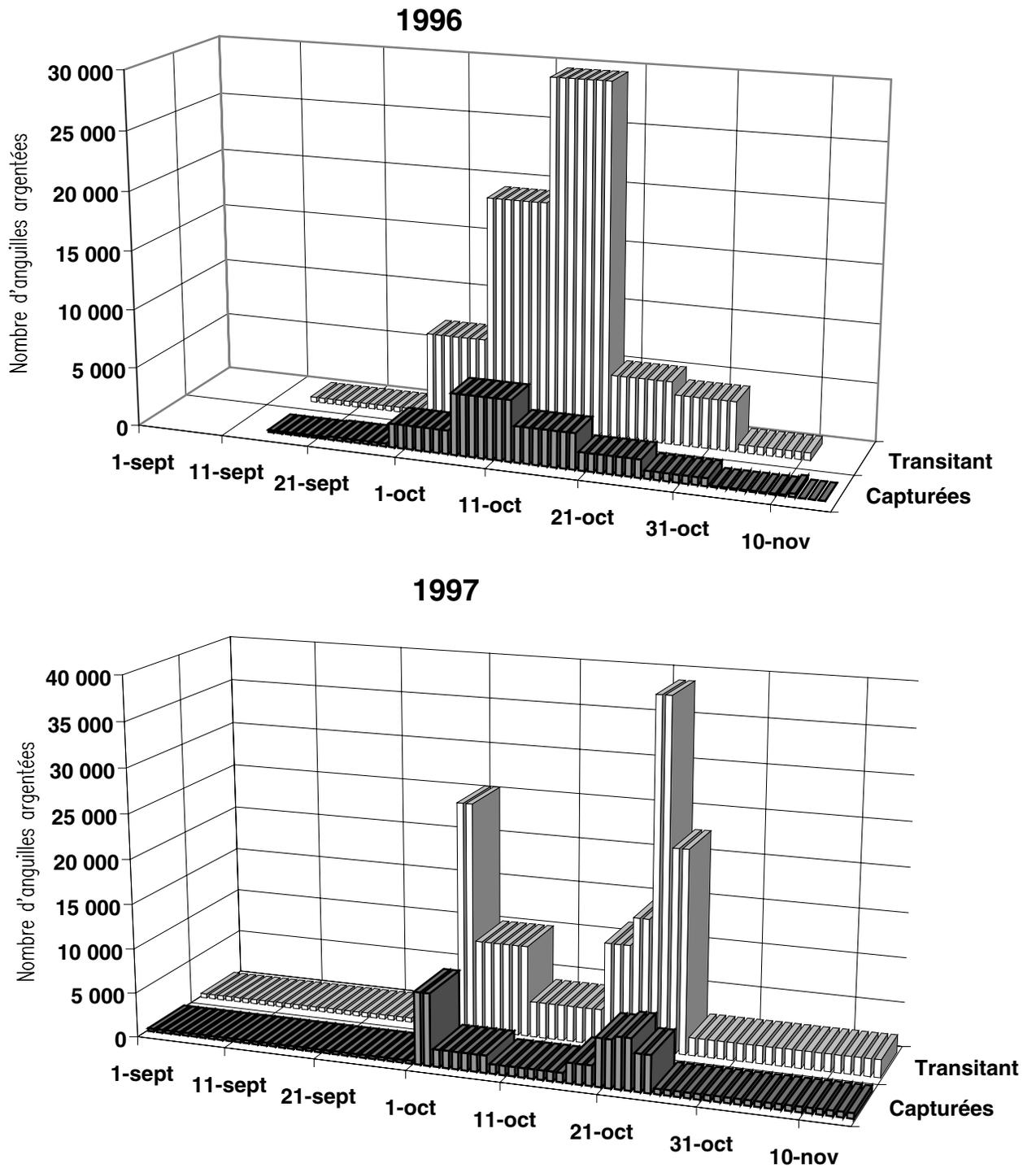


Figure 8. Comparaison des estimations des angouilles capturées et des angouilles transitant dans l'estuaire moyen pour une même période.

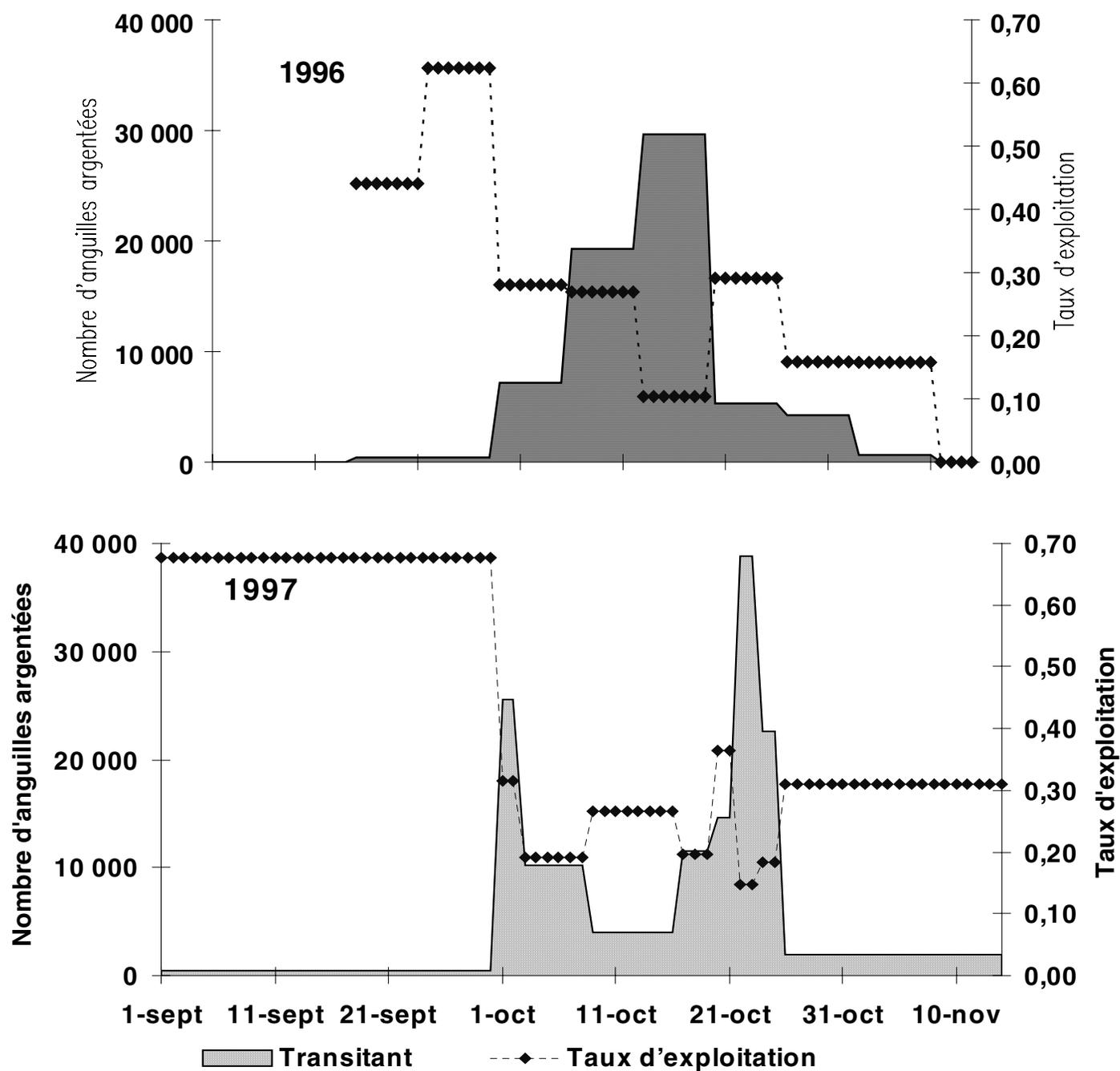


Figure 9. Évolution du taux d'exploitation au cours des saisons de dévalaison 1996 et 1997.

4.3 Discussion

4.3.1 Phénomène de dévalaison

Le taux de recapture des anguilles relâchées sur la rive droite est identique à celui des anguilles relâchées sur la rive gauche; il y a donc un mélange parfait des anguilles entre Québec et l'estuaire moyen. Cela ne signifie pas pour autant que l'essentiel de la dévalaison se fasse le long de la rive droite.

Les vitesses moyennes estimées à 12,8 et 10,2 km/j sont faibles et même inférieures à la vitesse de l'écoulement des eaux dans le Saint-Laurent. En zone marine, Martinkowitz (1961 *in* Tesch, 1979) obtient des vitesses équivalentes aux nôtres et constate également une augmentation entre le début (5-8 km/j) et la fin de la saison (10-15 km/j). D'autres auteurs, par contre, aboutissent à des vitesses de migration marine beaucoup plus élevées, au moins 44 km/j pour la plupart des anguilles (Tesch, 1979), de 26 km/j à 62 km/j (Westerberg, 1975 *in* Tesch, 1979), ce qui est voisin des vitesses maximales observées dans notre cas avec 46,7 km/j.

Pour les deux années considérées, la vitesse de dévalaison se situe dans les mêmes gammes de valeurs et montre une augmentation entre le début et la fin de la période de migration. En 1996, l'augmentation de la vitesse est relativement régulière alors qu'en 1997, elle est interrompue au milieu de la saison et reprend par la suite progressivement. Dans les deux cas, on remarque que les anguilles marquées au tout début de la dévalaison peuvent être recapturées quasiment à tout moment de la saison. Ces évolutions peuvent être mises en parallèle avec l'allure du phénomène dans l'estuaire aval (unimodale en 1996 et bimodale en 1997). Il existe plusieurs limites à nos interprétations : il subsiste une imprécision sur certaines dates de recapture en début et fin de saison, périodes où il arrive que les pêcheurs accumulent les captures pendant plusieurs jours avant le passage du mareyeur. En 1996, nous n'avons pas toujours eu accès à la date précise de marquage; pour les deux années, les anguilles marquées au début de la saison peuvent potentiellement être recapturées durant une période plus longue que celles marquées à la fin, ce qui nous contraint de n'utiliser que les vitesses maximales de migration.

Dans la zone de recapture, il a été démontré que les anguilles qui arrivent à la fin de la période de migration proviennent des zones fortement contaminées et possèdent un taux de malformation plus élevé (Couillard *et al.* 1997). Deux hypothèses avaient été formulées pour expliquer ce phénomène, soit que ces anguilles éprouvaient des difficultés de locomotion qui réduisaient leur vitesse de déplacement, soit qu'elles arrivaient plus tard à cause de la plus grande distance qu'elles avaient dû parcourir avant d'atteindre la zone de pêche. Nos observations appuient la seconde hypothèse puisque la vitesse de migration des anguilles est plus élevée vers la fin de la période de migration.

4.3.2 Estimations par marquage-recapture

Ce travail montre tout d'abord qu'il est possible de quantifier un flux de dévalaison d'anguilles argentées dans un grand bassin versant en procédant par marquage et recapture. Plusieurs méthodes prenant en compte la stratification des populations ont servi à estimer les effectifs de saumons adultes (*Oncorhynchus nerka*) en migration anadrome (Schaefer, 1951) ou de smolts (*Salmo salar* ou *O. nerka*) en dévalaison (Plante 1990; Dempson and Stansbury 1991; MacDonald and Smith 1980), mais elles n'avaient encore jamais été utilisées pour des anguilles. La cinétique de dévalaison des anguilles s'avère très différente de celle des smolts et il est possible que cela rende les estimations plus difficiles.

4.3.2.1 Méthodes d'estimation employées

La méthode de Schaefer est historiquement la première permettant la prise en compte des populations stratifiées. Chapman et Junge *in* Ricker (1980) considèrent qu'elle requiert, comme celle de Petersen, que le marquage ou le contrôle soit effectué sans biais. Ces deux méthodes ne sont pas biaisées si les probabilités de captures dans les strates de marquage ou dans les strates de contrôle sont constantes et les probabilités de captures et de recaptures ne sont pas corrélées, ce qui est le cas en 1996 mais pas en 1997. La méthode de Schaefer a, de plus, le grand avantage, par rapport à la méthode de Petersen, de donner des estimations pour les différentes strates au lieu de marquage et au lieu de contrôle, ceci permettant des interprétations écologiques comme halieutique. La méthode de Schaefer a donné naissance à d'autres méthodes

(estimation de Darroch, méthodes des moindres carrés de Plante) qui permettent théoriquement une meilleure prise en compte de la variation de la cinétique du phénomène (Arnason *et al.*, 1996).

Dans notre cas, la méthode de Darroch-Plante (DP) a fourni une estimation pour la saison 1996, mais l'intervalle de confiance est trop important pour qu'il soit précis. Pour 1997 quelle que soit la stratification utilisée, DP n'a pas pu fournir de résultats acceptables (probabilité de captures négatives ou impossibilité de former l'estimateur); on peut supposer que la bi-modalité du phénomène et la relative lenteur de la dévalaison des premières anguilles sont à l'origine de cette impossibilité.

Selon le critère de Robson et Regier (1964), le nombre de poissons marqués et contrôlés permet une estimation non biaisée par la méthode de Petersen. En effet, le produit du nombre de poissons marqués par le nombre de poissons contrôlés est très nettement supérieur à l'estimation de l'effectif. En 1996, le rapport est de 64 fois (30 063 558 vs 466 617) et en 1997, de 184 fois (73 882 614 vs 400 388).

4.3.2.2 Respect des postulats liés à l'estimation par marquage-recapture

4.3.2.2.1 Échantillonnage

Les anguilles échantillonnées à la capture et lors des contrôles sont représentatives de la population en dévalaison. Ce type de pêche avec des engins passifs à poste fixe est indépendant du comportement du pêcheur et nous pouvons donc considérer que les captures reflètent l'allure générale de la dévalaison des anguilles argentées dans ce secteur. Les captures très faibles des premières et dernières semaines de pêche indiquent qu'à ces moments-là, la dévalaison est encore marginale à ce niveau du bassin versant et donc que nous n'avons manqué ni le début ni la fin du phénomène.

Les poissons ont été choisis de manière aléatoire; la gamme des tailles et des poids est conforme à ce qu'on rencontre dans la littérature (Desjardins *et al* 1983 ; Couillard *et al.*, 1997). L'utilisation d'un piège total sur la rivière Rimouski (1996) exclut la possibilité de biais liés à une capturabilité différente d'une fraction de la population, comme suggéré par Cone *et al.* (1988). Nos estimations concernent uniquement les femelles et on ne

peut donc pas exclure que les mâles, même s'ils sont en très faible proportion, dévalent selon d'autres modalités.

Les anguilles marquées étaient en dévalaison et la poursuivaient après avoir été relâchées. Le type d'engin de capture utilisé ne prend quasiment que des anguilles en dévalaison et les individus capturés en avaient toutes les caractéristiques morphologiques externes. De plus, une seule anguille a été recapturée dans la zone de marquage alors que dans le travail de Bartel et Kosior (1991) concernant l'ensemble de l'écophase fluviale des *A. anguilla* de la Vistule, les recaptures ont été effectuées à 84 % sur le lieu même du marquage.

Absence de pertes et/ou de gains entre le marquage et la ou les recaptures. Pour la conduite des estimations, la population est considérée comme close au sens de Seber (1982); il ne peut y avoir ni entrée de nouvelles anguilles ni sortie entre le secteur de marquage et celui de recapture. Les rivières qui se jettent entre ces deux secteurs sont considérées comme ayant actuellement des contributions négligeables. Des travaux basés sur la discrimination de stocks d'anguilles en fonction de la présence de Mirex indiquaient qu'au-delà de 74% des anguilles argentées du Saint Laurent étaient originaires du lac Ontario (Dutil *et al.*, 1985) ou tout au moins du cours principal du fleuve Saint Laurent (Desjardins *et al.*, 1983; Castonguay *et al.*, 1989) et donc de l'amont de la zone de mesure. À l'exception d'une petite exploitation sur la rive gauche dans la partie amont de l'estuaire moyen, il n'y a pas de pêche entre les deux secteurs et sur la brève période de dévalaison, on considère que la mortalité naturelle est négligeable.

Les animaux marqués sont sensés se mélanger de façon parfaite au reste de la population que l'on souhaite estimer, ou du moins reprendre exactement la place qu'ils occupaient dans la population avant le marquage. Le taux de recaptures identiques observé pour les anguilles de la rive gauche, celles de la rive droite et celles provenant des rivières Rimouski et du Sud-Ouest, indique que le mélange des anguilles se fait bien entre leur point de relâcher et la zone de recapture. Ceci est d'autant plus remarquable pour les anguilles des rivières du Sud-Ouest et Rimouski puisque ces anguilles étaient de tailles supérieures aux autres et avaient subi des manipulations différentes.

4.3.2.2.2 Stratification effectuée

Au sein de chaque strate, les probabilités de captures sont identiques, les dates constituant une strate de marquage ou de contrôle devant présenter des caractéristiques identiques et notamment la même probabilité de capture ou de recapture (Shwarz *et al.* 1993; Schwarz and Dempson 1994). Dans notre cas, le mieux que nous puissions faire est de nous baser sur l'image du phénomène visualisé par la pêcherie. Les strates issues du découpage selon les déciles sont d'amplitudes temporelles inégales mais elles ont l'avantage de regrouper fortement les échantillons correspondant à des périodes de faible migration (au début ou à la fin du phénomène) et de bien individualiser les échantillons correspondant au moment du maximum de migration. Les probabilités de recaptures dans les strates de contrôles sont peu variables en 1996 [0,053-0,079] mais en 1997, la plus grande étendue [0,093-0,154] et les valeurs plus faibles en fin de saison peuvent provenir au moins en partie d'un échantillonnage plus faible à ce moment-là.

4.3.2.2.3 Marquage

Les marques sont sensées rester sur l'animal durant toute la durée de l'expérience et pouvoir être détectées. Des anguilles conservées à titre de témoin ont certifié de la pérennité du thermomarquage sur la période d'étude. Ce type de marque est réputé pour avoir une bonne lisibilité à moyen terme (Mc Keown 1984; Moring 1990). Une méthode voisine (thermomarquage à froid sur les flancs), utilisée sur le même stade de *A. rostrata*, a conclu à une très bonne lisibilité de la marque pendant au moins six mois (Sorensen *et al.*, 1983). Nous ne souhaitons toutefois pas que les marques soient très visibles (risque de biais de la part des pêcheurs) et il s'avère qu'à l'usine, lorsque les anguilles sont mortes, ces marques « ressortent » et sont faciles à détecter.

Le marquage ne doit pas entraîner de mortalité supplémentaire, ni modifier le comportement migratoire à long terme. Les anguilles marquées et conservées à titre de témoins ont survécu durant la durée de l'opération. Lors de leur expérimentation, Sorensen *et al.* (1983) concluaient également à l'absence de mortalités liées au

marquage. La taille et la position ventrale de la marque excluent qu'elle puisse attirer l'attention des prédateurs, notamment des bélugas (*Delphinapterus leucas*).

La probabilité de capture d'un poisson marqué est identique à celle d'un poisson non marqué. Le thermomarquage ne crée pas de possibilité d'accrochage dans les engins et malgré des différences dans les protocoles de marquages (avec ou sans anesthésie), les taux de recaptures identiques des anguilles provenant du Saint-Laurent ou des rivières du Sud-Ouest et Rimouski indiquent un effet négligeable du stress lié aux manipulations.

4.3.3 Estimations

Pour les deux saisons considérées, les estimations sont similaires et les écarts entre les différentes méthodes sont minimes.

En l'absence d'études qui puissent nous indiquer la production d'anguilles attendue pour la superficie d'un bassin de drainage comparable au Saint-Laurent ou d'estimations de flux dans d'autres bassins versants, il est difficile de juger de la valeur de ces chiffres. Si on se réfère aux propos de Bertin (1951) pour qui, concernant *Anguilla anguilla*, « l'exode des anguilles argentées se chiffre certainement par centaines de millions ou par milliards d'individus », on constate que les effectifs qui ont quitté le bassin du Saint-Laurent en 1996 et 1997, soit environ 400 000 anguilles, se situent à un niveau nettement plus faible. Au cours des deux dernières décennies, le nombre estimé de captures d'anguilles argentées en aval de Québec a culminé en 1980 et 1990 avec respectivement 335 000 et 239 600 captures. Il est donc vraisemblable que le nombre d'anguilles en migration au cours de ces années était nettement plus élevé que ce que nous avons mesuré.

Par rapport à la surface du bassin versant (en amont de Québec), cela constitue, au bilan, une contribution au stock de géniteurs en 1996 de 0,237 anguille/km² et en 1997, de 0,180 anguille/km².

La diminution importante de recrutement observée pour le lac Ontario (Marcogliese 1997), les mortalités importantes causées par le passage dans certaines turbines

hydroélectriques (principalement aux barrages Moses-Saunders et Beauharnois, entre les Grands Lacs et le Saint-Laurent fluvial) et l'augmentation de l'exploitation des anguilles sédentaires dans la partie aval pourraient constituer des causes de cette diminution récente.

4.3.4 Impacts de la pêche

Une recommandation essentielle qui émerge pour les deux espèces d'anguille atlantique est de veiller à laisser repartir « suffisamment de géniteurs » pour que l'espèce se maintienne. On ne dispose pas encore de critères permettant d'apprécier le nombre de géniteurs nécessaires, mais il semble que de façon prioritaire on doive chercher à estimer les effectifs d'anguilles argentées quittant les principaux bassins versants. Cela permet notamment de relativiser l'impact de la pêche d'anguille argentée qui constitue le dernier obstacle anthropique connu avant la reproduction.

Les captures d'anguilles en dévalaison sont réputées être partiellement dépendantes des conditions météorologiques, notamment du vent. Les taux d'exploitation observés, soit 25 % en 1996 et 20 % en 1997, sont assez voisins pour ces deux années qui ont été des années de conditions moyennes pour la pêche, selon l'appréciation empirique des pêcheurs. Compte tenu du peu de modifications dans les engins utilisés et dans l'effort de pêche déployé au cours des trente dernières années, on peut supposer qu'il s'agit là d'un taux d'exploitation moyen pour cette population d'anguille argentée, pour cette période. Contrairement à ce qui est observé sur le nord de l'Europe (Deelder 1980), nous n'avons trouvé aucune liaison entre le positionnement des maximums de captures et le cycle des marées.

5. CONCLUSION

À notre connaissance, il s'agit de la première quantification d'un flux de dévalaison d'anguilles argentées dans un grand fleuve. Ces résultats montrent qu'il est possible, dans des conditions particulières, de pratiquer des estimations d'effectifs en milieu ouvert pour les anguilles en dévalaison et d'acquérir des informations sur leur comportement. Ces informations permettent d'établir des cibles d'échappement qui devraient être à la base de la gestion des stocks de l'espèce dans les années à venir.

Le type de marquage utilisé est satisfaisant pour ce genre de travail; il génère la même sorte de marque qu'un thermomarkage à froid, mais est plus simple à réaliser. L'utilisation d'un type de marque par jour, plutôt qu'un par semaine, améliore la précision des interprétations écologiques et l'estimation des effectifs en permettant une stratification *a posteriori*, ce qui s'avère très utile pour ce type de phénomène dont la chronologie et la cinétique peuvent varier fortement d'une année à l'autre.

La méthode Darroch Plante, mise au point essentiellement pour la quantification des flux de salmonidés en migration, est applicable dans tous les cas mais ne fournit des résultats que seulement dans certains cas. Par contre, les méthodes de Schaeffer et Pooled Petersen ne sont applicables que moyennant un certain nombre de préalable mais fournissent alors toujours une estimation. Dans les cas que nous avons testés, ces différentes méthodes aboutissent à des estimations extrêmement voisines. Il faut souligner la richesse d'interprétation écologique que permet la méthode de Schaefer en fournissant des estimations à la fois dans les strates de capture et de contrôle.

Après la pêcherie, le nombre d'anguilles argentées qui quittent l'estuaire fluvial est de l'ordre de 300 000 auquel on doit ajouter la contribution des rivières de la Côte Nord du Saint-Laurent, de la Gaspésie et de l'île d'Anticosti.

L'estimation de la population d'anguilles argentées quittant le bassin versant du Saint-Laurent s'avère une information très importante, surtout dans la situation actuelle où le statut de l'espèce fait l'objet de préoccupations. Si on devait réitérer cette expérience au cours des prochaines années, il serait pertinent de prendre en considération les éléments suivants :

1. Échantillonnage quotidien proportionnel aux captures, du début à la fin des captures à Québec.
2. Marquage et contrôle en tenant compte des recommandations de Robson et Regier (1964).
3. Marquage: thermomarquage à chaud avec une marque par jour; poissons relâchés le jour même; lieu de relâcher indifférent, sur une rive ou l'autre.
4. Contrôle jusqu'à la toute fin du phénomène (15 novembre).
5. Suivi des captures à Québec et dans l'estuaire moyen pour cadrer la stratification.
6. Estimation par les méthodes de Darroch-Plante Schaefer ou Pooled Petersen, logiciel SPAS.

REMERCIEMENTS

Nous remercions l'ensemble de l'équipe technique ayant participé au projet : Bruno Baillargeon, Simon Blais, Denise Deschamps, Denis Fournier, Jean-François Gaudreault, Conrad Groleau, Denis Labonté, Louis Mathieu, Pierre Pettigrew, Gontrand Pouliot, David Routhier et Rémi Tardif.

Nous exprimons notre gratitude à l'ensemble des pêcheurs commerciaux qui ont servi de pêcheurs-repères et à F. Gingras (Pêcheries Gingras) pour sa collaboration. Louise Buisson (FAPAQ-Québec), Ginette Morel (FAPAQ-Montréal), Chantal Gardes (Cemagref Bordeaux) et Pedro Nilo (UQAM) nous ont aidés dans la recherche documentaire et Marc Minglebier (FAPAQ - Québec) pour l'utilisation des données hydrologiques.

Ce travail a été partiellement réalisé dans le cadre d'une convention de collaboration franco-québécoise entre le Cemagref et le Conseil supérieur de la pêche, d'une part et la Société de la faune et des parcs du Québec, d'autre part.

LISTE DES RÉFÉRENCES

- ACFM. 1998. Extract of the report of the « Advisory Committee on Fishery Management », n°11, may 1998.
- ADAM, G. 1997. L'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L., 1758) : dynamique de la sous-population du lac de Grand Lieu en relation avec les facteurs environnementaux et anthropiques. Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, Toulouse III. 337 p.
- ARNASON, A. N. 1972. Parameters estimates from mark recapture experiments on two populations subject to migration and death. *Researches in population ecology* 13, 97-113.
- ARNASON, A. N. 1973. The estimation of population size, migration rates and survival in a stratified population. *Researches in population ecology*, 15, 1-8.
- ARNASON, A. N., C. W. KIRBY., C. J. SCHWARZ and J. R. IRVINE. 1996. Computer analysis of data from stratified mark-recovery experiments for estimation of salmon escapements and other populations. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 0000, 36 p.
- AVISE, J. C., G. SHELFMAN, N. C. SAUNDERS and L. S. HALES. 1986. Mitochondrial DNA differentiation in North Atlantic eels : population genetics consequences of an unusual life history pattern. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 83, 4350-4354.
- AVISE, J. C., W. S. NELSON, J. ARNOLD, R. K. KOEHN, G. C. WILLIAMS, and THORNSTEINSSON, V. 1990. The evolutionary genetic status of Icelandic eels, *Evolution* 44, 1254-1262.
- AXELSEN, F. 1997. The status of the American eel (*Anguilla rostrata*) stock in Quebec. In Peterson R.H. (ed.) *The American Eel in Eastern Canada : Stock status and management Strategies*. Proceedings of Eel workshop, January 13-14, 1997, Quebec City, (QC). Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences n° 2196. 121-133.
- BARTEL, R. and M. KOSIOR. 1991. Migrations of tagged eels released into the lower Vistula and to the Gulf of Gdansk. *Pol. Arch. Hydrobiol.*, 38 (1) 105-113.
- BEGON. M. 1979. Investigating animal abundance. Edward Arnold Ed., 95 p.
- CARON, F. et G. VERREAULT. 1997. Estimation du stock d'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) argentée en dévalaison dans le bas St-Laurent et son taux d'exploitation en 1996. In *The American eel in eastern Canada : stock status and management Strategies*, proceedings of eel workshop, January 13-14, 1997, Quebec city, Qc. Canadian Technical report of Fisheries and Aquatic sciences n° 2196, 174 p. 94-105

- CASSELMAN, J. M., L. A. MARCOGLIESE, and P. V. HODSON. 1997. Recruitment index for the Upper St. Lawrence River and lake Ontario Eel stock : a re-examination of eel passage at the R.H. saunders hydroelectric generating station at Cornwall, Ontario, 1974-1995. *In* Peterson R.H. (ed.) *The American Eel in eastern Canada : Stock status and management Strategies*. Proceedings of Eel workshop, January 13-14, 1997, Quebec City, (Qc). Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences n 2196. 161-169.
- CASTELNAUD, G., D. GUEREAULT, Y. DESAUNAY et P. ELIE. 1994. Bilan de l'exploitation de la civelle en France. *Bull. Fr. Pêche et Pisc.* 335 : 263-287.
- CASTONGUAY, M., J. D. DUTIL and C. DESJARDINS. 1989. Distinction between American eels (*Anguilla rostrata*) of different geographic origins on the basis of their organochlorine contaminant levels. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46 (5) 836-843.
- CASTONGUAY, M., P. V. HODSON, C. M. COUILLARD, M. J. ECKERSLEY, J. D. DUTIL and G. VERREAULT. 1994 a. Why is recruitment of the American eel, *Anguilla rostrata*, declining in the St. Lawrence river and Gulf? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 51 (2), 479-488.
- CASTONGUAY, M., P. V. HODSON, C. MORIARTY, K. F. DRINKWATER and B. M. JESSOP. 1994 b. Is there a role of ocean environment in American and European eel decline ? *Fisheries Oceanography* 3 (3), 197-203.
- CENTRE SAINT-LAURENT. 1996. Rapport-synthèse sur l'état du Saint-Laurent. Volume 1: *L'écosystème du Saint-Laurent*. Environnement Canada - région du Québec, Conservation de l'environnement - et Éditions MultiMondes, Montréal. Coll. « BILAN Saint-Laurent ».
- COCHRAN, G. 1953. Sampling techniques. John Wiley and Sons. New York, 330 p.
- COUILLARD, C. M., P. V. HODSON and M. CASTONGUAY. 1997. Correlations between pathological changes and chemical contamination in American eels, *Anguilla rostrata*, from the St. Lawrence River. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 54(8): 1916-1927
- DARROCH, J. N. 1961. The two sample capture-recapture census when tagging and sampling are stratified. *Biometrika*, 48, 241-260.
- DEELDER, C. L.. 1984. Synopsis of biological data on the eel *Anguilla anguilla* (Linnaeus, 1758). FAO Fisheries Synopsis 80 (rev. 1). 73 p
- DEMPSON, J. B. and D. E. STANSBURY. 1991. Using partial counting fences and a two sample stratified design for mark recapture estimation of an Atlantic salmon smolt population. *North American Journal of Fisheries Management*. 11 (1), 27-37.
- DESJARDINS, C., J. D. DUTIL et R. GELINAS. 1983 a. Contamination de l'anguille (*Anguilla rostrata*) du bassin du fleuve Saint-Laurent par le mirex. Rapport canadien à l'industrie sur les sciences halieutiques et aquatiques 141, 51p.
- DESJARDINS, C., J. D. DUTIL, and R. GÉLINAS. 1983 b. Contamination d'anguille (*Anguilla rostrata*) du bassin du fleuve Saint-Laurent par les biphényles polychlorés. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 144: 55 p.

- DESROCHERS, D. Suivi de la migration de l'anguille d'Amérique (*Anguilla Rostrata*) au Complexe Beauharnois 1994. Milieu et Associés inc. pour le Service milieu naturel, Vice-présidence environnement, Hydro-Québec 107 p. ; 1995 ; 9360-1859.
- DUTIL, J. D., M. BESNER and S. D. McCORMICK. 1987. Osmoregulatory and ionoregulatory changes and associated mortalities during the transition of maturing American eels to a marine environment. *Am. Fish. Soc. Symp.* 1: 175-190.
- DUTIL, J. D., B. LÉGARÉ et C. DESJARDINS. 1985. Discrimination d'un stock de poisson, l'anguille (*Anguilla rostrata*), basée sur la présence d'un produit chimique de synthèse, le mirex. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 42 (3), 455-458.
- EIFAC/ICES (European Inland Fisheries Advisory Committee/International Council for the Exploration of the Seas). In press. Report of the tenth session of the Joint Working Group on Eel.
- FRONTIER, S. coord. 1983. Stratégies d'échantillonnage en écologie. Masson /Les presses de l'Université Laval, Québec, 494 p.
- KARLSSON, L., R. BARTEL, F. W. TESCH. 1988. Migration and orientation of tagged silver eels released in the southern Baltic. ICES C. M. 1988/M : 12 Ana. Cat. Fish Comm.
- KNIGHT, L. 1997. The Newfoundland eel fishery : a fisheries management perspective past and present. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2196 : 34-46.
- LARINIER, M. et J. DARTIGUELONGUE. 1989. La circulation des poissons migrateurs : le transit à travers les turbines des installations hydroélectriques. *Bull. Fr. Pêche Pisc.* numéro spécial 312-313, 90 p.
- Mac DONALD, P. D .M. and D. H. SMITH. 1980. Mark recapture estimation of salmon smolt run. *Biometrics*, 36, 401-417.
- Mac FARLANE, G. A., R. S. WYDOSKI and E.D. PRINCE. 1990. Historical review of the development of external tags and marks. *Am. Fish. Soc. Symposium* (7), 9-29.
- Mac KEOWN, B. A.. 1984. Fish Migration. Croom Helm and Timber Press pub. 224 p.
- MARCOGLIESE, L. A., J. M. CASSELMAN and P. V. HODSON (1997, January) Dramatic declines in recruitment of American Eel (*Anguilla rostrata*) entering Lake Ontario Long-term trends, causes and effects. Plenary presentation at the 3rd National EMAN Meeting.
- MERONA, DE B. et M. BITTENCOURT. 1991. La pêche artisanale en Amazonie centrale : approches et difficultés. *In* La Recherche face à la pêche artisanale, Symp. Int. ORSTOM-IFREMER, Montpellier 1989, J. R. Durand, J. Lemoalle et J. Weber (eds.). 433-442.
- MORING, J. R. 1990. Marking and tagging intertidal fishes: review of techniques. *Am. Fish. Soc. Symposium.* (7), 109-116.

- MOUSSETTE, M. 1979. La pêche sur le Saint-Laurent. Répertoire des méthodes et des engins de capture. Boréal Express, 212 p.
- NIELSEN, J. 1988. Marking and tagging methods applied to eel (*Anguilla anguilla*). EIFAC Occ. paper: 1-24.
- PAULIN, L. 1997. Eel fishery in the Gulf fisheries sector, Maritimes Region. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2196 : 25-33.
- PETERSON, R. H., (Editor). 1997. The American eel in eastern Canada : stock status and management strategies. Proceedings of Eel Management Workshop, January 13-14. 1997, Quebec City, QC. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2196 : v + 174 p.
- PLANTE, N. 1990. Estimation de la taille d'une population animale à l'aide d'un modèle de capture-recapture avec stratification. Thèse M.Sc., Université Laval, Québec.
- RICKER, W. E. 1980. Calcul et interprétation des statistiques biologiques des populations de poissons. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 191F, 409 p.
- RITTER, J. A., M. STANFIELD and R. H., PETERSON. 1997. Final discussion. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2196 : 170-174.
- ROBSON, D. S. and H. A., REGIER. 1964. Sample size in Petersen mark-recaptures experiments. *Transactions of the American Fisheries Society*, 93, (3) 215-226.
- ROBSON, D. S. and G. R. SPANGLER. 1978. Estimation of population abundance and survival. *in Ecology of Freshwater Fish Production* S. D. Gerking Ed., Blackwell Scientific Publ. 26-51.
- ROBSON, D. S. 1969. Mark-recapture methods of population estimation. *in* N.L. Johnson and H. Smith ed. *New developments in survey sampling*. Wiley-Interscience, New York, 120-146.
- ROBITAILLE, J. A. et S. TREMBLAY. 1994. Problématique de l'anguille d'Amérique (*Anguilla rostrata*) dans le réseau du Saint-Laurent. Ministère de l'environnement et de la faune. Direction de la faune et des habitats. Rapp. tech. IX, 70 p.
- ROCHARD, E. 1992. Mise au point d'une méthode de suivi de l'abondance des amphihalins dans le système fluvio-estuarien de la Gironde, application à l'étude écobioologique de l'esturgeon *Acipenser sturio*. Thèse de doctorat, Université de Rennes I/Cemagref, 315 p.
- ROSSI, R. and A. CANNAS. 1984. Eel fishing in a hypersaline lagoon of southern Sardinia. *Fisheries Research*, 2, 285-298.
- SCHAEFFER, M. B. 1951. Estimation of the size of animal populations by marking experiments. *U.S. Fish and Wildl. Serv. Fish. Bull.*, 69, 191-203.
- SCHWARZ, C. J. and J. B. DEMPSON. 1994. Mark recapture estimation of a salmon smolt population. *Biometrics* 50, 98-108.
- SCHWARZ, C. J., J. F. SHWEIGERT and A. N. ARNASON. 1993. Estimating migration rates using tag recovery data. *Biometrics*. 49, 177-193.

- SEBER, G. A. F. 1965. A note on the multiple - recapture census. *Biometrika*, 52 (1, 2), 249-259.
- SEBER, G. A. F. 1982. The estimation of animal abundance and related parameters. 2nd ed., Charles Griffin, London, 654 p.
- SEBER, G. A. F. 1986. A review of estimating animal abundance. *Biometrics*, 42, 267-292.
- SORENSEN, P. W., M. BIANCHINI and H. E. WINN. 1983. Individually marking American eels by freeze branding. *Progressive Fish Culturist* 45, 62-63.
- STEVENS, G. 1997. Eel Fisheries Management : Scotia-Fundy, Maritimes Region. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2196 : 21-24.
- TESCH, F. W. 1979. Tracking of silver eels (*Anguilla anguilla* L.) in different shelf areas of the Northeast Atlantic Rapp. P.V. reun. Cons. Int. Explor. Mer, 174, 104-114.
- THERRIEN, J. et G. VERREAULT. 1998. Évaluation d'un dispositif de dévalaison et des populations d'anguilles en migrations dans la rivière Rimouski. Ministère de l'Environnement et de la Faune, direction régionale du Bas-Saint-Laurent, Service de l'aménagement et de l'exploitation de la faune et Groupe-conseil Genivar inc. viii + 37p.
- VLADYKOV, V. D. 1966. Remarks on the American eel (*Anguilla rostrata* LeSueur). Size of elvers entering streams; the relative abundance of adult males and females; and present economic importance of eels in North America. *Verh. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.* 16: 1007-1017.
- VOLLESTAD, L. A. and B. JONSSON, 1988. A 13 year study of the population dynamics and growth of the European eel *Anguilla anguilla* in a Norwegian river : evidence for density dependent mortality, and development of a model for predicting yield. *Journal of Animal Ecology*, 57, 983-997.