



## ÉVALUATION DU DOLLY VARDEN DE LA RIVIÈRE RAT, DANS LES TERRITOIRES DU NORD-OUEST 2009–2014



Dolly Varden (*Salvelinus malma*) de la rivière Rat : mâle en frai (haut), femelle en frai (milieu) et adulte non reproducteur « argenté » (bas). Photos : Colin Gallagher.

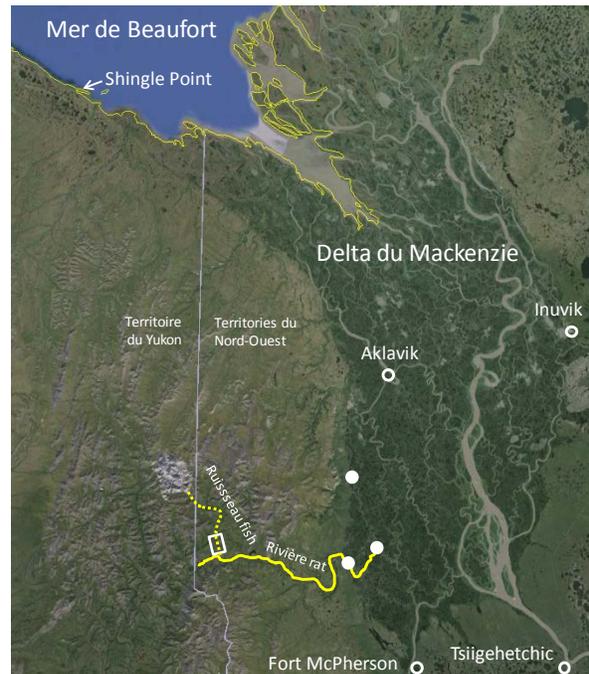


Figure 1. Données géographiques de la rivière Rat, dans les Territoires du Nord-Ouest, emplacements des activités de surveillance des prises (cercles pleins), et où la pêche à la senne a été menée dans le ruisseau Fish (encadré ouvert).

### Contexte :

Située dans la région visée par le règlement de la revendication des Gwich'in, la rivière Rat est fréquentée par le Dolly Varden anadrome (*Salvelinus malma malma*), qui est pêché par des bénéficiaires inuvialuits et des Gwich'in. La pêche du Dolly Varden dans la rivière Rat se déroule pendant l'été dans les zones d'alimentation le long de la côte (par les Inuvialuits) ainsi qu'au cours de la montaison dans le delta du Mackenzie (par les Gwich'in et les Inuvialuits). Les stocks de Dolly Varden font l'objet d'une cogestion en vertu d'un plan de gestion intégrée des pêches (PGIP) dont les signataires regroupent Pêches et Océans Canada (MPO), le Conseil des ressources renouvelables Gwich'in, le Comité mixte de gestion de la pêche et l'Agence Parcs Canada. Le groupe de travail sur la rivière Rat, l'organisme de cogestion qui formule des recommandations au sujet des niveaux de prélèvement dans les stocks de Dolly Varden dans la région désignée des Gwich'in, a soutenu la réalisation d'activités de recherche qui facilitent la mise en œuvre du PGIP, y compris des études visant à surveiller les niveaux de prélèvements et à évaluer l'état de la population.

Des études sur la population (p. ex., estimations de l'abondance, échantillonnage biologique et génétique), de même que les activités de surveillance des prises côtières permettent une évaluation complète de ce stock. Les données tirées des recherches menées sur la rivière Rat (1995 à 2014) et le long du littoral de la mer de Beaufort (2011 à 2014) ont été utilisées pour évaluer la population. L'avis

*scientifique sera utilisé pour éclairer les partenaires engagés dans la cogestion à propos de la situation des stocks de Dolly Varden de la rivière Rat et des niveaux actuels estimés de la récolte.*

## SOMMAIRE

- Des techniques de marquage et de recapture ont été utilisées pour estimer l'abondance du Dolly Varden de la rivière Rat. L'abondance estimée de la population de Dolly Varden ( $\geq 305$  à  $365$  mm) a augmenté, passant de  $5\,820$  en  $2010$  à  $11\,919$  en  $2013$ . Les estimations étaient fondées sur les recaptures réalisées au moyen de la pêche à la senne dans la zone de frai et d'hivernage à la fin du mois de septembre en  $2010$  et  $2013$ .
- Les données provenant de relevés sur la pêche communautaire ( $1972$  à  $2014$ ), de divers programmes d'échantillonnage ( $1971$  à  $1994$ ) et du programme de surveillance des prises de la rivière Rat ( $1995$  à  $2014$ ) ont été intégrées dans des modèles de population (modèles d'analyse de la réduction du stock stochastique fondée sur l'épuisement [ARSSE], de production excédentaire [MPE] et modèles statistiques des prises selon l'âge) pour estimer le rendement maximal soutenu (RMS) et les changements temporels dans l'abondance de la population.
- Les trois modèles ont prédit que la taille actuelle de la population était comprise entre  $10\,509$  et  $12\,205$  poissons environ pour la composante exploitable de la population ( $\geq 440$  mm) et ils ont recensé  $10\,128$  poissons pour tous les stades biologiques.
- Les modèles statistiques des prises selon l'âge, d'ARSSE et de production excédentaire ont généré des estimations du RMS avec la moyenne pondérée inversée entre les estimations fournissant une valeur (écart-type de  $\pm 1$  [ÉT]) de  $891$  ( $81$ ) poissons.
- Les données biologiques recueillies chaque année dans le cadre du programme de surveillance des prises de la rivière Rat et de la pêche à la senne dans la zone de frai et d'hivernage, entre  $2009$  et  $2014$ , ont révélé la présence d'un vaste éventail de tailles et ont démontré que la structure par longueur des adultes semblait relativement stable d'une année à l'autre.
- L'âge modal des poissons capturés variait entre  $5$  et  $7$  ans, chaque année, entre  $2009$  et  $2014$ , avec une proportion croissante chez les poissons plus âgés ( $\geq 8$  ans) au fil du temps, ce qui semble indiquer l'amélioration du taux de survie des adultes.
- Une proportion élevée de reproducteurs était observée d'une année à l'autre lorsque la pêche à la senne était pratiquée dans la zone de frai et d'hivernage (fourchette =  $38$  à  $81$  %). Les données biologiques dérivées des études de marquage et recapture indiquaient que les femelles frayaient plus souvent que les mâles durant des années consécutives.
- L'analyse génétique des échantillons de pêche de stocks mélangés prélevés le long du littoral de la mer de Beaufort entre  $2011$  et  $2014$  montre que les Dolly Varden de la rivière Rat sont principalement récoltés à Shingle Point, d'où proviennent  $5$  à  $29$  % des prises, selon les années.
- Les estimations de la taille effective de la population (nombre de reproductions effectives [ $N_E$ ]) effectuées à partir des données génétiques donnent à penser qu'il n'y a rien à craindre pour le moment sur le plan de la conservation de l'espèce.
- Depuis que la fermeture volontaire de la pêche de subsistance a pris fin en  $2009$ , les prises annuelles déclarées de Dolly Varden dans la rivière Rat ont été inférieures à  $400$  poissons. Entre  $2011$  et  $2014$ , le taux de récolte moyen était estimé à  $4,7$  %.

- Selon les données disponibles, la population est actuellement stable et exploitée de manière durable. La confiance à l'égard de l'évaluation augmente, étant donné que plusieurs sources de renseignements indépendantes ont fourni des tendances relativement similaires en ce qui concerne les indicateurs ou les conclusions concernant l'état du stock.

## INTRODUCTION

Le Dolly Varden anadrome de la rivière Rat est une importante ressource culturelle et de subsistance pour les Gwich'in et les Inuvialuits qui vivent dans les collectivités d'Aklavik et de Fort McPherson (Territoires du Nord-Ouest) (figure 1). Le cycle biologique des Dolly Varden anadromes résidant dans des cours d'eau veut que les poissons fraient dans le ruisseau Fish, un tributaire de la rivière Rat, et y passent l'hiver (figure 1). La population anadrome est exploitée dans une pêche de stocks mélangés durant l'été le long du littoral de la mer de Beaufort, principalement à Shingle Point (figure 1). De plus, le Dolly Varden est pêché pendant sa migration de retour à la fin de l'été ou à l'automne à Aklavik et dans le chenal Husky dans le delta du Mackenzie et dans les tronçons inférieurs de la rivière Rat (figure 1). Du fait des déclinés de l'abondance dans la rivière Big Fish et la rivière Rat et de l'étendue limitée d'habitat essentiel en eau douce, le Dolly Varden de la forme nordique a été inscrit comme espèce préoccupante par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC) en 2010. Parallèlement, un Plan de gestion intégrée des pêches (PGIP) a été élaboré pour orienter la cogestion des Dolly Varden anadromes dans l'ouest de l'Arctique au cours des cinq prochaines années (2010–2015). La mise en œuvre adéquate du PGIP et toute nouvelle évaluation réalisée par le COSEPAC exigent des études ponctuelles, notamment dans la rivière Rat.

## ÉVALUATION

Les examens ont porté sur ce qui suit : les estimations de l'abondance (marquage-recapture), les données concernant le nombre de prises par unité d'effort et des données biologiques, trois modèles de population (modèles d'analyse de la réduction du stock stochastique fondée sur l'épuisement [ARSSE], de production excédentaire et modèles statistiques de prises selon l'âge), l'analyse génétique des stocks mélangés et une estimation de la taille effective de la population (nombre de reproductions effectives [NE]). Les données annuelles biologiques et sur le nombre de prises par unité d'effort dépendantes de la pêche (longueur, poids, sexe ou maturité et otolithe pour l'estimation de l'âge) ont été recueillies pendant la montaison du Dolly Varden depuis 1995 par le programme de surveillance des prises de la rivière Rat à partir de trois lieux de pêche de subsistance traditionnels (Big Eddy dans le chenal Husky, l'embouchure de la rivière Rat et dans la rivière Rat à un emplacement nommé Destruction City) (Roux et al. 2012) (figure 1). Les observateurs postés à ces endroits entre la fin du mois de juillet et le début ou le milieu de septembre s'occupaient également de recueillir les données sur la récolte, de consigner les retours d'étiquettes, de prélever des échantillons de tissus pour l'analyse génétique et de consigner les conditions environnementales journalières. Un programme de pêche à la senne mené dans la zone de frai et d'hivernage du ruisseau Fish à la fin du mois de septembre (figure 1) (périodiquement depuis 1995 et chaque année depuis 2007) visait à effectuer un échantillonnage actif du Dolly Varden afin de recueillir des données biologiques indépendantes de la pêche (taille, état reproducteur, « reproducteur » ou « non-reproducteur » et le sexe si en condition de frai) et d'apposer des étiquettes en T (ou des étiquettes de recapture des années précédentes) pour une étude de marquage-recapture. Des données sur la récolte ont été recueillies dans le cadre du programme de surveillance des prises de la rivière Rat, de relevés sur la pêche communautaire (à Fort McPherson et Aklavik [Territoires du Nord-Ouest]) et au moyen d'une combinaison de déclarations des prises et d'analyse génétique de la

pêche de stocks mélangés du Dolly Varden pêché le long du littoral de la mer de Beaufort. De plus, les données provenant de relevés sur la pêche communautaire (1972 à 2014) et de divers programmes d'échantillonnage (1971 à 1994) ont été utilisées en combinaison avec les données du programme de surveillance des prises de la rivière Rat pour la modélisation de la population. Pour les besoins de la présente évaluation, on a mis l'accent sur les données recueillies entre 2009 et 2014.

### **Abondance de la population selon la méthode de marquage et recapture**

On a utilisé une méthode de marquage et recapture pour estimer l'abondance de la population. Des Dolly Varden ( $\geq 305$  à 365 mm) ont été capturés à l'aide d'une senne et marqués sur les lieux de frai et d'hivernage en 2009, 2010 et 2013. Les recaptures ont été réalisées l'année suivante dans le cadre du programme de surveillance des prises de la rivière Rat ou de la pêche à la senne. On a utilisé le modèle Petersen, avec une modification introduite par Chapman, pour estimer la taille de la population, avec un intervalle de confiance de 95 % calculé d'après l'hypothèse selon laquelle la probabilité de recapture suivait une distribution de Poisson. On s'est servi de l'approximation de Poisson, car le nombre de recaptures d'une année à l'autre était invariablement inférieur à 50, et le rapport entre le nombre de recaptures et le nombre de poissons marqués était inférieur à 0,1 (Seber 1982). Pour mieux se conformer aux hypothèses requises pour utiliser le modèle Petersen, on a effectué des corrections pour rendre compte du recrutement et des pertes d'étiquettes. Les étiquettes retournées du programme de surveillance des prises de la rivière Rat ont été utilisées pour estimer l'abondance afin d'assurer la cohérence avec les méthodes utilisées au cours des années précédentes.

Les estimations de l'abondance du Dolly Varden de la rivière Rat étaient les suivantes : 6 625 (IC de 95 % = 4 199 à 12 769) en 2009, 9 310 (IC de 95 % = 6 137 à 17 351) en 2010 et 14 891 (IC de 95 % = 9 091 à 32 052) en 2013 (figure 2). Les estimations fondées sur la recapture des poissons marqués provenant de la pêche à la senne dans les zones de frai et d'hivernage à la fin du mois de septembre étaient les suivantes : 5 792 (IC de 95 % = 4 494 à 9 612) en 2009, 5 820 (IC de 95 % = 3 286 à 14 403) en 2010 et 11 919 (IC de 95 % = 7 773 à 23 638) en 2013 (figure 2). Les estimations établies à l'aide des recaptures du programme de surveillance des prises de la rivière Rat pendant la montaison étaient plus élevées que les estimations produites à l'aide des recaptures de la pêche à la senne, même si les intervalles de confiance à 95 % étaient plus petits pour ces estimations fondées sur les recaptures de la pêche à la senne. Cependant, pour la plupart des années, les deux méthodes de recapture ont révélé des valeurs et des tendances temporelles relativement similaires, ce qui augmente le niveau de confiance des estimations de la population. Les estimations de l'abondance du programme de surveillance des prises de la rivière Rat ont varié, sans afficher de tendance, de 2007 à 2013, à des niveaux semblables à ceux des années 1995, 1997 et 2001, et elles étaient bien supérieures à la valeur la plus faible observée en 2004. Les deux méthodes ont indiqué une hausse de l'abondance entre 2010 et 2013.

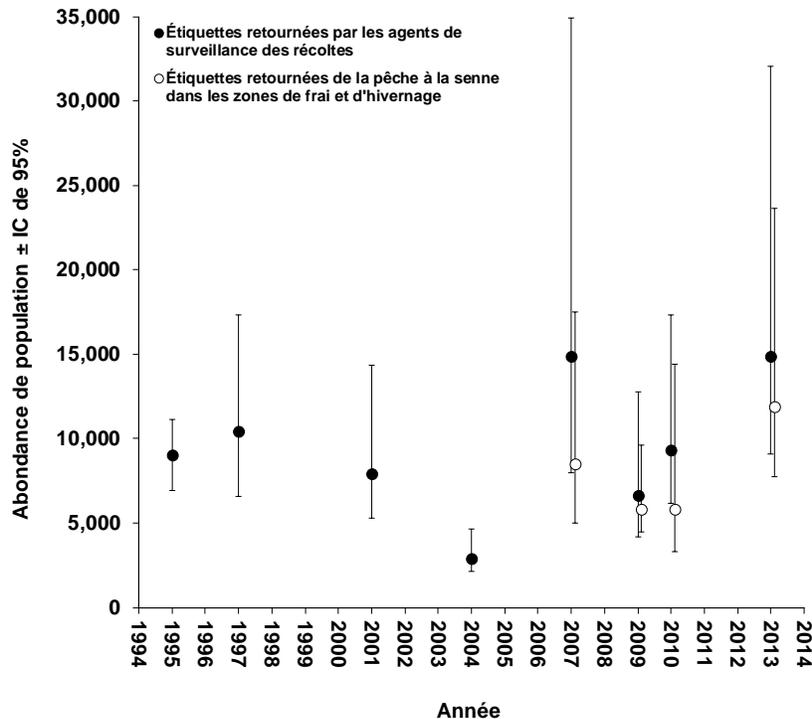


Figure 2. Estimations de l'abondance de la population de Dolly Varden ( $\geq 305$  à  $365$  mm) de la rivière Rat entre 1996 et 2013, issues des études de marquage et de recapture.

### Surveillance des prises

Les prises par unité d'effort médianes (CPUE) de Dolly Varden capturés à Big Eddy et dans l'embouchure de la rivière Rat (maillages combinés de 102 et 114 mm) variaient en décrivant une courbe sinusoïdale, avec des valeurs élevées à la fin des années 1990 et de 2011 à 2012, et des valeurs faibles de 2002 à 2006 et de 2013 à 2014 (figure 3). Le Dolly Varden mesurait généralement entre 350 et 550 mm (figure 4) et pesait entre 560 et 1 900 g. Depuis 1995, la longueur médiane varie en décrivant une courbe sinusoïdale, avec des valeurs faibles de 1995 à 1998 et de 2004 à 2009, et des valeurs relativement plus élevées de 1999 à 2003 et de 2010 à 2014 (figure 5). La proportion des tailles supérieures ou égales à 550 mm observée de 2010 à 2014, à l'exception de l'année 2012, est plus grande que celle observée entre 2003 et 2009 (figure 6). De plus, on constate une augmentation de la proportion parmi les plus grandes catégories de taille ( $\geq 600$  mm) depuis 2010, ce qui semble indiquer une survie accrue (figure 6). Les âges variaient entre 3 et 13 ans. La proportion de poissons plus âgés ( $\geq 8$  ans) a augmenté entre 2009 et 2014 (figure 7), ce qui se traduit par une réduction de la mortalité annuelle de 0,67 à 0,45. Depuis 1995, les non-reproducteurs représentaient habituellement 60 % des poissons échantillonnés pendant la montaison, tandis que les femelles reproductrices et les mâles reproducteurs de l'année en cours comptaient généralement pour moins de 20 % et de 5 %, respectivement (figure 8). La proportion de reproducteurs de l'année en cours dans le cadre du programme de surveillance des prises de 2009–2014 variait entre 9 % et 67 %.

### Pêche à la senne dans les zones de frai et d'hivernage

Les longueurs des Dolly Varden capturés au moyen de la pêche à la senne étaient principalement réparties entre 400 et 600 mm. Les longueurs des femelles en condition de frai variaient entre 325 mm et 685 mm et les femelles dont les longueurs étaient comprises entre

450 mm et 575 mm étaient particulièrement abondantes (figure 4). Les reproducteurs anadromes mâles étaient de plus grande taille, atteignant jusqu'à 730 mm de long; ils représentaient une plus grande proportion parmi les tailles les plus élevées ( $\geq 550$  mm). Les non-reproducteurs étaient principalement répartis parmi les tailles  $\leq 475$  mm, ce qui donne à penser que la plupart d'entre eux étaient des juvéniles, tandis que les plus grands poissons étaient probablement des adultes effectuant des pauses. La longueur médiane des femelles reproductrices était plus stable que celle des mâles reproducteurs et non-reproducteurs (figure 5), et une augmentation de la proportion d'individus de grande taille ( $\geq 550$  mm) a été observée en 2010 et au cours des années suivantes (figure 6). Les non-reproducteurs et les femelles reproductrices représentaient généralement entre 30 et 65 % de l'échantillon, respectivement, tandis que les mâles étaient considérablement plus petits ( $\sim \leq 10$  %) (figure 8). On a observé une prévalence plus élevée des reproducteurs de l'année en cours lors de la pêche à la senne par rapport au programme de surveillance des prises.

### Croissance et pontes multiples

La croissance des mâles était supérieure à celle des femelles, d'après la recapture de 71 femelles et de 19 mâles dans le cadre du programme de surveillance des prises de la rivière Rat et de la pêche à la senne (figure 9). D'après la croissance observée à partir des données sur la longueur selon l'âge du programme de surveillance des prises de la rivière Rat de 2009–2014, on a constaté que les taux de croissance annuels étaient plus élevés chez les mâles par rapport aux femelles et qu'ils présentaient une faible variation interannuelle.

Les activités de marquage et de recapture ont généralement fourni des données biologiques où l'état reproducteur d'un poisson était connu dans les deux cas. Le changement annuel de l'état reproducteur peut fournir des renseignements sur la prévalence du frai chaque année, de l'absence de frai chaque année ou sur un changement de l'état non reproducteur à l'état producteur (et inversement). D'après la recapture de 55 femelles et de 8 mâles (en condition de frai au moment du marquage l'année précédente), une proportion plus élevée de femelles (51 %) que de mâles (13 %) ont frayé durant des années consécutives.

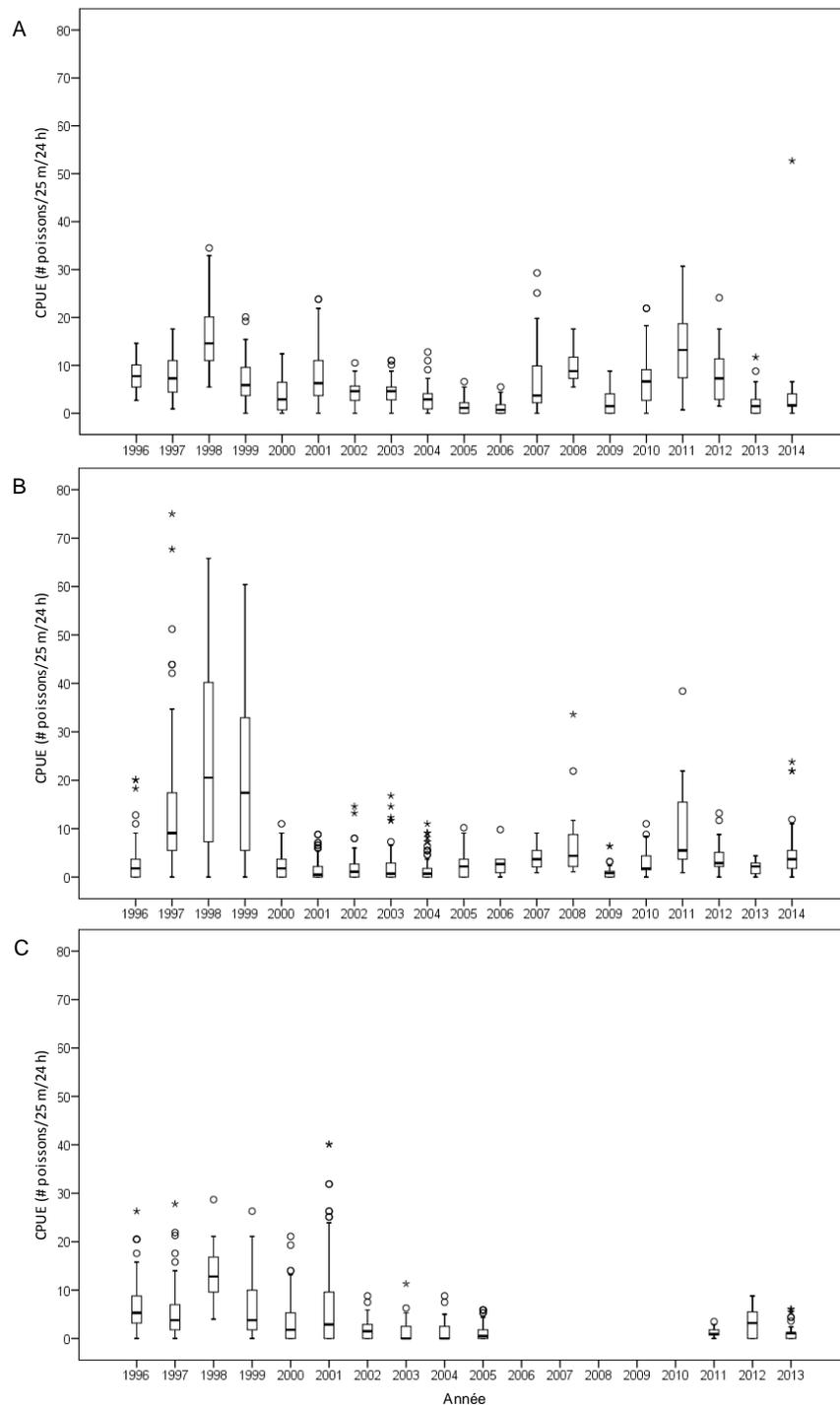


Figure 3. Nombre de prises par unité d'effort (médiane, quartiles et valeurs aberrantes [○, ★; valeurs supérieures ou égales à 1,5 et 3 fois l'intervalle interquartile, respectivement]) de Dolly Varden capturés dans des filets maillants de 102 et 114 mm dans le cadre du programme de surveillance des prises de la rivière Rat : A) à Big Eddy, B) à l'embouchure de la rivière Rat et C) dans la rivière Rat, à un emplacement nommé Destruction City. Remarque : L'une des valeurs aberrantes de 2011 pour l'embouchure de la rivière Rat indiquait un CPUE de 132 (non affiché). Les données sur les CPUE pour Destruction City en 2006–2010 ont été omises.

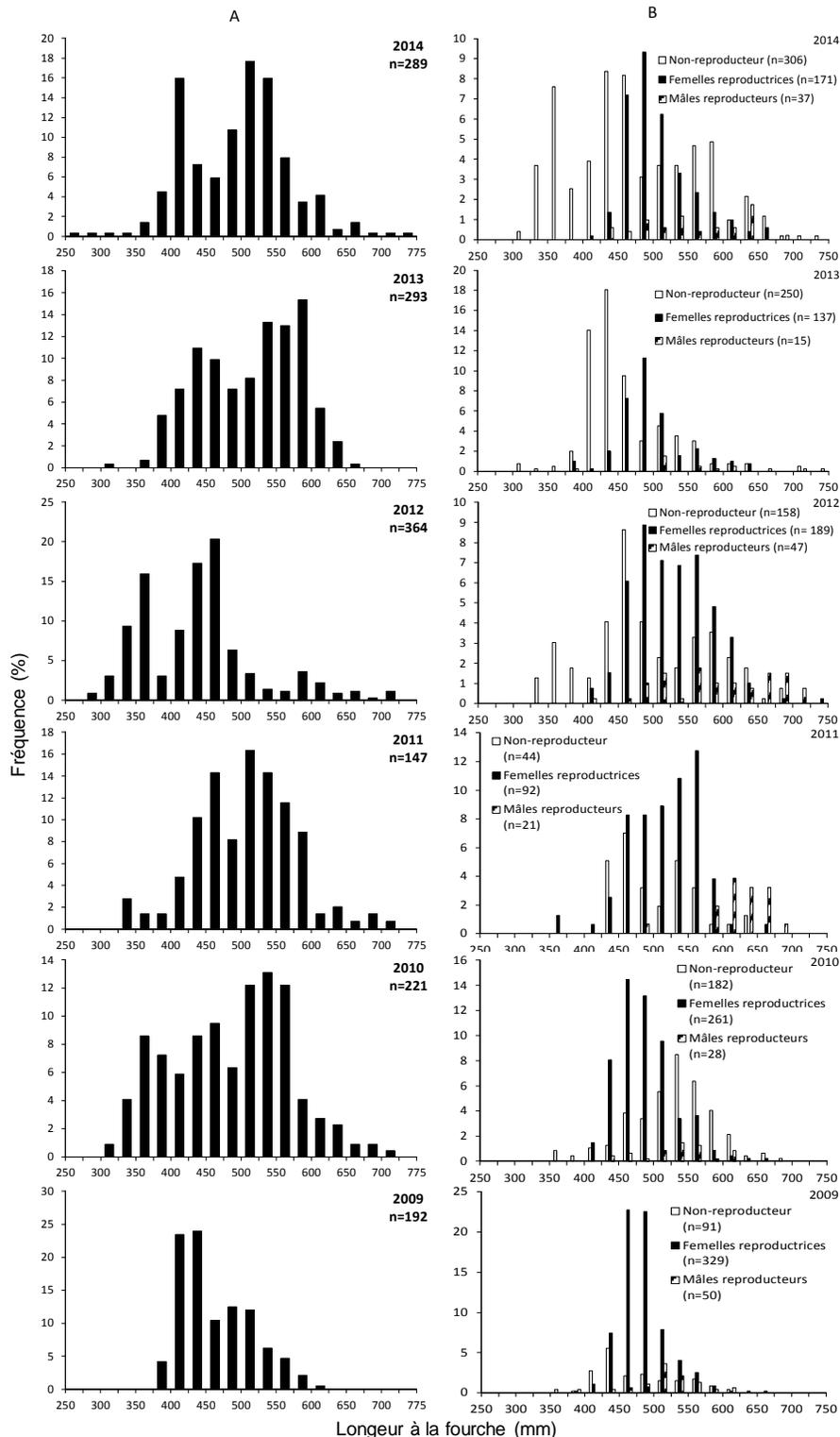


Figure 4. Répartition de la fréquence de longueur chez les Dolly Varden capturés entre 2009 et 2014 : A) dans le cadre du programme de surveillance des prises de la rivière Rat, et B) lors de la pêche à la senne dans les zones de frai et d'hivernage (identifiés comme étant des non-reproducteurs, des femelles reproductrices et des mâles reproducteurs).

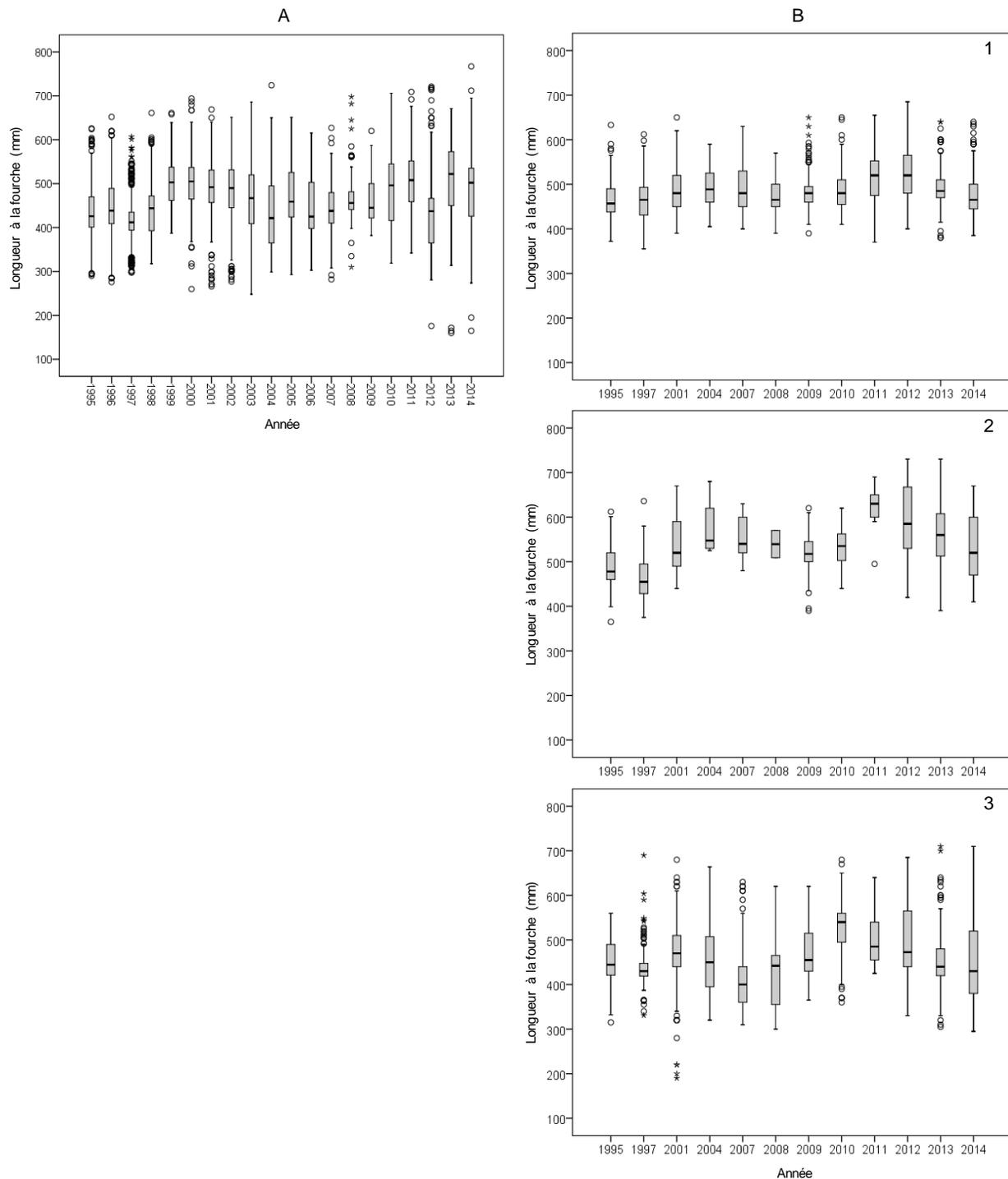


Figure 5. Longueur à la fourche (médiane, quartiles et valeurs aberrantes [○, ★; valeurs supérieures ou égales à 1,5 et 3 fois l'intervalle interquartile, respectivement]) des Dolly Varden entre 1995 et 2014 : A) capturés dans le cadre du programme de surveillance des prises de la rivière Rat, et B) capturés lors de la pêche à la senne dans les zones de frai et d'hivernage (identifiés comme étant : 1) des femelles reproductrices, 2) des mâles reproducteurs et 3) des non-reproducteurs).

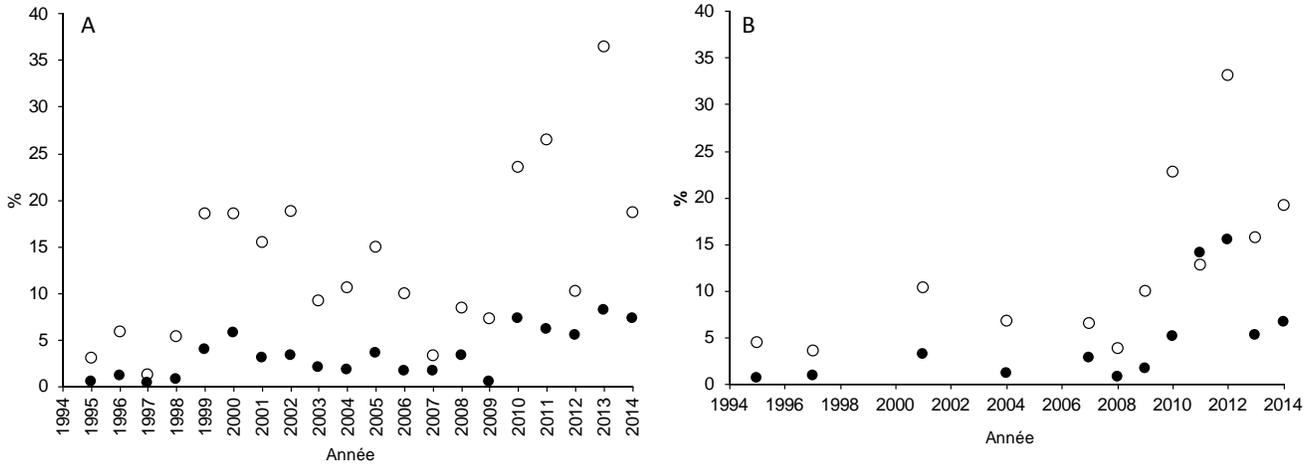


Figure 6. Proportion (%) des tailles  $\geq 550$  mm (○) et  $\geq 600$  mm (●) des Dolly Varden capturés entre 1995 et 2014 : A) dans le cadre du programme de surveillance des prises de la rivière Rat, et B) lors de la pêche à la senne dans les zones de frai et d'hivernage.

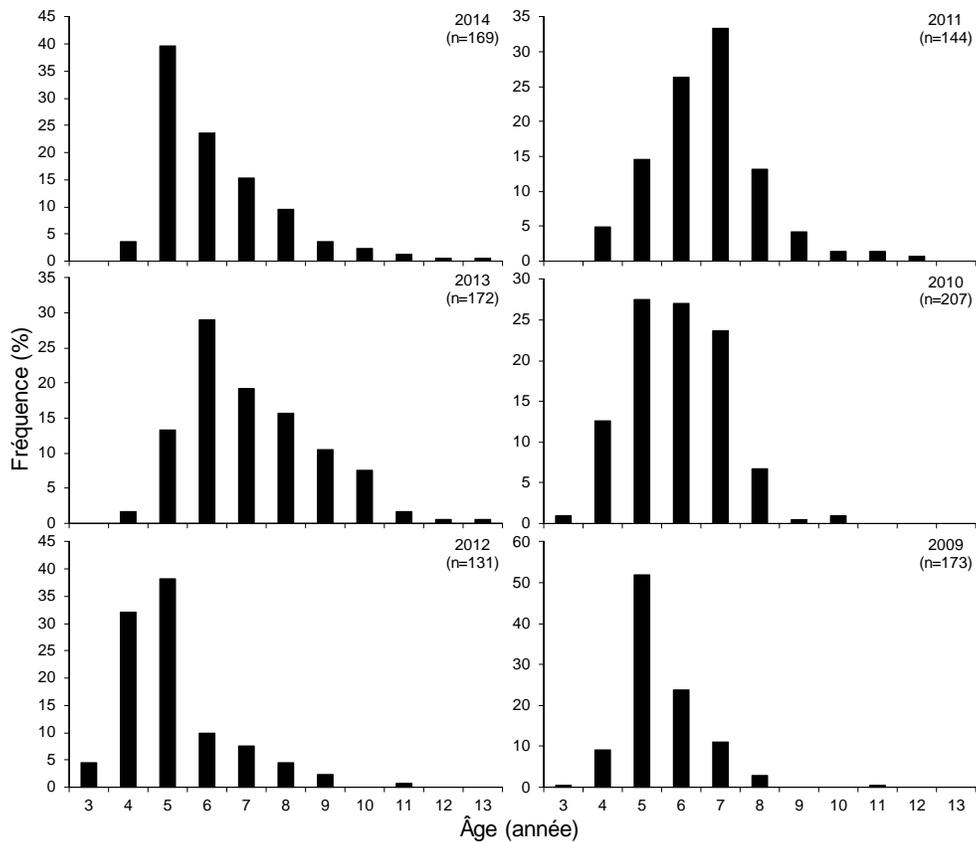


Figure 7. Répartition de la fréquence selon l'âge des Dolly Varden de la rivière Rat capturés dans le cadre du programme de surveillance des prises de la rivière Rat (2009 à 2014).

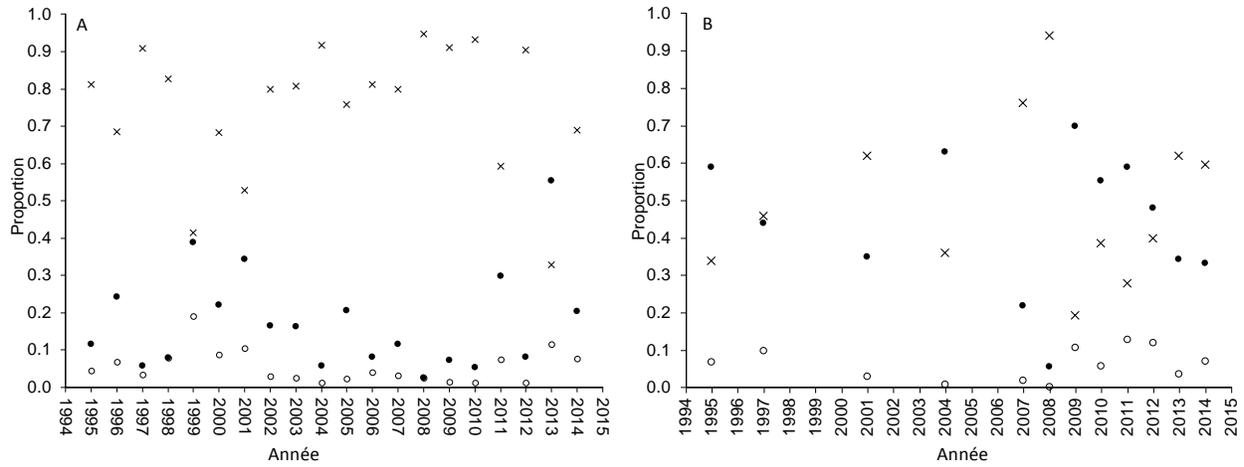


Figure 8. Proportion de Dolly Varden anadromes capturés entre 1995 et 2014 et identifiés comme étant des non-reproducteurs (X), des femelles reproductrices (●) et des mâles reproducteurs (○) : A) dans le cadre du programme de surveillance des prises de la rivière Rat, et B) lors de la pêche à la senne dans les zones de frai et d'hivernage.

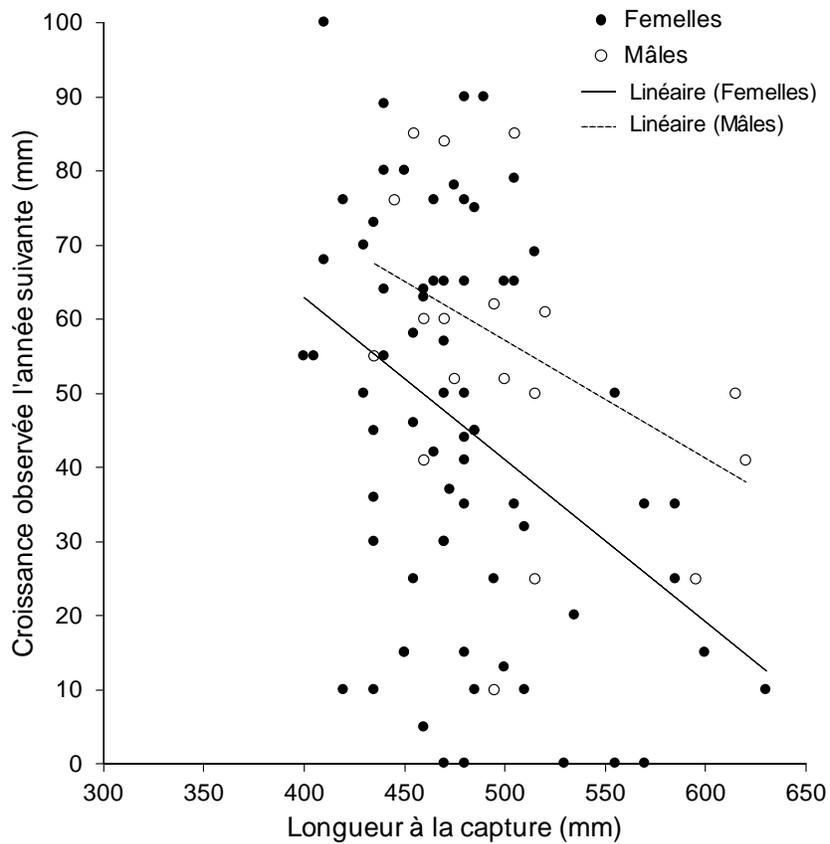


Figure 9. Croissance annuelle observée de Dolly Varden femelles (●) et mâles (○) de la rivière Rat selon des études de marquage et de recapture, entre 2009 et 2014.

## Modélisation

Trois modèles ont été utilisés pour estimer l'abondance et la biomasse totales, le RMS, les indices de l'abondance ( $N_{RMS}$ ), de la biomasse ( $B_{RMS}$ ), de la mortalité par pêche ( $F_{RMS}$ ) et de l'exploitation au rendement maximal soutenu ( $U_{RMS}$ ) :

- 1) analyse de la réduction du stock stochastique fondée sur l'épuisement (ARSSE);
- 2) modèle de production excédentaire (MPE);
- 3) modèle statistique des prises selon l'âge.

Le modèle d'ARSSE a utilisé les prises déclarées et les données biologiques fondamentales pour reconstruire la dynamique des populations de 1986–2014. Le modèle de production excédentaire et le modèle statistique des prises selon l'âge ont reconstruit la dynamique des populations de 1995–2014 à l'aide des données sur les prises et sur l'effort de pêche, ainsi qu'en utilisant les valeurs pour la croissance, le recrutement et la mortalité naturelle. Les données sur l'âge ont été intégrées au modèle statistique des prises selon l'âge. Le RMS ( $\pm 1$  écart-type [ÉT]) et l'exploitation au rendement maximal soutenu ( $U_{RMS}$ ) ( $\pm 1$  ÉT), respectivement, ont été estimés comme suit : 1 251 (307) et 18,1 % (6,3 %), à l'aide du modèle d'ARSSE; 767 (271) et 6,9 % (1,5 %), à l'aide du MPE; et 759 (185) et 12,2 % (2,6 %) à l'aide du modèle statistique des prises selon l'âge. La moyenne pondérée inverse-variance de chaque paramètre estimé par les trois modèles a été calculée afin de générer une estimation unique (tableau 1). Les résultats ont révélé que la récolte est actuellement en dessous du niveau de RMS. Les modèles ont généré différentes estimations de la biomasse exploitable (composante de la population vulnérable aux engins de pêche;  $\geq 440$  mm) ou de l'abondance totale (comprend tous les âges des poissons) pour 2014, avec l'ARSSE (exploitable), le MPE (exploitable) et le modèle statistique des prises selon l'âge (total) prévoyant respectivement environ ( $\pm 1$  ÉT) 12 205 (4 616), 10 509 (5 254) et 10 128 (1 714) Dolly Varden (figure 10). Les trois modèles semblaient indiquer une tendance à la baisse de l'abondance de la population, jusqu'à peu près le début des années 2000, qui était suivie par une augmentation (ARSSE et MPE) ou par une tendance stable (statistique des prises selon l'âge) jusqu'en 2014. Le modèle d'ARSSE semblait indiquer qu'une surpêche ( $F_t/F_{RMS}$  était  $> 1$ ) était pratiquée à la fin des années 1990, tandis que le MPE et le modèle statistique des prises selon l'âge révélaient une surpêche en 2005 et au cours d'années antérieures ( $B_t/B_{RMS}$  et  $N_t/N_{RMS}$  étaient  $< 1$ ) (figure 10). Le modèle d'ARSSE et le MPE donnent à penser que la population actuellement ne souffre pas de surpêche et que l'état du stock est sain, tandis que le modèle statistique des prises selon l'âge tend à indiquer que la population subit à l'heure actuelle (uniquement observée en 2014) une surpêche ( $F_t/F_{RMS} > 1$ ).

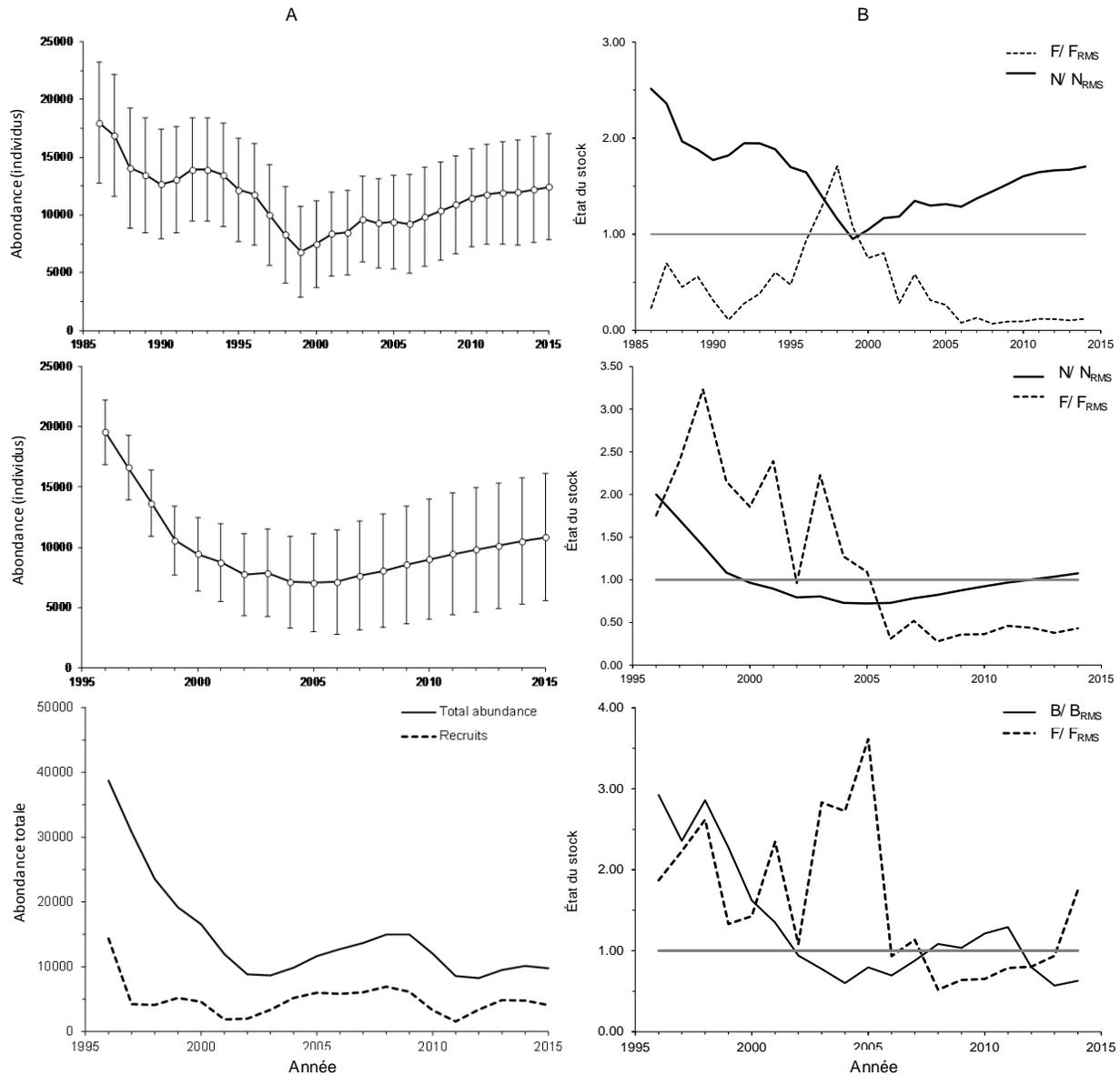


Figure 10. Dolly Varden de la rivière Rat : A) Estimations (moyenne  $\pm$  écart-type) des Dolly Varden de taille exploitable ( $\geq 440$  mm) à partir des modèles d'analyse de la réduction du stock stochastique fondée sur l'épuisement (tableau du haut) et de production excédentaire (tableau du milieu) et abondance totale à partir d'un modèle statistique des prises selon l'âge (tableau du bas); et B) antécédents d'exploitation du stock, illustrés par les tendances médianes a posteriori de l'état du stock ( $N/N_{RMS}$  ou  $B/B_{RMS}$ ) et de l'état d'une pêche  $F/F_{RMS}$ ) à partir des modèles d'analyse de la réduction du stock stochastique fondée sur l'épuisement (tableau du haut), de la production excédentaire (tableau du milieu) et des modèles statistiques des prises selon l'âge (tableau du bas) (la référence critique à l'état du stock est délimitée par la ligne grise). Pour le tableau inférieur A, on a estimé l'abondance de la population totale et des recrues d'un an.

Tableau 1. La médiane (écart-type entre parenthèses) de la moyenne pondérée inverse du rendement maximal soutenu ( $RMS$ ), les indices de l'abondance ( $N_{RMS}$ ), de la biomasse ( $B_{RMS}$ ), de la mortalité par pêche ( $F_{RMS}$ ) et de l'exploitation ( $U_{RMS}$ ) au  $RMS$ .

	Abondance	Biomasse (kg)
$RMS$	891 (81)	1 007 (200)
$N_{RMS}$	6 828 (450)	-
$B_{RMS}$	-	6 512 (1 293)
$F_{RMS}$	0,12 (0,01)	0,15 (0,04)
$U_{RMS}$	0,1 (0,01)	0,14 (0,03)

### Analyse génétique du stock mélangé

On a utilisé des techniques génétiques pour examiner la pêche de subsistance de stocks mélangés le long du littoral de la mer de Beaufort (été 2011–2014) et dans le delta du Mackenzie et la rivière Rat (été/automne 2012–2014) en vue d'établir la contribution des Dolly Varden de la rivière Rat dans ces emplacements. Ces résultats, combinés avec les données sur la récolte totale, ont fourni des données pour estimer la récolte de Dolly Varden provenant de la rivière Rat. On a analysé les échantillons par rapport à des données génétiques de référence établies pour tous les stocks canadiens connus de Dolly Varden anadromes et un sous-ensemble de stocks du versant nord de l'Alaska. Des échantillons prélevés dans les réseaux hydrographiques de la rivière Firth, du ruisseau Joe et de la rivière Kongakut ont été combinés dans un groupe déclaré unique, car il était impossible d'effectuer une différenciation génétique de ces poissons en fonction de l'information actuellement disponible. On a effectué des tests de 15 marqueurs d'ADN (microsatellite) à partir de 1 514 échantillons de tissus prélevés le long du littoral de la mer de Beaufort (île Herschel, baie Ptarmigan, King Point et Sabine Point, et Shingle Point) et de 544 échantillons prélevés aux emplacements du programme de surveillance des prises dans le delta du fleuve Mackenzie et la rivière Rat. L'analyse génétique du stock mélangé de Dolly Varden provenant de chaque site de pêche a été réalisée en vue de déterminer le brassage génétique des poissons capturés dans ces pêches. Une procédure du maximum de vraisemblance conditionnelle mise en application dans le programme d'identification génétique des stocks ONCOR (Kalinowski et al. 2007) a été utilisée pour établir la contribution de chaque stock source de Dolly Varden à chaque site de pêche côtière. Des simulations et des essais ont confirmé les résultats de l'analyse des stocks mélangés et leur précision.

Le nombre estimé de Dolly Varden de la rivière Rat dans l'échantillon prélevé sur le littoral variait entre 21 et 42 poissons, sachant que 97 % ont été prélevés à Shingle Point (tableau 2). Le stock de la rivière Rat a contribué à la récolte annuelle de Dolly Varden à hauteur de 5 % à 29 % à Shingle Point et seuls quelques échantillons ont été relevés à l'île Herschel et dans la baie Ptarmigan; toutefois, l'erreur associée aux essais laisse supposer que les résultats provenant de l'île Herschel et de la baie Ptarmigan devraient être traités avec prudence (tableau 2). Pratiquement tous (99 % [IC de 95 % = 96 à 100]) les échantillons prélevés dans le delta du fleuve Mackenzie et la rivière Rat ont été attribués au stock de la rivière Rat.

Tableau 2. Contribution en pourcentage (%) (IC  $\pm$  95 %) et en nombre\* (#) (IC  $\pm$  95 %) de Dolly Varden provenant de la rivière Rat entre plusieurs emplacements le long du littoral<sup>†</sup> de la mer de Beaufort, au Yukon, entre 2011 et 2014.

Année	Île Herschel		Baie Ptarmigan		Shingle Point		Total
	%	#	%	#	%	#	
2014	1 (0–4)	2 (0–6)	-	-	10 (7–13)	40 (29–52)	42
2013	0	0	-	-	29 (20–39)	33 (23–45)	33
2012	0	0	-	-	5 (3–8)	21 (10–33)	21
2011	0	0	1 (0–4)	1 (0–4)	12 (7–17)	22 (14–33)	23

<sup>†</sup> King Point et Sabine Point entre 2011 et 2014 : % = 0

- Aucun échantillon génétique disponible (en 2012, 2013 et 2014, on a recensé 1 capture, 12 captures et 0 capture de poissons, respectivement)

## Captures

Entre 2009 et 2014, le total des prises déclarées de Dolly Varden de la rivière Rat était inférieur à 400 poissons (tableau 3). Le stock était principalement pêché dans le delta du Mackenzie et la rivière Rat par les pêcheurs Gwich'in (environ 79 %) des communautés de Fort McPherson et Aklavik. Le taux de récolte moyen estimé (nombre total de poissons capturés au cours d'une année divisé par l'estimation de la population l'année précédente, d'après les recaptures provenant de la pêche à la senne) pour le stock de la rivière Rat de 2011 à 2014 était de 4,7 % (plage = 2,7 à 6,5 %).

Tableau 3. Nombre de prises de Dolly Varden du stock de la rivière Rat déclaré selon les programmes de surveillance et les relevés de la communauté des Gwich'in et des Inuvialuits.

Année	Delta du fleuve Mackenzie / rivière Rat				Littoral de la mer de Beaufort	Total
	Surveillance des prises de la rivière Rat (Gwich'in)	Fort McPherson (Gwich'in)	Aklavik (Gwich'in)	Aklavik (Inuvialuit)	Aklavik (Inuvialuit)	
2014	180	96	15	56	42	389
2013	180	0	41	72	33	326
2012	150	112	38	45	21	366
2011	147	43	69	87	23	378*
2010	220	0	46	13	-	279 <sup>†</sup>
2009	192	41	0	28	-	261 <sup>†</sup>

\* Un échantillon de n = 9 a été prélevé à des fins scientifiques à partir de la pêche à la senne dans le ruisseau Fish en juillet 2011.

<sup>†</sup> Les prises côtières ne sont pas connues; par conséquent, le total est incomplet.

## Taille effective de la population

La taille effective d'une population ( $N_E$ ) détermine le rythme auquel la variabilité génétique se perdra du fait de la dérive génétique aléatoire (variation aléatoire de la fréquence des allèles ou des génotypes d'une génération à l'autre); la valeur de ce paramètre est généralement inférieure à la taille de la population recensée ( $N_C$ ). Des diminutions de la  $N_E$  se traduisent habituellement par des diminutions de la variation génétique et des augmentations de la consanguinité qui peuvent conduire, au bout du compte, à une réduction de la valeur adaptative générale. En conséquence, des diminutions de la  $N_E$  peuvent avoir plusieurs impacts négatifs sur une population, notamment sur celles qui sont déjà petites et isolées. Comme la variation génétique est importante pour le potentiel évolutif, on devrait aussi tenir compte de la  $N_E$  lorsqu'on évalue les plans à long terme pour la persistance de la population et la conservation de la diversité biologique au sein d'une espèce.

Des échantillons ont été prélevés dans les zones de frai et d'hivernage durant trois périodes d'échantillonnage distinctes (1988, 1991 et 2011). Pour ce qui est de l'estimation de la  $N_E$  des Dolly Varden de la rivière Rat, deux estimations dérivées d'échantillons unitaires (LDNe [Waples et Do 2008] fondées sur le déséquilibre des liens et COLONY [Jones et Wang 2010] fondé sur l'analyse des fratries) et deux estimations fondées sur des paramètres temporels (MLNe [Wang 2001] et TempoFS [Jorde et Ryman 2007], les deux fondés sur des modifications de la fréquence des allèles au fil du temps) ont été appliquées à un ensemble de données sur l'ADN (microsatellites). La moyenne harmonique pondérée lorsque l'on combinait les méthodes des échantillons unitaires était 1 038 (IC de -95 % = 282) et la moyenne harmonique pondérée lorsque l'on combinait les estimations fondées sur des paramètres temporels était 541 (IC de -95 % = 198; veuillez noter que l'IC de +95 % ne pouvait pas être calculé lorsque l'on combinait les moyennes des méthodes en raison de certains résultats qui tendaient vers l'infini). La  $N_E$ , fondée sur la grande moyenne harmonique (Waples et Do 2008) des quatre estimations (c.-à-d. en combinant les estimations fondées sur les échantillons unitaires et sur les paramètres temporels) se chiffrait à 608 (CI de -95 % = 212). Les résultats donnent à penser qu'il n'y a pas de motifs d'inquiétude immédiats au chapitre de la conservation (p. ex., une réduction de la valeur adaptative résultant de la consanguinité) du Dolly Varden de la rivière Rat, et la persistance à long terme de la population ne sera probablement pas compromise si la taille effective de la population demeure la même.

### Sources d'incertitude

Il existe certaines incertitudes concernant le fait que toutes les hypothèses de la méthode de Petersen ont été vérifiées de manière suffisante pour que l'on puisse atteindre une estimation convenable de la taille de la population. Par exemple, les zones du ruisseau Fish, où les Dolly Varden se rassemblent à la fin du mois de septembre, n'ont pas toutes été échantillonnées, ce qui pourrait avoir une incidence sur l'hypothèse de capturabilité égale pour tous les poissons marqués.

Les données sur les CPUE de la pêche ne sont pas nécessairement un indice d'abondance exact du stock de la rivière Rat. De nombreux facteurs peuvent avoir une incidence sur les données sur les CPUE dans le delta du Mackenzie et la rivière Rat d'une année à l'autre et peuvent inclure le moment de la pêche par rapport à celui de la montaison, les conditions météorologiques (p. ex., vent), les débris, la vitesse du courant, le type d'engin et la durée d'immersion du filet. Ceux-ci auront des effets importants sur les résultats de modélisation utilisés pour évaluer la population et les estimations des niveaux de prises durables.

La pêche de subsistance pratiquée le long du littoral de la mer de Beaufort peut cibler différentes espèces en fonction de l'emplacement et de la taille des mailles des filets maillants. La pêche à Shingle Point cible principalement le cisco arctique (*Coregonus autumnalis*) à l'aide de filets à petites mailles (~ 89 mm, étirés), tandis que les pêches au Dolly Varden qui sont pratiquées plus à l'ouest (p. ex., Komakuk Beach, île Herschel) utilisent des filets à plus grandes mailles (~ 102 mm, étirés). Les conditions météorologiques (p. ex., la vitesse et la direction du vent) et les conditions de la mer (p. ex., les glaces en dérive et les vagues) ont une incidence sur le lieu et le moment d'une activité de pêche. Il peut y avoir des variations des quantités et de la composition des prises dans les pêches côtières en raison des conditions environnementales qui influent sur les déplacements des poissons (p. ex., moment de la migration, déplacements le long du littoral ou au large). La variabilité dans l'effort de pêche, de même que le moment et l'emplacement de la pêche et du prélèvement d'échantillons peuvent causer des écarts dans la composition tout au long des calendriers saisonniers et annuels, ce qui se traduit par un échantillonnage non représentatif de la montaison côtière.

Dans le modèle statistique des prises selon l'âge, on a supposé que la croissance et la mortalité naturelle étaient constantes, que le choix des engins de pêche suivait une fonction logistique constante, que le recrutement du stock était mieux décrit à l'aide du modèle de Beverton-Holt et que les prises ont été déclarées sans erreur. Ces hypothèses sont irréalistes ou ne sont pas directement connues et apportent de l'incertitude quant aux résultats de la modélisation. De plus, dans le modèle statistique des prises selon l'âge, on a supposé que le Dolly Varden frayait durant des années consécutives après avoir atteint la maturité sexuelle. Par conséquent, il est probable que le modèle entraînerait une surestimation de la biomasse du stock reproducteur, ce qui mènerait à une surestimation de l'abondance, du RMS et des paramètres connexes.

L'incertitude dans les essais utilisés pour l'analyse génétique de la pêche de stocks mélangés est due à l'absence d'un règlement par stocks entre les deux réseaux hydrographiques (rivières Firth et Kongakut) et à la possibilité que d'autres stocks sources contribuent à cette pêche (p. ex., ruisseau Fish près de Komakuk Beach et dans le bassin versant de la rivière Peel).

Le nombre total d'ombles chevaliers pêchés pour tous les emplacements n'est pas connu en raison du caractère volontaire de la déclaration des prises.

On a utilisé le même lecteur d'âge et la même méthode de détermination de l'âge (complet) pour déterminer l'âge des otolithes du Dolly Varden depuis le début du programme de surveillance. Toutefois, les nouvelles méthodes (p. ex., sectionnement en coupes minces) utilisées au cours des dernières années pourraient permettre d'estimer l'âge avec une plus grande précision. Une étude de comparaison de l'âge a été menée entre le lecteur d'âge précédent et le lecteur d'âge actuel qui était familiarisé avec les deux méthodes. L'objectif était de déterminer s'il existait des différences entre les lecteurs ou les méthodes et d'évaluer l'incidence que toute différence peut avoir sur les paramètres liés à l'âge, comme la croissance et la mortalité. Les résultats indiquent que, pour les Dolly Varden d'au moins 6 ans, le lecteur d'âge actuel a tendance à estimer des âges plus élevés; par conséquent, la proportion des classes d'âge supérieures de la population pourrait avoir été auparavant (avant 2009) sous-estimée, et la croissance et la mortalité de la population surestimées.

## CONCLUSIONS ET AVIS

- 1) L'estimation de la population de Dolly Varden de la rivière Rat ( $\geq \sim 305$  à  $365$  mm) dérivée du modèle de marquage et recapture de Petersen (avec une modification introduite par Chapman) et fondée sur la recapture de poissons marqués dans le cadre du programme de surveillance des prises de la rivière Rat faisait état de 6 625 individus (IC de 95 % = 4 199 à 12 769) en 2009, de 9 310 individus (IC de 95 % = 6 137 à 17 351) en 2010 et de 14 891 individus (IC de 95 % = 9 091 à 32 052) en 2013. L'abondance de la population a augmenté depuis la faible abondance observée en 2004 et elle varie actuellement, sans afficher de tendance. Les estimations de l'abondance dérivées du modèle de marquage et de recapture et fondées sur la recapture de poissons marqués du programme de surveillance des prises pendant la montaison du Dolly Varden étaient plus élevées que celles produites à l'aide des recaptures provenant de la pêche à la senne.
- 2) L'estimation de la population de Dolly Varden de la rivière Rat ( $\geq \sim 305$  à  $365$  mm) dérivée du modèle de marquage et recapture de Petersen (avec une modification introduite par Chapman) et fondée sur la recapture de poissons marqués à l'aide d'une senne en septembre, dans les zones de frai et d'hivernage, faisait état de 5 792 individus (IC de 95 % = 4 494 à 9 612) en 2009, de 5 820 individus (IC de 95 % = 3 286 à 14 403) en 2010 et de 11 919 individus (IC de 95 % = 7 773 à 23 638) en 2013. Le niveau de confiance dans les estimations produites à l'aide de recaptures provenant

de la pêche à la senne est meilleur étant donné que les intervalles de confiance de 95 % sont plus petits. Lorsque l'on utilise les étiquettes retournées provenant de la pêche, le niveau de confiance est plus faible, mais les estimations fournissent un indice important où la tendance temporelle est un moyen utile pour évaluer l'état du stock.

- 3) Trois modèles de population ont été pris en considération pour l'évaluation : le modèle d'analyse de la réduction du stock stochastique fondée sur l'épuisement, le modèle de production excédentaire et le modèle statistique des prises selon l'âge. La moyenne pondérée inversée ( $\pm 1$  ÉT) du RMS établie à partir des modèles était  $891 \pm 81$ . L'abondance de la population en 2014 ( $\pm 1$  ÉT) établie à partir de l'ARSSE, du MPE et du modèle statistique des prises selon l'âge correspondait à 12 205 individus (4 616) (composante exploitable;  $\geq 440$  mm), à 10 509 individus (5 259) (composante exploitable) et à 10 000 individus (1 741) (tous les stades biologiques), respectivement. Le niveau de confiance dans les résultats du modèle d'ARSSE était faible, puisque les données n'étaient probablement pas adéquates, compte tenu de la variabilité élevée des prises déclarées entre les années 1980 et le début des années 2000, tandis que le niveau de confiance dans les résultats tirés du modèle statistique des prises selon l'âge et, en particulier, du MPE était plus élevé.
- 4) Le RMS pourrait être utilisé en combinaison avec d'autres indicateurs pour orienter les décisions de cogestion. Les prises ne devraient pas dépasser le RMS. Le risque pour le stock augmente quand la récolte s'approche du RMS et, étant donné le niveau d'incertitude dans les modèles combiné avec l'objectif de travailler dans un cadre d'approche de précaution, les prises devraient être maintenues bien en dessous du RMS afin d'assurer une pêche de subsistance durable et la conservation du stock. Des modèles devraient être mis au point pour évaluer les options de rétablissement du stock.
- 5) Les analyses génétiques des échantillons de pêche de stocks mélangés prélevés le long du littoral de la mer de Beaufort révèlent qu'entre 2011 et 2014, la pêche côtière du stock de la rivière Rat avait principalement lieu à Shingle Point. Le nombre estimatif d'ombles chevaliers pêchés (la contribution en pourcentage aux prises et l'IC de 95 % entre parenthèses) était de 22 individus (10 % [IC de 95 % = 7 à 17] en 2011, de 21 individus (5 % [IC de 95 % = 3 à 8] en 2012, de 33 individus (29 % [IC de 95 % = 20 à 30] en 2013 et de 40 individus (10 % [IC de 95 % = 7 à 13] en 2014). Les échantillons prélevés dans le chenal Husky du delta du Mackenzie et la rivière Rat, entre 2012 et 2014, montrent que la grande majorité (99 %) des ombles chevaliers pêchés provenaient du stock de la rivière Rat.
- 6) Les prises annuelles déclarées de Dolly Varden de la rivière Rat depuis que la fermeture volontaire de la pêche de subsistance a été abrogée en 2009 ont été inférieures à 400 poissons. Selon les estimations de l'abondance de la population (étiquettes retournées provenant de la pêche à la senne) et la récolte des pêches pratiquées à Shingle Point, dans le delta du Mackenzie et dans la rivière Rat, le taux de récolte annuel moyen du stock entre 2011 et 2014 était de 4,7 % (fourchette = 2,7 à 6,5 %). L'imprécision des modèles employés pour les estimations de la population dérivées de la technique du marquage et recapture et pour les analyses génétiques des échantillons de pêche de stocks mélangés, les prises déclarées et le degré de variation interannuelle observée dans la contribution de ce stock aux pêches côtières accroissent le degré d'incertitude concernant ce taux de récolte.
- 7) La taille effective de la population ( $N_E = 608$  [IC de -95 % = 212]) donne à penser qu'il n'y a pas de motif d'inquiétude immédiat au chapitre de la conservation du fait de la

consanguinité et de la réduction de la valeur adaptative pour la population de la rivière Rat.

- 8) Les données sur les longueurs, qui sont un indicateur biologique utile de l'état du stock, recueillies entre 2009 et 2014, dans le cadre du programme de surveillance des prises de la rivière Rat et de la pêche à la senne dans les zones de frai et d'hivernage, ont révélé la présence d'une vaste gamme de tailles qui se situaient principalement entre 400 et de 600 mm. La longueur médiane et la structure par longueur chez les adultes semblaient relativement stables. La proportion des tailles supérieures à 550 mm observée de 2009 à 2014 a augmenté depuis le déclin de l'état du stock constaté au milieu des années 2000. De plus, on constate une augmentation de la proportion parmi les plus grandes catégories de taille ( $\geq 600$  mm) depuis 2010.
- 9) Les données sur l'âge, qui sont également un indicateur biologique utile de l'état du stock, recueillies entre 2009 et 2014 dans le cadre du programme de surveillance des prises de la rivière Rat, ont révélé la présence d'un vaste éventail d'âges, l'âge modal variant entre 5 et 7 ans, et une proportion croissante chez les poissons plus âgés ( $\geq 8$  ans) au fil du temps, ce qui semble indiquer une survie accrue des adultes.
- 10) Bien qu'une proportion plus élevée des reproducteurs de l'année en cours ait été observée lors de la pêche à la senne dans les zones de frai et d'hivernage (fourchette = 38 à 81 %), par rapport au programme de surveillance des prises (fourchette = 9 à 67 %) pour la plupart des années, entre 2009 et 2014, la proportion relativement élevée des reproducteurs de l'année en cours observée dans le cadre des deux programmes d'échantillonnage associés aux données sur la structure par longueur semble indiquer que la capacité productive ou reproductive n'était pas limitée à la composante anadrome de la population.
- 11) Les données sur la croissance dérivées des études de marquage et recapture (changement de la longueur d'une année à l'autre, d'après une recapture de  $n = 71$  femelles et de  $n = 19$  mâles) et les données sur l'âge, recueillies dans le cadre de la pêche (longueur selon l'âge) entre 2009 et 2014, ont révélé que les mâles se développaient plus rapidement que les femelles. Les données sur la longueur selon l'âge ont montré une faible variation interannuelle.
- 12) Les données biologiques dérivées des études de marquage et recapture indiquaient que les femelles frayaient plus souvent que les mâles durant des années consécutives. Si l'on se fonde sur 63 échantillons de Dolly Varden ( $n = 55$  femelles et  $n = 8$  mâles), 51 % des femelles et 13 % des mâles marqués en tant que reproducteurs ont été recapturés en condition de frai l'année suivante.
- 13) Les estimations disponibles sur la population, de même que les données biologiques et les données sur les prélèvements donnent à penser que la population est actuellement stable et exploitée de manière durable. La confiance à l'égard de l'évaluation augmente, étant donné que plusieurs sources de renseignements indépendantes (étude de marquage-recapture, données biologiques, modélisation et taille effective de la population) ont fourni des tendances relativement similaires en ce qui concerne les indicateurs ou les conclusions concernant l'état du stock.
- 14) Afin de mieux évaluer comment les prélèvements déclarés, qui sont des chiffres importants utilisés dans l'évaluation de la population de la rivière Rat, varient entre les années, il est suggéré de recueillir des connaissances ou des observations locales, de pair avec les données sur la récolte, afin de mieux comprendre comment les conditions environnementales influent sur les prises et l'effort de pêche.

## SOURCES DE RENSEIGNEMENTS

Le présent avis scientifique découle de la réunion qui s'est tenue les 10 et 11 février 2015 sur l'Évaluation du Dolly Varden, *Salvelinus malma malma*, de la rivière Rat, dans les Territoires du Nord-Ouest. Toute autre publication découlant de cette réunion sera publiée, lorsqu'elle sera disponible, sur le [calendrier des avis scientifiques de Pêches et Océans Canada \(MPO\)](#).

Jones, O.R., and Wang, J. 2010. COLONY: a program for parentage and sibship inference from multilocus genotype data. *Mol. Ecol. Res.* 10: 551–555.

Jorde, P.E., and Ryman, N. 2007. Unbiased estimator for genetic drift and effective population size. *Genetics* 177: 927–935.

Kalinowski, S.T., Manlove, K.R., and Taper, M.L. 2007. [ONCOR: software for genetic stock identification](#). Montana State University, Bozeman, MT.

Roux, M.-J., Howland, K., Gallagher, C.P., and Tallman, R.F. 2012. Synthesis of biological and harvest information used to assess populations of northern form Dolly Varden (*Salvelinus malma malma*) in Canada. Part I: Rat River. *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc.* 2011/132. viii + 77 p.

Seber, G.A.F. 1982. *The Estimation of Animal Abundance and Related Parameters*. 2nd Edition. Blackburn Press, Caldwell, New Jersey. 653 p.

Wang, J. 2001. A pseudo-likelihood method for estimating effective population size from temporally spaced samples. *Genet. Res.* 78: 243–257.

Waples, R.S., and Do, C. 2008. LDNE: a program for estimating effective population size from data on linkage disequilibrium. *Mol. Ecol. Res.* 8: 753–756.

## CE RAPPORT EST DISPONIBLE AUPRÈS DU :

Centre des avis scientifiques (CAS)  
Central and Arctic Region  
Fisheries and Oceans Canada  
501, University Crescent  
Winnipeg, MB R3T 2N6

Téléphone : (204) 983-5131

Courriel : [xcna-csa-cas@dfo-mpo.gc.ca](mailto:xcna-csa-cas@dfo-mpo.gc.ca)

Adresse Internet : [www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/](http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/)

ISSN 1919-5117

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2017



La présente publication doit être citée comme suit :

MPO. 2017. Évaluation du Dolly Varden de la Rivière Rat, dans les Territoires du Nord-Ouest 2009–2014. *Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci.* 2016/058.

*Also available in English:*

DFO. 2017. *Assessment of Dolly Varden from the Rat River, Northwest Territories 2009–2014.* *DFO Can. Sci. Advis. Sec. Sci. Advis. Rep.* 2016/058.