



Pêches et Océans
Canada

Fisheries and Oceans
Canada

Sciences des écosystèmes
et des océans

Ecosystems and
Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2021/023

Région du Centre et de l'Arctique

Évaluation des méthodes de préparation des otolithes pour l'omble chevalier anadrome : élaboration d'un protocole d'estimation de l'âge et comparaison des données historiques aux données contemporaines

Colin P. Gallagher, Rick J. Wastle, et Kimberly L. Howland

L'Institut des eaux douces
Pêches et Océans Canada
501, cr. University
Winnipeg (Manitoba), R3T 2N6

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

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



© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2021
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Gallagher, C.P., Wastle, R.J., et Howland, K.L. 2021. Évaluation des méthodes de préparation des otolithes pour l'omble chevalier anadrome : élaboration d'un protocole d'estimation de l'âge et comparaison des données historiques aux données contemporaines. Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2021/023. iv + 31 p.

Also available in English :

Gallagher, C.P., Wastle, R.J., and Howland, K.L. 2021. Evaluating otolith preparation methods for anadromous Arctic Char: establishing an age estimation protocol and comparing historical with contemporary data. DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2021/023. iv + 29 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	IV
INTRODUCTION	1
OBJECTIFS	2
MÉTHODES	2
COLLECTE DE DONNÉES, PRÉPARATION DES OTOLITHES ET ESTIMATION DE L'ÂGE.....	2
ANALYSE.....	3
RÉSULTATS.....	5
SELON LES LECTEURS, ENTRE LES MÉTHODES.....	5
Lac Tatik.....	5
Rivière Hornaday.....	6
ENTRE LES LECTEURS	6
Lac Tatik.....	6
Rivière Hornaday.....	7
DISCUSSION.....	8
PRÉPARATION DE L'OTOLITHE	8
PROTOCOLE D'ESTIMATION DE L'ÂGE.....	9
DONNÉES HISTORIQUES ET CONTEMPORAINES SUR L'ÂGE.....	10
CONCLUSION	11
REMERCIEMENTS	12
RÉFÉRENCES CITÉES.....	12
TABLEAUX ET FIGURES.....	15

RÉSUMÉ

Une estimation fiable de l'âge de l'omble chevalier anadrome, *Salvelinus alpinus*, est importante pour l'évaluation et la gestion des populations. Nous avons examiné la précision (coefficient de variation [% CV] et pourcentage d'accord) et le biais des estimations de l'âge selon le lecteur entre les méthodes des otolithes entiers ou coupés. Nous avons également examiné le tout selon les méthodes de préparation des otolithes entiers et broyés à partir d'une seule lecture en utilisant des échantillons prélevés dans deux populations d'omble chevalier (lac Tatik et rivière Hornaday, Territoires du Nord-Ouest) entre 2010 et 2012. De plus, des critères normalisés ont été utilisés pour évaluer les différences entre les méthodes en ce qui a trait à la confiance du lecteur d'âge afin de déterminer si l'amélioration perçue de la confiance entraînait des estimations de l'âge différentes. Le CV des otolithes entiers par rapport aux otolithes coupés en tranches fines était de 4,6 %, tandis que le pourcentage d'accord exact variait de 51 % à 56 %. Le biais entre les méthodes des otolithes entiers et des otolithes coupés en tranches fines était évident chez les groupes d'âge plus âgés, où la méthode des otolithes entiers avait tendance à donner des sous-estimations comparativement à la méthode des otolithes coupés en tranches fines. Il est recommandé d'utiliser une combinaison de méthodes de préparation des otolithes entiers et des otolithes coupés en tranches fines pour réduire au minimum le temps de préparation de l'échantillon tout en maintenant la confiance dans les estimations de l'âge. Le protocole d'estimation de l'âge ayant servi pour le lac Tatik et la rivière Hornaday recourrait à la méthode des otolithes entiers pour l'âge de ≤ 12 ans et ≤ 9 ans, respectivement, et à la méthode des otolithes coupés en tranches fines par la suite. Tout otolithe, quel que soit l'âge, serait préparé en tranches fines si la confiance associée à la lecture des otolithes entiers était faible, car la méthode des otolithes coupés en tranches fines produisait une fréquence plus élevée d'estimations de l'âge de confiance élevée comparativement à la méthode des otolithes entiers. Bien que les estimations de l'âge des otolithes entiers lues avec un faible niveau de confiance ne soient pas considérablement différentes lorsque ces derniers étaient préparés selon la méthode des otolithes coupés en tranches fines et lus avec un indice de confiance élevé, la méthode des otolithes coupés a augmenté la confiance du lecteur pour 50,5 % à 58,4 % des lectures des otolithes entiers avec un faible niveau de confiance. Des résultats semblables ont été observés entre les méthodes de préparation des otolithes entiers et des otolithes broyés. Enfin, nous avons évalué le biais entre la méthode des otolithes entiers (utilisée historiquement par un lecteur d'âge) et la combinaison des méthodes des otolithes entiers et des otolithes coupés en tranches fines (utilisée récemment par un autre lecteur d'âge) afin de mesurer la comparabilité des données historiques et contemporaines sur l'âge. Le CV selon le lecteur était de 6,0 % pour le lac Tatik et de 6,7 % pour la rivière Hornaday, tandis que le pourcentage d'accord exact était de 45 % et de 54 %, respectivement. La méthode contemporaine avait tendance à produire des estimations de l'âge plus élevées, ce qui entraînait des différences dans les distributions de fréquences des âges, l'âge maximal et les estimations annuelles de la mortalité. Toutefois, il n'y avait aucune différence importante dans les paramètres de croissance de von Bertalanffy pour les deux emplacements. Il conviendrait pour les chercheurs de tenir compte de l'incidence de ces différences lorsqu'ils travaillent avec des ensembles de données historiques et contemporaines pour ces emplacements et avec d'autres qui présentent une différence semblable au chapitre des méthodes utilisées pour les estimations de l'âge.

INTRODUCTION

L'estimation de l'âge est essentielle pour caractériser le cycle biologique des poissons et la dynamique des populations. De nombreuses évaluations des populations de poissons utilisent des données sur l'âge pour analyser la structure démographique ou les tendances temporelles des paramètres liés à l'âge (p. ex., la croissance et la mortalité). Il y aurait lieu, dans le cadre de ces évaluations, de s'efforcer d'utiliser des structures d'estimation de l'âge et des méthodes de préparation qui fournissent des estimations exactes (c.-à-d. la valeur réelle de l'âge) et précises (c.-à-d. la reproductibilité des mesures répétées) (Kalish *et al.* 1995). Idéalement, ces méthodes seraient validées (Campana 2001). Des données sur l'âge non fiables peuvent donner lieu à des recommandations inexactes à l'intention des gestionnaires des pêches, ce qui peut avoir une incidence défavorable sur la viabilité des pêches et des populations de poissons (Lai and Gunderson 1987; Reeves 2003).

Chez les poissons, la croissance quotidienne ou annuelle peut être interprétée à l'aide de structures calcifiées, notamment les rayons de nageoires, les épines, les écailles et les otolithes. L'otolithe est l'une des principales structures d'estimation de l'âge utilisées dans la recherche sur les pêches (Secor *et al.* 1995, Campana and Thorrold 2001), avec de nombreux exemples où la périodicité annuelle pour cette structure a été validée (Geffen 1992; Spurgeon *et al.* 2015). La méthode de préparation des otolithes, qui comprend la méthode des otolithes entiers (surface latérale), la méthode de cassure et brûlage, la méthode des otolithes coupés en tranches fines et la méthode de broyage (axe latéral ou axe transversal), peut avoir une grande incidence sur l'interprétation des *annuli* ou la « lisibilité » (Stransky *et al.* 2005; Snow *et al.* 2018; Winkler *et al.* 2019). De plus, la formation et l'expérience des lecteurs d'âge peuvent avoir une influence marquée sur l'exactitude et la précision des estimations de l'âge (Buckmeier *et al.* 2017).

La présente étude examine l'estimation de l'âge de l'omble chevalier anadrome, *Salvelinus alpinus*, une espèce de salmonidé adaptée au froid qui vit principalement dans les régions arctiques et subarctiques et qui présente une diversité phénotypique et biologique complexe (Johnson 1980; Jonsson and Jonsson 2001; Klemetsen 2013). Les premières études ont surtout évalué les écailles et les otolithes entiers pour estimer l'âge (Grainger, 1953; Nordeng, 1961; Frost, 1978; Johnson, 1980; Barbour and Einarsson, 1987). Il a été constaté que les écailles, les rayons de nageoires et les vertèbres étaient d'une utilité relative ou nulle en raison de la difficulté d'interpréter les *annuli* (Nordeng, 1961; Barber and MacFarlane, 1987). Dans les études subséquentes, les comparaisons entre les méthodes de préparation des otolithes ont démontré que la méthode des otolithes entiers avait tendance à sous-estimer les groupes d'âge plus âgés comparativement à la méthode de brûlage et cassure ou à celle des otolithes coupés en tranches fines (Barber and MacFarlane, 1987; Kristofferson and Klemetsen, 1991; Babaluk *et al.* 2007), bien que l'exactitude de cette conclusion ne puisse être confirmée que par une étude de validation.

Jusqu'en 2009, les évaluations des populations de l'omble chevalier de l'Ouest canadien se fondaient sur des estimations de l'âge obtenues par la méthode des otolithes entiers, les *annuli* étant interprétés selon les critères de Nordeng (1961) (voir Kristofferson and Carder, 1980; Carder, 1995). Depuis 2009, on utilise une combinaison des méthodes des otolithes entiers et des otolithes coupés en tranches fines ainsi qu'un indice de confiance pour chaque estimation de l'âge produite. L'élaboration du protocole comprenait des comparaisons entre la méthode des otolithes entiers (c.-à-d. temps de préparation le plus court) et la méthode de coupe transversale (c.-à-d. temps de préparation plus long, mais plus grande qualité et précision présumée pour les poissons plus âgés) afin de déterminer la mesure dans laquelle les méthodes des otolithes entiers et coupés peuvent être utilisées de façon interchangeable pour

réduire le temps de préparation sans compromettre la qualité (confiance élevée dans l'âge assigné). Compte tenu de ce changement dans la méthode de préparation des otolithes, il est nécessaire d'évaluer l'intégrité de l'analyse chronologique fondée sur l'âge pour les stocks qui utilisent à la fois des données historiques (lectures des otolithes entiers seulement; avant 2010) et contemporaines (nouveau protocole) (voir MPO 2016a,b; Zhu *et al.* 2017).

OBJECTIFS

1. Comparer la méthode de préparation des otolithes entiers avec la méthode des otolithes coupés transversalement (tranche fine ou broyage) pour l'omble chevalier du lac Tatik et de la rivière Hornaday. Plus précisément :
 - évaluer le biais selon le lecteur en fonction de la préparation des otolithes pour A) la méthode des otolithes entiers par rapport à la méthode des otolithes coupés en tranches fines et B) la méthode des otolithes entiers par rapport à la méthode de broyage;
 - examiner si l'amélioration perçue de la confiance des lecteurs d'âge a donné lieu à des estimations de l'âge considérablement différentes.
2. Évaluer le biais entre la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) et la méthode des otolithes coupés transversalement (c.-à-d. l'estimation définitive de l'âge fondée sur une combinaison de méthodes des otolithes entiers et des otolithes coupés en tranches fines) (lecteur 2) pour éclairer la comparabilité entre les données historiques et contemporaines sur l'âge.

MÉTHODES

COLLECTE DE DONNÉES, PRÉPARATION DES OTOLITHES ET ESTIMATION DE L'ÂGE

Des otolithes sagittaux ont été prélevés pendant l'hiver en 2010, 2011 et 2012 ($n = 579$) sur des spécimens d'omble chevalier récoltés dans le lac Tatik, aux Territoires du Nord-Ouest (N 71,2°, O 116,57°), près du hameau d'Ulukhaktok, à l'aide des méthodes décrites dans Harwood *et al.* (2013) [figure 1, tableau 1]. Des otolithes ont également été prélevés sur des ombles chevaliers ($n = 708$) capturés au cours des pêches côtières estivales de 2010, 2011 et 2012 dans l'est de la baie Darnley, aux Territoires du Nord-Ouest (N 69,4°, O 123,6°), à l'embouchure du ruisseau Lasard et de la rivière Hornaday, près du hameau de Paulatuk (Gallagher *et al.* 2017) [figure 1, tableau 1]. Les échantillons prélevés dans la rivière Hornaday (2010 et 2012) et le ruisseau Lasard (2011 et 2012) ont été combinés et seront dorénavant désignés comme des échantillons prélevés dans la « rivière Hornaday », étant donné que la majorité des poissons provenant de ces endroits sont issus de la rivière Hornaday (Harris *et al.* 2016).

L'évaluation des méthodes historiques et contemporaines d'estimation de l'âge était fondée sur des données générées par deux lecteurs d'âge. Le lecteur 1 a lu les échantillons au moyen de la méthode des otolithes entiers qui consistait à placer la surface distale de l'otolithe dans une boîte de Pétri sur un fond noir, immergée dans de l'essence de gaulthérie (agent de clarification) et observée à l'aide d'un microscope à dissection (Nikon SMZ-10A Stereozoom) et de lumière réfléchie. Les otolithes ont été lus une fois, les *annuli* ayant été interprétés selon Nordeng (1961). Le lecteur 1 a pu estimer l'âge de 568 otolithes du lac Tatik et l'âge de 707 otolithes de la rivière Hornaday (tableau 1). Il est à noter que le lecteur 1 avait fourni des estimations de l'âge d'otolithes du lac Tatik et de la rivière Hornaday chaque année depuis le début des années 1990.

Le lecteur 2 a d'abord lu les échantillons au moyen de la méthode des otolithes entiers (remarque : 3 % du total des échantillons combinés n'ont pas été examinés en format entier et préparés selon la méthode des otolithes coupés en tranches fines ou la méthode de broyage seulement; voir le paragraphe ci-dessous). Les otolithes ont été placés sur la surface distale dans une boîte de Pétri d'eau distillée sur un fond noir et ont été observés à l'aide d'un microscope à dissection (Leica MZ 12,5 avec un grossissement de 10 à 40 X) et de lumière réfléchie. Les otolithes ont été lus une fois, les *annuli* ayant été interprétés selon Nordeng (1961). La confiance du lecteur 2 quant à la lisibilité de chaque échantillon a été classée selon un indice de confiance (médiocre, assez faible, passable, assez bon et bon; tableau 2). Le lecteur 2 a pu estimer l'âge total de 552 échantillons d'otolithes entiers prélevés du lac Tatik et de 696 échantillons prélevés de la rivière Hornaday (tableau 1).

Un sous-échantillon d'otolithes entiers examinés a été relu par le lecteur 2 à l'aide de la méthode de broyage (Zhu *et al.* 2015; quoique les otolithes n'aient pas été cuits après avoir été broyés) ou à l'aide de la méthode de coupe en tranches fines (Gallagher *et al.* 2016). En 2010, l'objectif était de comparer les méthodes des otolithes entiers et de broyage, à moins qu'il n'y ait qu'un seul otolithe utilisable, auquel cas l'otolithe était préparé selon la méthode de coupe en tranches fines pour le conserver en vue d'une utilisation ultérieure (p. ex., analyse microchimique) [tableau 1]. L'otolithe se brisait parfois pendant le broyage et l'angle de lecture était incohérent (R. Wastle, observation personnelle); par conséquent, en 2011 et en 2012, la méthode des otolithes coupés en tranches fines a été retenue comme approche privilégiée. Tous les otolithes broyés ou préparés selon la méthode des otolithes coupés en tranches fines ont été lus une fois au moyen du même microscope et de la même source de lumière que pour les otolithes entiers sans connaître les estimations de l'âge des otolithes entiers. Ces estimations de l'âge ont également obtenu une note d'indice de confiance (tableau 2). Pour les échantillons du lac Tatik, les méthodes de broyage et de coupe ont été appliquées à 162 et 269 otolithes, respectivement (tableau 1). Pour les échantillons de la rivière Hornaday, les méthodes de broyage et de coupe ont été appliquées à 123 et 259 otolithes, respectivement (tableau 1).

Le lecteur 2 a attribué un âge définitif fondé sur une combinaison d'estimations de l'âge des otolithes entiers et des otolithes coupés en tranches fines (appelée dorénavant la méthode des otolithes entiers coupés). Lorsque les estimations de l'âge différaient d'une méthode à l'autre, l'estimation définitive choisie par le lecteur 2 était fondée sur la lecture qui avait la note de confiance la plus élevée. L'estimation de l'âge des otolithes coupés ou broyés était choisie si les notes de l'indice de confiance étaient les mêmes.

ANALYSE

La structure de l'otolithe et la formation de l'*annulus* ont tendance à être uniformes au fil du temps au sein des populations. Comme les objectifs de la présente étude étaient d'évaluer les méthodes de préparation des otolithes et le biais du lecteur, les données sur l'âge ont été regroupées entre les années (2010, 2011 et 2012) pour les deux emplacements (lac Tatik et rivière Hornaday), sauf indication contraire.

Les courbes des biais en fonction de l'âge, qui représentent l'estimation de l'âge moyen avec des intervalles de confiance à 95 %, d'un lecteur d'âge correspondant à chaque catégorie d'âge de l'autre lecteur d'âge ou méthode d'estimation de l'âge (Campana *et al.* 1995), ont été créés pour examiner le biais sous forme graphique : A) entre la méthode des otolithes entiers et les méthodes de coupe et de broyage (lecteur 2 seulement), B) entre les méthodes associées à un changement de niveau de confiance (c.-à-d. des otolithes lus dans leur totalité avec un niveau de confiance faible qui, lorsqu'ils ont été préparés selon la méthode des otolithes coupés, ont été lus avec un niveau de confiance élevé; lecteur 2 seulement), C) entre les méthodes

associées à l'absence de changement du niveau de confiance (c.-à-d. des otolithes entiers lus avec un degré de confiance élevé qui, lorsqu'ils ont été préparés selon la méthode des otolithes coupés, ont également été lus avec un niveau de confiance élevé; lecteur 2 seulement), D) entre les lecteurs à l'aide de la méthode des otolithes entiers, et E) entre les lecteurs pour la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) et les estimations définitives de l'âge attribuées au moyen de la méthode des otolithes entiers coupés (lecteur 2). Aux fins de la présente étude, les notes de confiance « médiocre », « assez faible » ou « passable » ont été classées comme des estimations de « faible niveau de confiance », tandis que les notes de confiance « assez bon » ou « bon » étaient des estimations de « confiance élevée ».

Le coefficient de variation (CV) (Chang [1982]) a été calculé pour chaque comparaison :

$$CV_j = 100 \times \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^R \frac{(X_{ij} - X_j)^2}{R - 1}}}{X_j}$$

où R est le nombre de fois que chaque échantillon a été lu, X_j correspond à l'estimation de l'âge moyen du j^{e} poisson et X_{ij} équivaut à la i^{e} estimation de l'âge pour le j^{e} poisson. Plus le CV est bas, plus l'estimation est précise. Le coefficient de variation est influencé par l'expérience du lecteur d'âge, l'espèce et la méthode de préparation. Bien qu'il n'y ait pas de seuil établi, Campana (2001) suggère un CV de 5 % pour déterminer les estimations précises pour les laboratoires d'estimation de l'âge. Nous avons calculé un CV pour chacune des comparaisons décrites ci-dessus pour les courbes des biais. Nous avons également calculé le pourcentage d'accord (PA), qui est une autre mesure de précision pour comparer les données sur l'âge. Nous avons de plus calculé le pourcentage d'échantillons qui avaient un accord exact entre la méthode ou le lecteur (PA0) et le pourcentage qui différait de plus ou moins un an (PA1).

Le test de Wilcoxon pour observations appariées a été utilisé pour vérifier les différences entre les paires appariées d'estimations de l'âge. Un test du chi carré a été utilisé pour évaluer les différences dans la fréquence des catégories d'indice de confiance attribuées par le lecteur 2. La distribution de la fréquence d'âge, la longueur moyenne selon l'âge et la mortalité annuelle (Robson et Chapman 1961) ont été comparées pour la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) et les estimations définitives de l'âge à partir de la méthode des otolithes entiers coupés (lecteur 2). Un test de Mann-Whitney (échantillons indépendants) a été utilisé pour vérifier les différences dans les distributions des âges pour chaque année d'échantillonnage pour les deux emplacements.

Enfin, nous avons vérifié les différences de croissance à l'aide des estimations de l'âge au moyen de la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) et des estimations définitives au moyen de la méthode des otolithes entiers coupés (lecteur 2). Le modèle de croissance de von Bertalanffy :

$$L_t = L_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

où L_t est la durée prévue au moment t , L_{∞} est la longueur moyenne asymptotique, K est le coefficient de croissance de Brody, et t_0 est l'artefact de modélisation représentant le moment ou l'âge lorsque la longueur moyenne était de zéro (Ricker 1975), a été généré à l'aide du progiciel « FSA » (Simple Fisheries Stock Assessment Methods) pour l'environnement R (R Core Team 2017) détaillé dans Ogle (2016). Pour déterminer si les paramètres L_{∞} , K et t_0 étaient significativement différents entre les lecteurs, des paires de modèles candidats du même type ont été comparées dans un cadre hiérarchique où des modèles complexes ont été testés par rapport à des modèles plus simples avec moins de paramètres à l'aide d'un test-F

sur la somme des carrés des résidus (SCR) (Ogle 2016). Des comparaisons ont été effectuées jusqu'à ce qu'un modèle plus simple ne corresponde pas aussi bien aux données qu'un modèle plus complexe, et le modèle ayant la plus faible SCR a été sélectionné si plusieurs modèles ayant les mêmes paramètres correspondaient aux données aussi bien qu'un modèle plus complexe. Tous les résultats statistiques ont été jugés significatifs pour les valeurs $P \leq 0,05$.

RÉSULTATS

SELON LES LECTEURS, ENTRE LES MÉTHODES

Lac Tatik

Les estimations appariées de l'âge au moyen des otolithes entiers et des otolithes coupés en tranches fines du lecteur 2 étaient très différentes ($Z = -3,27$, $P = 0,001$) (tableau 3A). Aucun biais n'a été observé pour les estimations de l'âge ≤ 11 (figure 2A). Toutefois, les estimations au moyen des otolithes entiers étaient en moyenne d'un an de moins que celles au moyen des otolithes coupés en tranches fines dont l'âge se situe entre 13 et 15 ans et de deux à six ans de moins que celles au moyen des otolithes coupés dont l'âge est de 16 à 21 ans. L'âge maximal était 17 et 21 selon les méthodes des otolithes entiers et des otolithes coupés en tranches fines, respectivement. Le CV était de 4,6 %, tandis que le PA0 et le PA1 étaient respectivement de 50,8 % et de 87,7 % (tableau 3A). Une différence statistiquement significative dans la fréquence des niveaux de confiance faibles et élevés a été observée entre les lectures des otolithes entiers et celles des otolithes coupés ($X^2 = 48,6$, $P < 0,05$). La fréquence combinée d'« assez bon » et « bon » a augmenté considérablement, passant de 46 à 126 lorsque les otolithes étaient coupés en tranches fines et le niveau de confiance du lecteur 2 s'est amélioré pour les âges attribués à l'aide de la méthode des otolithes coupés comparativement à la méthode des otolithes entiers pour 58,4 % des échantillons (104 sur 178) (tableau 4A).

La comparaison de l'estimation de l'âge des paires appariées selon la méthode des otolithes entiers et la méthode de broyage n'était pas significativement différente ($Z = -0,11$, $P = 0,91$). Le CV était de 1,5 %, et le PA0 et le PA1 étaient respectivement de 85,6 % et 95 % (tableau 3A). Le broyage des otolithes a amélioré le niveau de confiance du lecteur 2 dans 91,3 % des échantillons (42 sur 46) qui avaient une note de confiance faible lorsqu'ils étaient lus entiers ($X^2 = 28,1$, $P < 0,05$) (tableau 4B). Après le broyage, la lisibilité s'est améliorée pour un peu plus de la moitié (33 sur 60) des « assez bons » otolithes et n'a pas changé pour presque tous (47 sur 54) les « bons » otolithes (tableau 4B). Il y a eu quelques cas où la lisibilité a diminué avec le broyage ($n = 10$).

Les estimations de l'âge au moyen des otolithes qui ont reçu des notes de confiance élevée pour les méthodes des otolithes entiers et des otolithes coupés en tranches fines n'étaient pas significativement différentes ($Z = -0,71$, $P = 0,48$) (figure 4A). Les lectures des otolithes entiers qui ont reçu une note d'indice de confiance faible ne différaient pas non plus ($Z = -1,35$, $P = 0,17$) des estimations correspondantes de l'âge au moyen des otolithes coupés en tranches fines qui ont reçu une note de confiance élevée (tableau 3, figure 5A). Cependant, la précision était plus élevée pour la comparaison entre les estimations de l'âge au moyen des otolithes entiers et des otolithes coupés en tranches fines (les deux avec des notes de confiance élevées) (CV = 1,5 %, PA0 = 86,5 %, PA1 = 97,3 %) que pour les estimations de l'âge au moyen des otolithes coupés en tranches fines avec un niveau de confiance élevé et les estimations au moyen des otolithes entiers avec un niveau de confiance faible (CV = 4,1 %, PA0 = 51,7 %, PA1 = 93,3 %).

Rivière Hornaday

La comparaison des estimations appariées de l'âge au moyen des otolithes entiers et des otolithes coupés en tranches fines (lecteur 2) était très différente ($Z = -4,5$, $P < 0,001$). Aucun biais n'a été observé entre les âges 5 et 9. Toutefois, les estimations de l'âge au moyen des otolithes entiers étaient d'environ un an plus jeunes que celles au moyen des otolithes coupés de 10 à 13 ans, avec une différence de 3 ans pour un seul échantillon avec une estimation au moyen des otolithes coupés en tranches fines de 13 ans (figure 2B). Le CV était de 4,6 % et le PA0 et le PA1 étaient respectivement de 56,4 % et de 93,8 % (tableau 3B). Une différence statistiquement significative dans la fréquence des niveaux de confiance faibles et élevés a été observée entre les méthodes ($X^2 = 101,2$, $P < 0,05$). La fréquence combinée d'« assez bon » et « bon » est passée de 25 à 128 lorsque les otolithes étaient coupés et le niveau de confiance du lecteur 2 s'est amélioré pour les âges attribués à l'aide de la méthode des otolithes coupés en tranches fines comparativement à la méthode des otolithes entiers pour 50,5 % des échantillons (110 sur 218) (tableau 5A).

La comparaison des estimations de l'âge selon la méthode des otolithes entiers et selon la méthode de broyage n'était pas significative ($Z = -1,73$, $P = 0,08$) (tableau 3B) (figure 3B). Le CV entre la méthode des otolithes entiers et la méthode de broyage était de 2,1 % et le pourcentage d'accord était élevé (PA0 = 80,5 % et PA1 = 99,2 %) (tableau 3B). Le broyage des otolithes a amélioré le niveau de confiance du lecteur 2 dans 76,2 % des échantillons (16 sur 21) qui avaient une note de confiance faible lorsqu'ils étaient lus entiers ($X^2 = 6,7$, $P < 0,01$) (tableau 5B). Après le broyage, le niveau de confiance s'est accru pour la plupart (16 sur 21) des lectures d'otolithes entiers « passables » et pour environ la moitié (22 sur 47) de ceux « assez bons » et il n'a pas changé pour presque toutes (48 sur 55) les lectures des « bons » otolithes (tableau 5B).

Les estimations de l'âge qui ont reçu des notes de confiance élevée pour les méthodes des otolithes entiers et des otolithes coupés n'étaient pas significativement différentes ($Z = -2,13$, $P = 0,48$) (figure 4B). Les estimations de l'âge au moyen des otolithes entiers qui ont reçu une note d'indice de confiance faible ne différaient pas ($Z = -1,12$, $P = 0,17$) des estimations correspondantes de l'âge au moyen des otolithes coupés jugés plus faciles à interpréter (figure 5B). La précision était généralement plus élevée pour la comparaison entre les estimations de l'âge au moyen des otolithes entiers et des otolithes coupés avec des notes de confiance élevée (CV = 3,0 %, PA0 = 73,3 %, PA1 = 93,3 %) qu'entre les estimations de l'âge au moyen des otolithes coupés en tranches fines avec un niveau de confiance élevée et les estimations au moyen des otolithes entiers avec un niveau de confiance faible (CV = 4,0 %, PA0 = 61,3 %, PA1 = 95,3 % (tableau 3B).

La fréquence des notes de confiance faible et élevée entre les emplacements était significativement différente pour les estimations de l'âge au moyen des otolithes entiers ($X^2 = 9,4$, $P = 0,002$) où une prévalence plus élevée de niveau de confiance plus faible a été décelée pour le lac Tatik comparativement à la rivière Hornaday (75 % comparativement à 69 %). Toutefois, aucune différence significative n'a été décelée entre les sites pour la méthode des otolithes coupés ($X^2 = 0,05$, $P = 0,8$) ou la méthode de broyage ($X^2 = 0,08$, $P = 0,78$).

ENTRE LES LECTEURS

Lac Tatik

Les estimations appariées de l'âge au moyen des otolithes entiers entre les lecteurs 1 et 2 étaient statistiquement différentes ($Z = -3,6$, $P < 0,001$). La courbe des biais montrait un accord relativement étroit entre les âges 8 et 11, mais le lecteur 1 a produit des estimations qui étaient

d'environ un an de plus pour les âges 4 à 7 et d'un à deux ans de moins pour les âges supérieurs à 12 (figure 6A). Le CV entre les lecteurs était de 5,7 %, tandis que le PA0 et le PA1 étaient respectivement de 44,0 % et de 88,2 % (tableau 3A).

Une comparaison entre la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) et l'âge final attribué à l'aide de la méthode des otolithes entiers coupés (lecteur 2) n'était pas significativement différente ($Z = -1,34$, $P = 0,18$). Cependant, en moyenne, le lecteur 1 a obtenu des estimations qui étaient d'environ 0,5 an de plus des âges 5 à 7, tandis que le lecteur 2 a obtenu des estimations qui étaient en moyenne de 1 à 2 ans de plus à partir de l'âge 11 (figure 7A). Le CV était de 6,0 %, et le PA0 et le PA1 étaient respectivement de 44,6 % et de 88,4 % (tableau 3A).

La distribution de la fréquence de l'âge était très différente selon les méthodes et les lecteurs pour chaque année d'échantillonnage (tous les $P \leq 02$). Parmi les années, les distributions avaient une forme semblable, mais la méthode des otolithes entiers coupés appliquée par le lecteur 2 produisait une plus grande proportion > 12 ans et un âge maximal plus élevé (21 ans par rapport à 17 ans) comparativement à la méthode des otolithes entiers utilisée par le lecteur 1 (figure 8). La mortalité annuelle a suivi une tendance semblable d'une année à l'autre pour les méthodes et les lecteurs. Toutefois, les valeurs annuelles de mortalité étaient uniformément plus faibles pour la méthode des otolithes entiers coupés (lecteur 2; moyenne = 0,36; plage = 0,47 à 0,30) comparativement à la méthode des otolithes entiers (lecteur 1; moyenne = 0,47; plage = 0,55 à 0,39) (figure 9A). La longueur moyenne selon l'âge ne différait pas considérablement entre les âges communs aux deux lecteurs (figure 9B) et il n'y avait pas de différence significative entre les paramètres du modèle de croissance de von Bertalanffy ($P > 0,1$) (tableau 6).

Rivière Hornaday

Les estimations de l'âge au moyen des otolithes entiers des lecteurs 1 et 2 étaient statistiquement différentes ($Z = -12,6$, $P < 0,001$) (tableau 3B). Les estimations de l'âge au moyen des otolithes entiers étaient semblables entre les lecteurs pour les âges 4 à 7, mais au-delà de l'âge 8, le lecteur 2 a obtenu des âges qui étaient en moyenne de 1 à 4 ans supérieurs que ceux obtenus par le lecteur 1, à l'exception d'un seul échantillon où il y avait accord à 14 ans (figure 6B). Le CV était de 5,8 %, tandis que le PA0 et le PA1 étaient respectivement de 55,5 % et de 90,1 %.

Il y avait une différence importante entre la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) et la méthode des otolithes entiers coupés (lecteur 2) ($Z = -14,0$, $P < 0,001$) (tableau 3B). Les résultats étaient semblables pour les âges 5 à 7, mais au-delà de l'âge 8, le lecteur 2 a estimé des âges plus avancés, à l'exception d'un poisson (figure 7B). Le CV était de 6,7 %, tandis que le PA0 et le PA1 étaient respectivement de 53,6 % et 86,2 %.

La distribution de la fréquence de l'âge était très différente selon les méthodes et les lecteurs pour chaque année d'échantillonnage (tous les $P \leq 01$). La distribution pour toutes les années combinées avait un mode semblable (âge 7), mais il y avait une proportion plus élevée des âges ≥ 8 pour la méthode des otolithes entiers coupés utilisée par le lecteur 2 et une proportion plus élevée des âges ≥ 6 pour la méthode des otolithes entiers utilisée par le lecteur 1 (figure 10). Les âges maximaux estimés étaient de 14 pour la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) et de 23 pour la méthode des otolithes en coupe transversale (lecteur 2) (à noter que le lecteur 2 a attribué à un échantillon un âge de 23 ans qui a été étiqueté par le lecteur 1 comme « illisible » et n'a pas été inclus dans la comparaison des paires appariées). Les valeurs annuelles de mortalité ont suivi une tendance semblable d'une année à l'autre pour les méthodes et les lecteurs. Toutefois, la mortalité fondée sur les estimations définitives de l'âge de la méthode des otolithes entiers coupés (lecteur 2) était uniformément plus faible (moyenne

= 0,61; plage = 0,44 à 0,70) comparativement à la mortalité fondée sur la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) (moyenne = 0,77; plage = 0,57 à 0,88) (figure 11A). La longueur moyenne selon l'âge était inférieure pour la méthode des otolithes entiers coupés (lecteur 2) que pour la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) (figure 11B), bien qu'aucune différence significative dans les paramètres du modèle de croissance de von Bertalanffy n'ait été décelée entre les lecteurs ($P > 0,2$) (tableau 6).

DISCUSSION

PRÉPARATION DE L'OTOLITHE

La méthode de préparation de l'otolithe avait une incidence sur les données relatives à l'âge produites pour les deux emplacements. Nous avons noté des différences entre le lac Tatik et la rivière Hornaday en ce qui concerne l'âge auquel la méthode des otolithes coupés en tranches fines (13 ans par rapport à 10 ans, respectivement) et la méthode de broyage (10 ans par rapport à 8 ans, respectivement) commençaient à différer de la méthode des otolithes entiers. Les études menées auparavant sur l'omble chevalier où l'on a comparé les estimations de l'âge obtenues par la méthode des otolithes entiers et la méthode consistant à casser et brûler les otolithes (Barber and MacFarlane 1987; Kristofferson and Klemetsen 1991; Babaluk *et al.* 2007), ainsi que par les méthodes des otolithes entiers et ceux coupés (Babaluk *et al.* 2007) ont également permis de découvrir que la méthode des otolithes entiers avait tendance à produire des données sous-estimées chez les classes d'âge supérieures. L'estimation de l'âge (otolithe entier) auquel le biais est apparu était d'environ 4 ans pour le lac Nauyuk et de 10 ans pour la rivière Ekalluk dans le document de Barber et MacFarlane (1987) [à noter que nous excluons leurs observations pour les échantillons de la mer de Beaufort, étant donné qu'il a été déterminé par la suite qu'il s'agissait d'échantillons de Dolly Varden, *S. malma*; voir Reist *et al.* 1997], de 10 ans pour le lac Ellasjøen (omble dont le taux de croissance est de de niveau inférieur seulement) (Kristofferson and Klemetsen 1991), et d'environ 14 ans pour le lac Hazen (Babaluk *et al.* 2007). Les auteurs des études précédentes ont indiqué que l'écart entre les méthodes augmentait avec l'âge. Nos résultats indiquent que la lisibilité des otolithes peut différer d'une population à l'autre, ce qui est confirmé par la proportion plus élevée de données d'un niveau de confiance plus faible pour les otolithes entiers du lac Tatik présentés ici. La différence pourrait être le résultat de l'histoire distincte des populations. L'omble chevalier anadrome du lac Tatik hiverne et croît dans un habitat lacustre et vit habituellement plus longtemps tandis que les ombles de la rivière Hornaday qui croissent et hivernent dans un habitat fluvial ont tendance à avoir une vie plus courte (voir Jensen 1994). On sait qu'il est plus difficile d'interpréter les otolithes de poissons qui vivent plus longtemps à l'aide de la méthode des otolithes entiers, car la croissance ralentit et les *annuli* sont disposés plus près les uns des autres sur les bords (Power 1978).

Les mesures de précision (CV, PA0, PA1) découlant de comparaisons entre la méthode des otolithes entiers-coupés et la méthode des otolithes entiers-broyés dans cette étude laissent croire que la méthode de broyage peut être plus efficace que la méthode de coupe pour les otolithes de l'omble chevalier, mais il s'agit probablement d'un artefact dû à une plage d'âge plus étroite, avec moins d'échantillons plus anciens, provenant d'une comparaison basée sur la méthode des otolithes entiers-broyés. Il est plausible de supposer que le broyage des otolithes peut être une solution de rechange appropriée à la méthode de coupe en tranches fines étant donné que les deux méthodes examinent les *annuli* le long du plan transversal et produisent des données d'âge de grande fiabilité. Le broyage prend moins de temps, car il ne nécessite pas l'enrobage des otolithes dans l'époxy, ce qui prend quelques jours à durcir. Cependant, la méthode du broyage est plus difficile à apprendre, tend à séparer l'otolithe en sillon et est plus

susceptible de produire un angle de lecture incohérent sur le plan transversal (R. Wastle, observation personnelle). Par conséquent, il est recommandé que les otolithes de l'omble chevalier soient découpés en tranches fines plutôt que broyés.

Notre évaluation des cotes de confiance et de l'amélioration perçue de la lisibilité a révélé une différence importante entre les estimations de l'âge des otolithes entiers et des otolithes entiers coupés lorsque les deux ont reçu des notes de confiance élevée pour la rivière Hornaday ($P < 0,05$), mais pas pour le lac Tatik. Cependant, la faible taille des échantillons pour les deux tests (30 et 37 poissons) aurait pu influencer sur le résultat. La comparaison des estimations de l'âge au moyen des otolithes entiers auxquels on a attribué un faible degré de confiance et des âges correspondants au moyen des otolithes coupés en tranches fines ayant un degré de confiance élevée n'était pas significative pour les deux emplacements (tailles d'échantillon de 89 et 106 poissons). Ces résultats indiquent qu'il n'est peut-être pas nécessaire d'utiliser des otolithes coupés avec de faibles notes de confiance pour déterminer l'âge à l'aide de la méthode des otolithes entiers (voir le protocole d'estimation de l'âge ci-dessous). Toutefois, la confiance accrue que procure la coupe des otolithes au lecteur d'âge peut être une justification raisonnable pour cette étape supplémentaire. En outre, il est probable qu'avec le temps, l'expérience du lecteur augmentera la fréquence des cotes de confiance élevée pour les lectures sur des otolithes entiers et que, par conséquent, le nombre d'otolithes nécessitant une coupe diminue.

PROTOCOLE D'ESTIMATION DE L'ÂGE

L'élaboration du protocole d'estimation de l'âge de l'omble chevalier anadrome adopté par l'Institut des eaux douces du ministère des Pêches et des Océans (MPO) à la fin des années 2000 était fondée sur les résultats présentés ici pour le lac Tatik et la rivière Hornaday, ainsi que d'autres stocks d'omble chevalier examinés par le laboratoire. Le protocole utilise les méthodes de préparation des otolithes entiers et des otolithes coupés en tranches fines de pair avec l'indice de confiance. Une procédure supplémentaire d'assurance et de contrôle de la qualité exige qu'un second lecteur d'âge du laboratoire, formé et expérimenté en matière d'estimation de l'âge de l'omble chevalier, sélectionne au hasard 15 % des échantillons et procède à une nouvelle lecture. L'objectif est d'atteindre une différence relative en pourcentage (DRP, %) de $< 10 \%$ pour un seul échantillon entre les lecteurs et une moyenne de $< 5 \%$ pour le total des échantillons combinés qui ont été relus :

$$RPD = \frac{|Reader\ 1\ age - Reader\ 2\ age|}{mean\ of\ pooled\ age} \times 100$$

Tous les échantillons dont la DRP est supérieure à 10 % seront réexaminés par les deux lecteurs afin d'établir une estimation consensuelle de l'âge.

Le point auquel la méthode de l'otolithe entier et celle de l'otolithe coupé en tranches fines ou broyé commencent à diverger quant à l'âge semble être propre au stock (d'après les travaux présentés ici et d'autres comparaisons non publiées). Par conséquent, une étude comparative de l'âge selon les méthodes devrait être menée sur les différents stocks afin de déterminer l'âge approprié pour passer de la méthode des otolithes entiers à la méthode des otolithes entiers coupés. De plus, des travaux supplémentaires sont requis pour déterminer la précision (répétabilité) du protocole selon le lecteur.

Les protocoles d'estimation de l'âge suivants sont recommandés pour l'omble chevalier du lac Tatik et de la rivière Hornaday :

Lac Tatik :

-
- Méthode des otolithes entiers si ≤ 12 ans;
 - Méthode des otolithes coupés en tranches fines si ≥ 13 ans (entiers);
 - Si le niveau de confiance dans l'estimation de l'âge selon la méthode des otolithes entiers de ≤ 12 ans est faible, l'otolithe serait analysé selon la méthode en tranches fines pour confirmer ou réévaluer l'âge assigné.

Il est à noter que le biais observé à l'âge 12 avec la méthode des otolithes entiers à l'aide de tous les échantillons (figure 2A) n'est pas présent lors de l'examen des estimations pour les otolithes entiers avec un degré de confiance élevée (figure 4A).

Rivière Hornaday :

- Méthode des otolithes entiers si ≤ 9 ans;
- Méthode des otolithes coupés en tranches fines si ≥ 10 ans (entiers);
- Si le niveau de confiance dans l'estimation de l'âge selon la méthode des otolithes entiers de ≤ 9 ans est faible, l'otolithe serait analysé selon la méthode en tranches fines pour confirmer ou réévaluer l'âge assigné.

D'après les estimations de l'âge selon la méthode des otolithes entiers produites par le lecteur 2 et en suivant la deuxième puce des protocoles d'estimation de l'âge proposés, 14,4 % des échantillons du lac Tatik et 4,4 % des échantillons de la rivière Hornaday devraient être analysés selon la méthode des otolithes coupés en tranches fines. Toutefois, pour maximiser la confiance dans les estimations de l'âge, le fait d'utiliser la méthode de coupe sur les otolithes entiers ≤ 12 ans du lac Tatik et de ≤ 9 ans de la rivière Hornaday ayant un indice de confiance faible (troisième puce) augmenterait les pourcentages nécessitant une coupe à 50,3 % et 45,6 %, respectivement. Ultimement, la production de données fiables sur l'âge exige un investissement considérable (c.-à-d. temps et argent) dans la préparation des otolithes (enrobage et coupe) et la reprise des lectures.

DONNÉES HISTORIQUES ET CONTEMPORAINES SUR L'ÂGE

La comparaison des données sur l'âge de l'otolithe entier entre les lecteurs d'âge était considérablement différente pour les deux emplacements. Les graphiques de biais donnent à penser que les lecteurs ont interprété certains *annuli* différemment. Les explications possibles comprennent l'incohérence entre les lecteurs dans l'interprétation de l'*annulus* de 1 an et des problèmes d'interprétation à la marge de l'otolithe où un espacement plus étroit des *annuli* peut rendre la lecture plus difficile. En moyenne, le lecteur 1 a toujours donné un âge supérieur par rapport au lecteur 2 pour les jeunes poissons. L'ampleur des différences entre les lecteurs a augmenté avec les groupes plus âgés, le lecteur 2 estimant l'âge des spécimens plus élevée qu'en réalité.

Les comparaisons statistiques des méthodes des otolithes entiers et des otolithes entiers coupés étaient significatives pour le lac Tatik, mais pas pour la rivière Hornaday, peut-être en raison du plus grand nombre de poissons plus âgés dans l'échantillon du lac Tatik. Les graphiques de biais comparant la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) à la méthode des otolithes entiers coupés (lecteur 2) présentaient une tendance semblable à celle de la comparaison avec la méthode des otolithes entiers, mais avec des différences d'âge un peu plus élevées chez les groupes plus âgés. De plus, les paramètres de croissance du modèle von Bertalanffy ne différaient pas considérablement entre les méthodes et entre les lecteurs, probablement en raison de la grande variété de tailles observées entre les classes d'âge, ce qui est typique pour cette espèce (Johnson 1980) (figures 9 et 11).

Si l'âge de l'omble chevalier a été sous-estimé pour les classes d'âge plus âgées par le lecteur 1 à l'aide de la méthode des otolithes entiers, la proportion des classes d'âge plus âgées dans la population a été sous-estimée et la mortalité annuelle de la population surestimée, soit d'environ 0,1 pour le lac Tatik et la rivière Hornaday.

S'il est déterminé que la différence d'âge entre les méthodes et les lecteurs aurait une incidence sur le résultat d'une évaluation des stocks, il pourrait être nécessaire de relire certains des échantillons historiques. D'après les résultats présentés ici, la proportion d'otolithes entiers lue par le lecteur 1 qui devrait être réexaminée pour rendre les données plus comparables est de 22,5 % pour le lac Tatik (c.-à-d. ≥ 12 ans et ≤ 7 ans; 52 + 76, respectivement sur 568) et de 20,4 % pour la rivière Hornaday (≥ 8 ans; 144 sur 707).

La possibilité de biais et les répercussions connexes associées à la comparaison des données historiques (méthode des otolithes entiers) avec les estimations contemporaines de l'âge (méthode des otolithes entiers coupés) devraient également être évaluées pour d'autres emplacements dans l'Arctique canadien. De plus, il ne faut pas supposer que l'ampleur du biais entre les lecteurs observé pour le lac Tatik et la rivière Hornaday de 2010 à 2012 serait observée pour les années antérieures ou pour d'autres populations. Le passage du temps pourrait avoir une incidence sur l'interprétation par le lecteur des *annuli* (« dérive » du lecteur d'âge), ce qui introduit une erreur liée à la cohérence de l'estimation de l'âge (Campana *et al.* 1995). Bien qu'il s'agisse d'une hypothèse, les écarts observés entre les lecteurs dans cette étude pourraient avoir été à leur maximum, étant donné que cette comparaison a eu lieu alors que le lecteur 1 avait derrière lui des dizaines d'années d'expérience en matière d'estimation de l'âge des poissons.

CONCLUSION

L'évaluation de la précision, du biais et de la confiance du lecteur entre les méthodes a révélé qu'une combinaison de méthodes de préparation de l'otolithe (entier et tranches fines) utilisées pour un protocole d'estimation de l'âge produisait des renseignements très précis sur l'âge. Les otolithes étaient examinés dans leur intégralité jusqu'à un certain âge, puis ils étaient coupés en tranches fines par la suite. La différence observée au moment de la coupe pour le lac Tatik et la rivière Hornaday indique que les protocoles pour l'omble chevalier sont propres aux stocks. Par conséquent, une étude comparative de l'âge entre les méthodes devrait être menée sur les différents stocks afin de déterminer l'âge approprié auquel commencer à appliquer la méthode des otolithes coupés en tranches fines. Bien que cette méthode n'ait pas été validée, on considère qu'elle fournit des estimations de l'âge présentant un niveau de confiance élevé pour l'omble chevalier. L'association d'un niveau de confiance à l'aide de critères normalisés à chaque estimation de l'âge en conjonction avec une DRP moyenne cible de < 5 % lorsqu'un deuxième lecteur relit un sous-échantillon fournit la base du suivi du contrôle de la qualité pour le laboratoire d'estimation de l'âge de l'Institut des eaux douces du MPO. Bien que nos constatations indiquent qu'il n'est peut-être pas nécessaire d'utiliser des otolithes coupés avec un niveau de confiance faible pour l'âge attribué à l'aide de la méthode des otolithes entiers, cela pourrait ne pas être vrai pour d'autres stocks. Ce point pourrait être examiné dans le cadre de la comparaison propre au stock. De plus, l'examen périodique d'une collection de référence pour l'omble chevalier et le suivi de la cohérence de la confiance attribuée pourraient améliorer les mesures de contrôle de la qualité pour le laboratoire (voir Campana 2001).

Il faut faire preuve de prudence en comparant les données historiques (méthode des otolithes entiers) et contemporaines (méthode des otolithes entiers coupés) sur l'âge et les estimations des paramètres démographiques fondés sur l'âge pour le lac Tatik et la rivière Hornaday, ainsi que pour d'autres populations où le protocole contemporain a été introduit. De plus, il ne faut

pas supposer que l'ampleur du biais entre les lecteurs observé pour le lac Tatik et la rivière Hornaday de 2010 à 2012 serait la même pour d'autres emplacements. Par conséquent, il serait prudent de relire certains échantillons des années précédentes pour les populations ayant une longue série chronologique d'âges attribués au moyen de la méthode des otolithes entiers. Il sera important d'évaluer les répercussions sur l'évaluation des stocks par rapport au temps et au coût associés à la relecture des échantillons historiques. Ce travail est une première étape visant à offrir une orientation sur ce sujet.

REMERCIEMENTS

Les otolithes de l'omble chevalier ont été recueillis par les surveillants des prises de la collectivité d'Ulukhaktok et Paulatuk, avec l'appui financier du fonds de mise en œuvre de la Convention définitive des Inuvialuit par l'entremise du Comité mixte de gestion des pêches. Nous tenons à remercier Gary Carder et Lenore Vandenbyllaardt d'avoir fourni les estimations de l'âge. Merci également à Margaret à Treble (MPO, Winnipeg), dont les suggestions ont contribué à améliorer le manuscrit.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Babaluk, J.A., Sawatzky, C.D., Wastle, R.J., and Reist J.D. 2007. [Biological data of Arctic char, *Salvelinus alpinus*, from Lake Hazen, Quttinirpaq National Park, Nunavut, 1958-2001](#). Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. 1197: vi + 98
- Barber, W.E., and MacFarlane, G.A. 1987. Evaluation of three techniques to age Arctic char from Alaskan and Canadian waters. *Trans. Am. Fish. Soc.* 116(6): 874–881.
- Barbour, S.E. and Einarsson, S.M. 1987. Ageing and growth of charr, *Salvelinus alpinus* (L.), from three habitat types in Scotland. *Aquacult. Fish. Man.* 18(1): 63–72.
- Buckmeier, D.L., Sakaris, P.C., and Schill, D.J. 2017. Validation of annual and daily increments in calcified structures and verification of age estimates. *In Age and growth of fishes: principles and techniques. Edited by M.C. Quist and D.A. Isermann.* American Fisheries Society. Bethesda, ML. pp. 33–79.
- Campana, S.E., Annand, M.C., McMillan, J.I. 1995. Graphical and statistical methods for determining the consistency of age determinations. *Trans. Am. Fish. Soc.* 124(1): 131–138.
- Campana, S.E. 2001. Accuracy, precision and quality control in age determination, including a review of the use and abuse of age validation methods. *J. Fish Biol.* 59(2): 197–242.
- Campana, S.E., and Thorrold, S.R. 2001. Otoliths, increments and elements: keys to a comprehensive understanding of fish populations? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 58(1): 30–38.
- Carder, G.W. 1995. [Data from various commercial fisheries for Arctic charr, *Salvelinus alpinus* \(L.\), in the Nunavut Settlement Area, Northwest Territories, 1993 and 1994](#). Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. 962 : vi + 39 p.
- Chang, W.Y.B. 1982. A statistical method for evaluating the reproducibility of age determination. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39(8): 1208–1210.
- Frost, W.E. 1978. The scales of the charr, (*Salvelinus willughbii* Günther), in Windermere, and their use for the determination of age and growth. *J. Cons. Int. Explor. Mer* 38: 208–215.
- Gallagher, C.P, Howland, K.L, and Wastle, R.J. 2016. A comparison of different structures and methods for estimating age of northern-form Dolly Varden *Salvelinus malma malma* from the Canadian Arctic. *Pol. Biol.* 39(7): 1257–1265.

-
- Gallagher, C.P., Howland, K.L., and Harwood, L. 2017. [Harvest, catch-effort, and biological information of Arctic Char \(*Salvelinus alpinus*\) collected from subsistence harvest monitoring programs at Hornaday River, Lasard Creek, and Tippitiuyak, Darnley Bay, Northwest Territories](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/108. v + 81 p.
- Geffen, A.J. 1992. Validation of otolith increment deposition rate. *In* Otolith microstructure examination and analysis. *Edited by* D.K. Stevenson and S.E. Campana. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 117. pp. 101–113.
- Grainger, E.H. 1953. On the age, growth, migration, reproductive potential and feeding habits of the Arctic char (*Salvelinus alpinus*) of Frobisher Bay, Baffin Island. Can. J. Fish. Res. Board. Can. 10: 326–370.
- Harris, L.N., Bogsuski D.A., Gallagher C.P., and Howland, K.L. 2016. Genetic stock identification and relative contribution of Arctic char (*Salvelinus alpinus*) from the Hornaday and Brock rivers to subsistence fisheries in Darnley Bay, Northwest Territories. Arctic 69: 231–245.
- Harwood, L.A., Sandstrom, S.J., Papst, M.H., and Melling, H. 2013. Kuujjua River Arctic char: monitoring stock trends using catches from an under-ice subsistence fishery, Victoria Island, Northwest Territories, Canada, 1991-2009. Arctic 66: 291–300.
- Jensen, A. 1994. Growth and age distribution of a river-dwelling and a lake-dwelling population of anadromous Arctic char at the same latitude in Norway. Trans. Am. Fish. Soc. 123: 370–376.
- Johnson, L. 1980. The Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *In* Charrs: salmonid fishes of the genus *Salvelinus*. *Edited by* E.K. Balon, Dr. W. Junk publishers, The Hague, The Netherlands. pp. 15–98.
- Jonsson, B., and Jonsson, N. 2001. Polymorphism and speciation in Arctic charr. J. Fish Biol. 58(3): 605–638.
- Kalish, J.M., Beamish, R.J., Brothers, E.B., Casselman, J.M., Francis, R.I.C.C., Mosegaard, H., Panfili, J., Prince, E.D., Thresher, R.E., Wilson, C.A., and Wright P.J. 1995. Glossary for otolith studies. *In* Recent developments in fish otolith research. *Edited by* D.H. Secor, J.M. Dean and S.E. Campana. University of South Carolina Press, SC. pp. 723–729.
- Klemetsen, A. 2013. The most variable vertebrate on Earth. J. Ichthyol. 53(10): 781–791.
- Kristofferson, A.H. and Carder, C.W. 1980. [Data from the commercial fishery for Arctic charr, *Salvelinus alpinus* \(Linnaeus\), in the Cambridge Bay area, Northwest Territories, 1971–78](#). Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci. 184: v + 25 p.
- Kristofferson, K., and Klemetsen, A. 1991. Age determination of Arctic charr (*Salvelinus alpinus*) from surface and cross section of otoliths related to otolith growth. Nord. J. Freshw. Res. 66: 98–107.
- Lai, H.L., and Gunderson, D.R. 1987. Effects of ageing errors on estimates of growth, mortality and yield per recruit for walleye pollock (*Theragra chalcogramma*). Fish. Res. 5(2–3): 287–302.
- MPO. 2016a. [Évaluation du stock d'ombles chevaliers \(*Salvelinus alpinus*\) dans la région de la baie Darnley, dans les Territoires du Nord-Ouest](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2015/024.
-

-
- MPO. 2016b. [Évaluation du stock d'ombles chevaliers \(*Salvelinus alpinus*\) dans la région d'Ulukhaktok, dans les Territoires du Nord-Ouest](#). Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2016/038.
- Nordeng, H. 1961. On the biology of charr (*Salmo alpinus* L.) In Salangen, North Norway. I, Age and spawning frequency determined from scales and otoliths. *Nytt Mag. Zool.* 10: 67–123.
- Ogle, D.H. 2016. *Introductory fisheries analyses with R*. Chapman and Hall/CRC Press, Boca Raton, FL. 337 p.
- Power, G. 1978. Fish population structure in arctic lakes. *J. Fish. Res. Board Can.* 35: 53–59.
- R Core Team. 2017. [R: A language and environment for statistical computing](#). R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Reeves, S.A. 2003. A simulation study of the implications of age reading errors for stock assessment and management advice. *ICES J. Mar. Sci.* 60(2): 314–328.
- Reist, J.D., Johnson, J.D., and Carmichael, T.J. 1997. Variation and specific identity of char from Northwestern Arctic Canada and Alaska. *Am Fish Symp* 19: 250–261.
- Ricker, W.E. 1975. Computation and interpretation of biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can. Bull.* 191: xviii + 382 p.
- Robson, D.S., and Chapman, D.G. 1961. Catch curves and mortality rates. *Trans. Am. Fish. Soc.* 90: 181–189.
- Secor, D.H., Dean, J.M., and Campana, S.E. 1995. *Recent developments in fish otolith Research*. University of South Carolina Press, Columbia, SC. 730 p.
- Spurgeon, J.J., Hamel, M.J., Pope, K.L., and Pegg, M.A. 2015. The global status of freshwater fish age validation studies and a prioritization framework for further research. *Rev. Fish. Sci. Aquacul.* 23(4): 329–345.
- Stransky, C., Gudmundsdóttir, S., Sigurdsson, T., Lemvig, S., Nedreaas, K., and Saborido-Rey, F. 2005. Age determination and growth of Atlantic redfish (*Sebastes marinus* and *S. mentella*): bias and precision of age readers and otolith preparation methods. *ICES J. Mar. Sci.* 62(4): 655–670.
- Snow, R.A., Porta, M.J., and Long, J.M. 2018. Precision of four otolith techniques for estimating age of white perch from a thermally altered reservoir. *N. Am. J. Fish. Man.* 38(3): 725–733.
- Winkler, A.C., Duncan, M.I., Farthing, M.W., and Potts M.W. 2019. Sectioned or whole otoliths? A global review of hard structure preparation techniques used in ageing sparid fishes. *Rev. Fish. Biol. Fisheries* 29: 605–611.
- Zhu, X., Wastle, R.J., Howland, K.L., Leonard, D.J., Mann, S., Carmichael, T.J., and Tallman, R.F. 2015. A comparison of three anatomical structures for estimating age in a slow-growing subarctic population of lake whitefish. *N. Am. J. Fish. Man.* 35(2): 262–270.
- Zhu, X., Gallagher, C.P., Howland, K.L., Harwood, L.A., and Tallman, R.F. 2017. [Multimodel assessment of population production and recommendations for sustainable harvest levels of anadromous Arctic Char, *Salvelinus alpinus* \(L.\), from the Hornaday River, Northwest Territories](#). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2016/116. v + 81 p.

TABLEAUX ET FIGURES

Tableau 1. Taille des échantillons dans les méthodes de préparation des otolithes utilisées par deux lecteurs d'âge pour estimer l'âge des ombles chevaliers capturés dans la rivière Hornaday et le lac Tatik dans les Territoires du Nord-Ouest*. Veuillez noter que les échantillons prélevés dans le ruisseau Lasard et la rivière Hornaday proviennent principalement du même stock.

Lieu	Année	Taille de l'échantillon d'otolithes	Lecteur 1		Lecteur 2	
			Entier	Entier	Coupé	Broyé
Lac Tatik	2010	199	196	194	41	162
	2011	184	183	175	114	0
	2012	196	189	183	114	0
Total	-	579	568	552	269	162
Riv. Hornaday	2010	170	170	163	45	123
Ruis. Lasard	2011	284	283	283	92	0
Riv. Hornaday	2012	154	154	153	73	0
Ruis. Lasard	2012	100	100	97	48	0
Total		708	707	696	259	123

* Les différences dans le nombre d'otolithes examinés par les lecteurs sont attribuables soit à un égarement des otolithes entre les lectures, soit à des cas où un lecteur a fourni une estimation alors que l'autre n'en a pas fourni.

Tableau 2. Indice de confiance utilisé par le laboratoire d'estimation de l'âge de l'Institut des eaux douces de Pêches et Océans Canada (adapté du rapport non publié de S. MacLellan sur les méthodes d'estimation de l'âge utilisées par la Station biologique du Pacifique de Pêches et Océans Canada).

Indice de confiance (abréviation)	Signification qualitative (clarté de la tendance)	Signification quantitative (reproductibilité)	Âge et exemples de commentaires
Bon (B)	Le patron est très défini et ne présente aucun problème d'interprétation.	Le lecteur attribuerait toujours le même âge.	10+(B), 38+(B)
Assez bon (AB)	Le patron est bien défini et présente quelques problèmes d'interprétation simples.	Le lecteur attribuerait le même âge la plupart du temps aux poissons de moins de 20 ans, avec un écart d'un an pour les poissons de 20 à 40 ans, etc.	7+(AB), 33+ (AB)
Passable (P)	Le patron est assez bien défini et certaines régions présentent des problèmes d'interprétation simples et modérés.	Le lecteur attribuerait l'âge avec un écart d'un an la plupart du temps aux poissons de moins de 20 ans, avec un écart de 2 à 3 ans pour les poissons de 20 à 40 ans, etc.	9+ (P) – 1 ^{re} année inconnue
Assez faible (AF)	Le patron est assez mal défini et présente un certain nombre de problèmes d'interprétation difficiles.	Le lecteur attribuerait l'âge avec un écart de 2 à 3 ans la plupart du temps aux poissons de moins de 20 ans, avec un écart de 4 à 5 ans pour les poissons de 20 à 40 ans, etc.	19+(AF) – Peut-être 1 de plus entre 3 et 4; les anneaux extérieurs sont rapprochés et peu apparents.
Médiocre (M)	Le patron est très mal défini et présente des problèmes d'interprétation importants.	La confiance du lecteur quant à la reproductibilité de l'établissement de l'âge chez les poissons âgés de 5 à 10 ans est très peu élevée, et encore moins pour les poissons plus âgés.	36+(M) – Mauvais plan de coupe, en partie cristallin.

Tableau 3. Coefficient de variation (CV), test de Wilcoxon (observations appariées) (statistiques de test [Z] et valeur de p), pourcentage d'accord exact (PA0), pourcentage d'accord avec un écart d'un an (± 1 an) (PA1) et taille de l'échantillon d'otolithes (n) pour la comparaison des estimations appariées de l'âge des ombles chevaliers de la rivière Hornaday et du lac Tatik dans les Territoires du Nord-Ouest entre les méthodes et les lecteurs (R1 et R2)[†].

A) Lac Tatik

Comparaison	Méthode de préparation	CV (%)	Z	PA0 (%)	PA1 (%)	n
Entre les observations du lecteur 2	Entier vs coupé	4,6	-3,27, $P = 0,001$	50,8	87,7	244
	Entier vs broyé	1,5	-0,11, $P = 0,91$	85,6	95,0	160
	Entier (M, AF, P)* vs coupé (AB, B)*	4,1	-1,35, $P = 0,17$	51,7	93,3	89
	Entier (AB, B)* vs coupé (AB, B)*	1,5	-0,71, $P = 0,48$	86,5	97,3	37
Entre les lecteurs	Entier	5,7	-3,6, $P < 0,001$	44,0	88,2	543
	Entier (L1) vs entier coupé (L2)	6,0	-1,34, $P = 0,18$	44,6	88,4	561

B) Rivière Hornaday

Comparaison	Méthode de préparation	CV (%)	Z	PA0 (%)	PA1 (%)	n
Entre les observations du lecteur 2	Entier vs coupé	4,6	-4,5, $P < ,001$	56,4	93,8	249
	Entier vs broyé	2,1	-1,73, $P = 0,08$	80,5	99,2	123
	Entier (M, AF, P)* vs coupé (AB, B)*	4,0	-1,12, $P = 0,26$	61,3	95,3	106
	Entier (AB, B)* vs coupé (AB, B)*	3,0	-2,13, $P = 0,03$	73,3	93,3	30
Entre les lecteurs	Entier	5,8	-12,6, $P < 0,001$	55,5	90,1	695
	Entier (L1) vs entier coupé (L2)	6,7	-14,0, $P < 0,001$	53,6	86,2	703

* Indice de confiance du lecteur d'âge : M = « médiocre », AF = « assez faible », P = « passable », AB = « assez bon » et B = « bon »

Tableau 4. Fréquence des catégories d'indice de confiance (M = « médiocre », AF = « assez faible », P = « passable », AB = « assez bon » et B = « bon ») attribuées aux estimations de l'âge établies par la méthode des otolithes entiers de l'omble chevalier du lac Tatik dans les Territoires du Nord-Ouest, et changements observés après A) la coupe en tranches fines et B) le broyage. Veuillez noter que la couleur a été ajoutée pour mettre en évidence les cas où l'indice de confiance est demeuré le même (jaune), s'est amélioré (vert) ou a diminué (rouge) après la préparation des otolithes en tranches fines ou leur broyage (n = taille de l'échantillon).

A)

n	IC – otolithe entier	Changement après la coupe				
		M	AF	P	AB	B
1	M	0	0	0	1	0
7	AF	0	0	15	10	2
170	P	0	1	93	56	20
37	AB	0	0	9	16	12
9	B	0	0	0	4	5
244	-	0	1	117	87	39

B)

n	IC – otolithe entier	Changement après le broyage				
		M	AF	P	AB	B
2	M	1	0	0	0	1
5	AF	0	0	2	2	1
39	P	0	0	3	27	9
60	AB	0	1	2	24	33
54	B	0	0	1	6	47
160	-	1	1	8	59	91

Tableau 5. Fréquence des catégories d'indice de confiance (M = « médiocre », AF = « assez faible », P = « passable », AB = « assez bon » et B = « bon ») attribuées aux estimations de l'âge établies par la méthode des otolithes entiers de l'omble chevalier de la rivière Hornaday dans les Territoires du Nord-Ouest, et changements observés après A) la coupe et B) le broyage. Veuillez noter que la couleur a été ajoutée pour mettre en évidence les cas où l'indice de confiance est demeuré le même (jaune), s'est amélioré (vert) ou a diminué (rouge) après la préparation des otolithes en tranches fines ou leur broyage (n = taille de l'échantillon).

A)

n	IC – otolithe entier	Changement après la coupe				
		M	AF	P	AB	B
0	M	0	0	0	0	0
5	AF	0	0	5	0	0
213	P	0	0	108	90	15
12	AB	0	0	2	7	3
13	B	0	0	0	4	9
243	-	0	0	115	101	27

B)

n	IC – otolithe entier	Changement après le broyage				
		M	AF	P	AB	B
0	M	0	0	0	0	0
0	AF	0	0	0	0	0
21	P	0	0	5	11	5
47	AB	0	0	3	22	22
55	B	0	0	0	7	48
123	-	0	0	8	41	75

Tableau 6. Paramètres du modèle de croissance de von Bertalanffy (équation, K et t_0) avec intervalles de confiance à 95 % pour l'omble chevalier du lac Tatik et de la rivière Hornaday dans les Territoires du Nord-Ouest, calculés à l'aide des estimations de l'âge établies à l'aide de la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) et de l'estimation finale de l'âge établie à l'aide de la méthode combinée des otolithes entiers coupés (lecteur 2).

Endroit	Méthode (lecteur)	L_∞	K	t_0
Lac Tatik	Entier (lecteur 1)	702 (665-805)	0,23 (0,11-0,35)	0,44 (-3,69-2,3)
	Entier coupé (lecteur 2)	680 (661-705)	0,32 (0,24-0,42)	2,14 (0,95-3,07)
Rivière Hornaday	Entier (lecteur 1)	635 (620-656)	0,54 (0,38-0,74)	2,07 (0,82-2,84)
	Entier coupé (lecteur 2)	666 (637-740)	0,35 (0,18-0,55)	0,4 (-2,44-1,75)



Figure 1. Emplacement du lac Tatik et de la rivière Hornaday dans les Territoires du Nord-Ouest, au Canada.

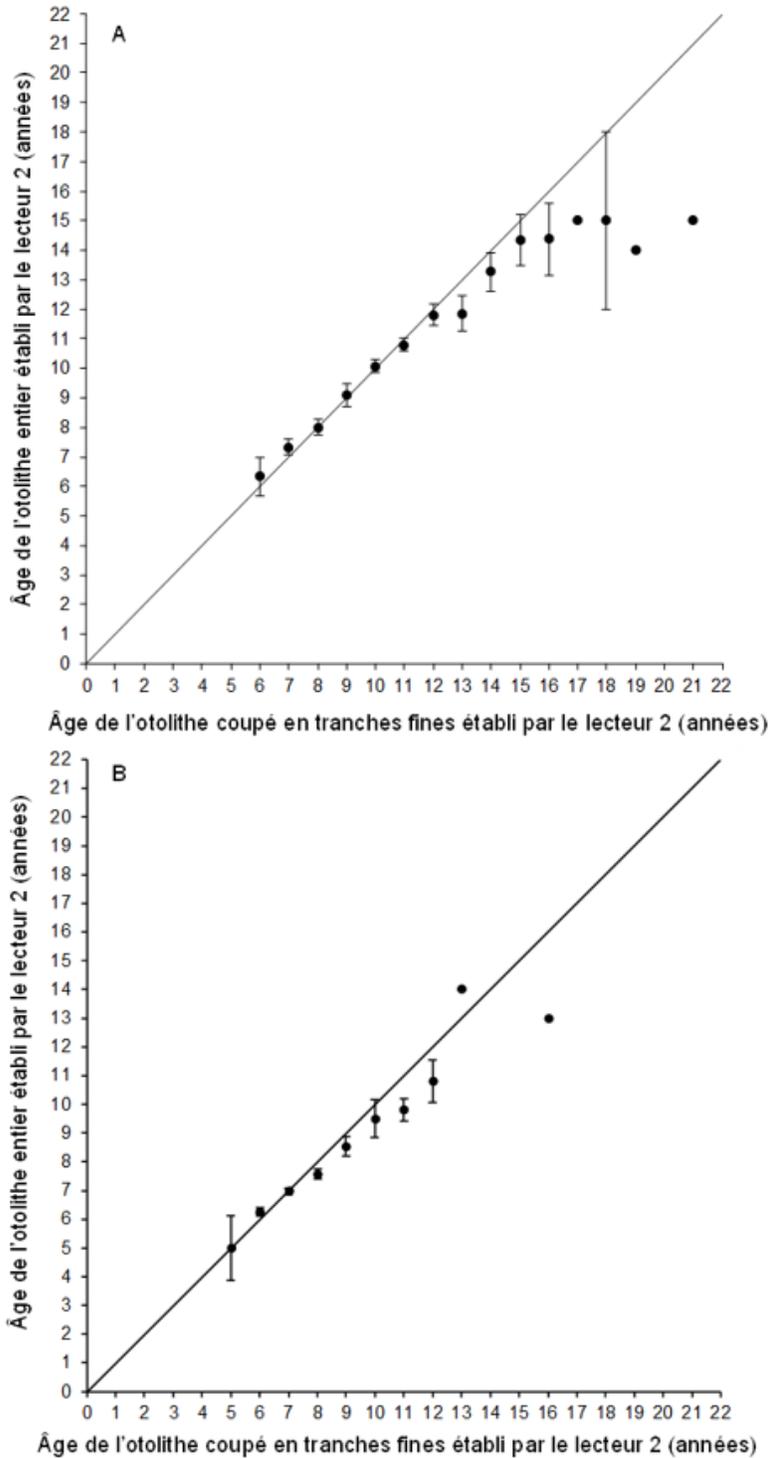


Figure 2. Courbes des biais pour les estimations de l'âge établies au moyen de la méthode des otolithes en coupe transversale et de la méthode des otolithes en tranches fines du lecteur 2 pour l'omble chevalier A) du lac Tatik et B) de la rivière Hornaday dans les Territoires du Nord-Ouest. Chaque barre d'erreur représente les intervalles de confiance à 95 % par rapport à l'estimation moyenne de l'âge obtenue à l'aide de la méthode des otolithes entiers pour toutes les estimations de l'âge établies au moyen de coupes. La ligne pleine indique la ligne 1:1.

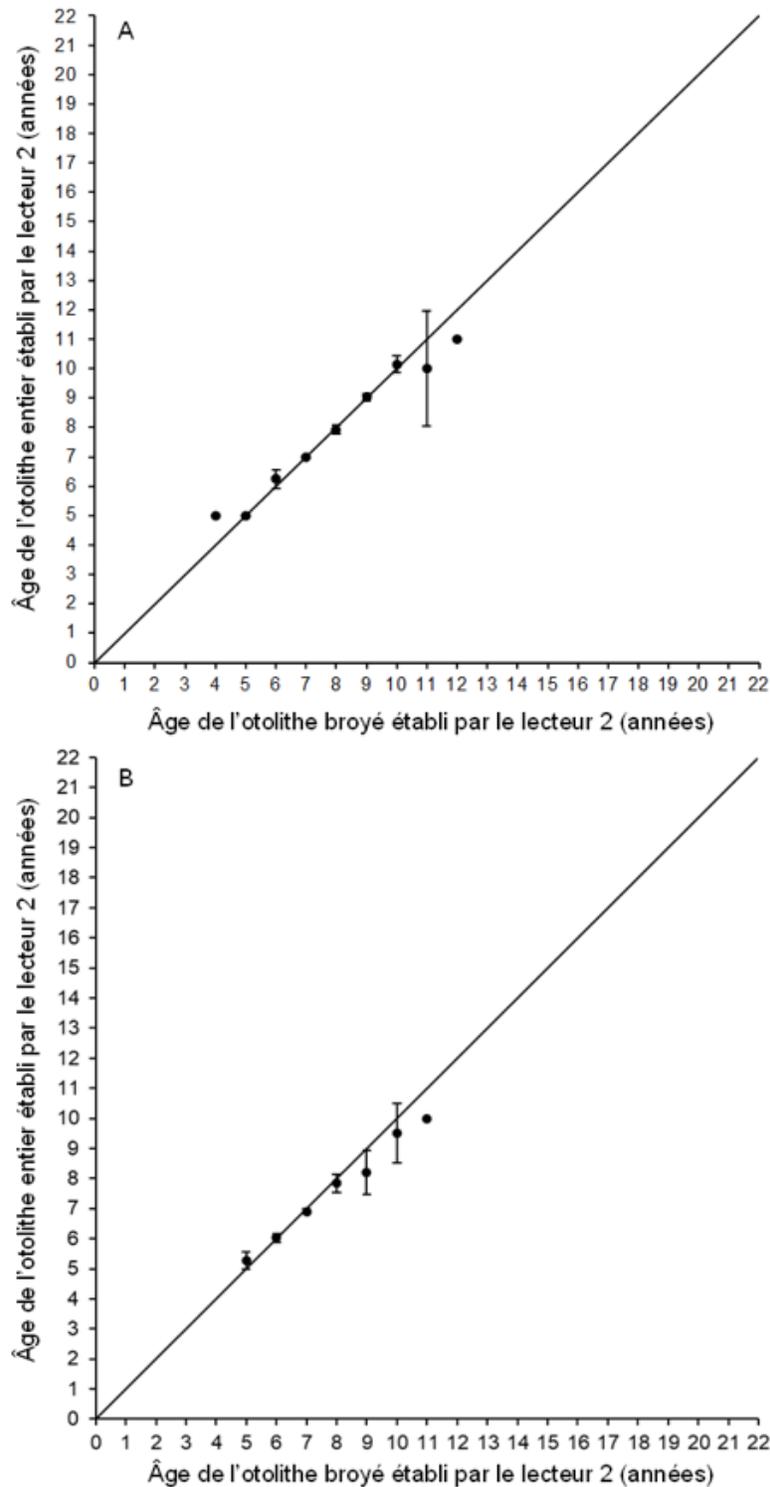


Figure 3. Courbes des biais pour les estimations de l'âge établies au moyen de la méthode des otolithes entiers et de la méthode de l'otolithe broyé du lecteur 2 pour l'omble chevalier A) du lac Tatik (≤ 12 ans seulement) et B) de la rivière Hornaday (≤ 11 ans seulement) dans les Territoires du Nord-Ouest. Chaque barre d'erreur représente les intervalles de confiance à 95 % par rapport à l'estimation moyenne de l'âge obtenue à l'aide de la méthode des otolithes entiers pour toutes les estimations de l'âge établies au moyen du broyage. La ligne pleine indique la ligne 1:1.

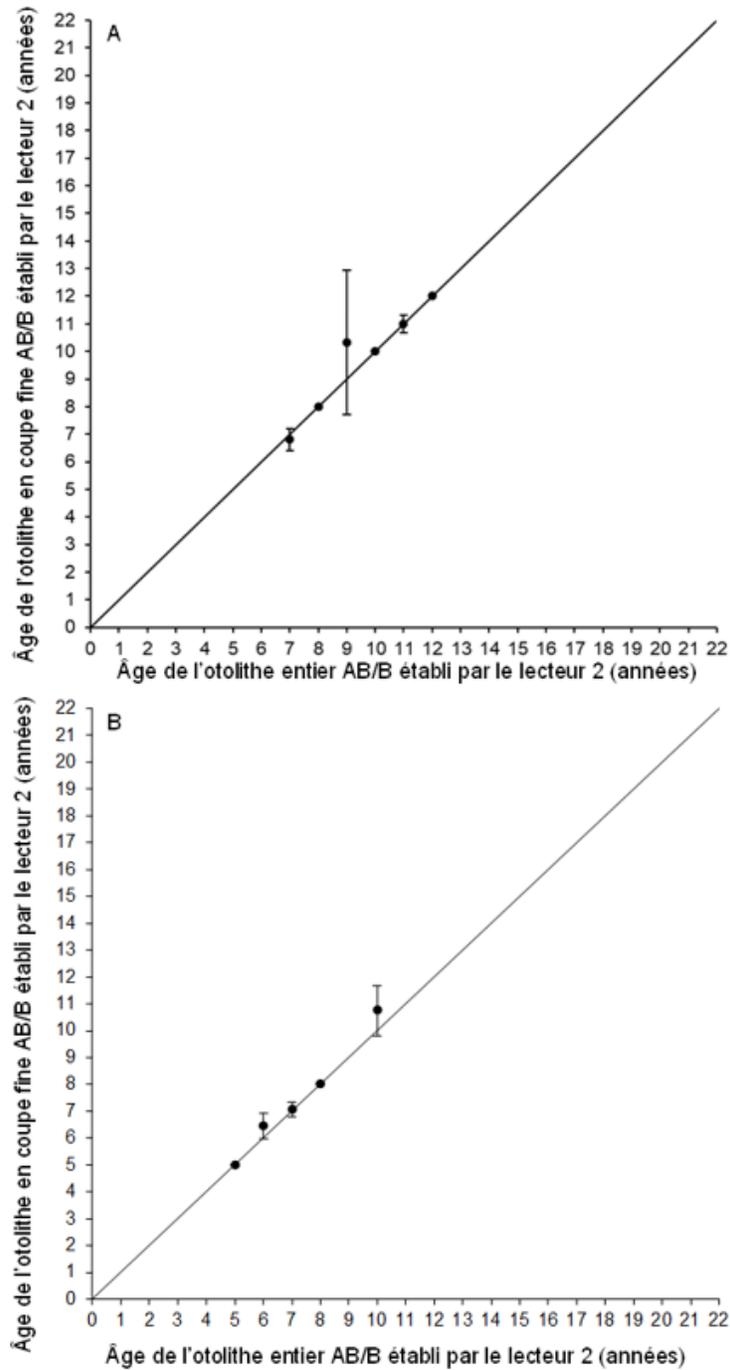


Figure 4. Courbes de biais pour les estimations de l'âge établies à l'aide de la méthode des otolithes entiers du lecteur 2 auxquelles une cote d'indice de confiance « assez bon » ou « bon » (c.-à-d. niveau de confiance élevée) ont été attribuées, et les estimations de l'âge des mêmes otolithes ont été établies par la méthode des otolithes en tranches fines auxquelles une cote d'indice de confiance « assez bon » ou « bon » a été attribuée pour l'omble chevalier du A) lac Tatik et B) de la rivière Hornaday dans les Territoires du Nord-Ouest. Chaque barre d'erreur représente les intervalles de confiance à 95 % par rapport à l'estimation moyenne de l'âge obtenue à l'aide de la méthode des otolithes coupés pour toutes les estimations de l'âge établies au moyen de la méthode des otolithes entiers. La ligne pleine indique la ligne 1:1.

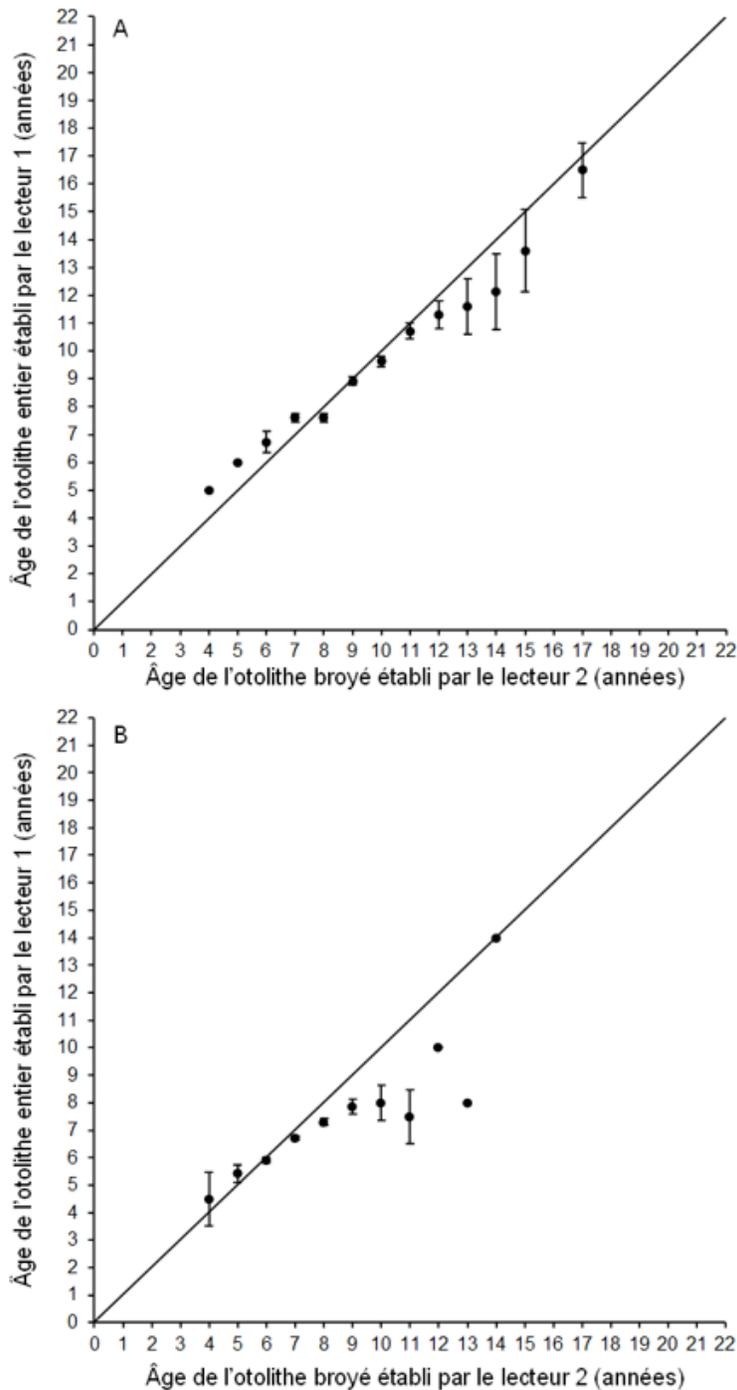


Figure 5. Courbes de biais pour les estimations de l'âge établies à l'aide de la méthode des otolithes entiers du lecteur 2 auxquelles une cote d'indice de confiance « médiocre », « assez faible » ou « passable » (c.-à-d. faible niveau de confiance) ont été attribuées, et les estimations de l'âge des mêmes otolithes ont été établies par la méthode des otolithes coupés en tranches fines auxquelles une cote d'indice de confiance « assez bon » ou « bon » (c.-à-d. niveau de confiance élevée) a été attribuée pour l'omble chevalier du A) lac Tatik et B) de la rivière Hornaday dans les Territoires du Nord-Ouest. Chaque barre d'erreur représente les intervalles de confiance à 95 % de l'estimation de l'âge moyen obtenue à l'aide de la méthode des otolithes coupés pour toutes les estimations établies à l'aide de la méthode des otolithes entiers. La ligne pleine indique la ligne 1:1.

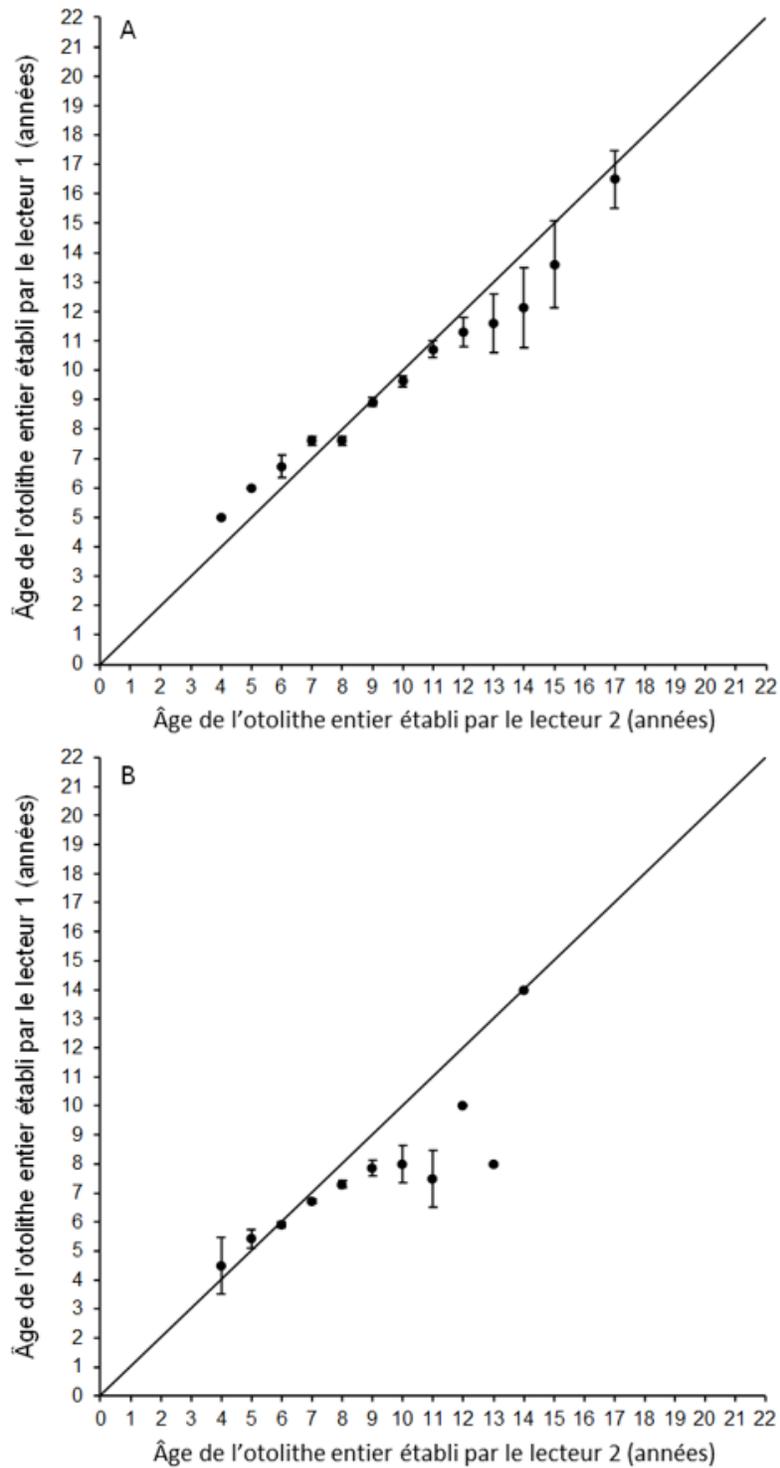


Figure 6. Courbes des biais entre les lecteurs pour les estimations de l'âge établies au moyen de la méthode des otolithes entiers pour l'omble chevalier A) du lac Tatik et B) de la rivière Hornaday dans les Territoires du Nord-Ouest. Chaque barre d'erreur représente les intervalles de confiance à 95 % de l'estimation de l'âge moyen établie par le lecteur 1 à l'aide de la méthode des otolithes entiers pour toutes les estimations attribuées à l'aide de la méthode des otolithes entiers. La ligne pleine indique la ligne 1:1.

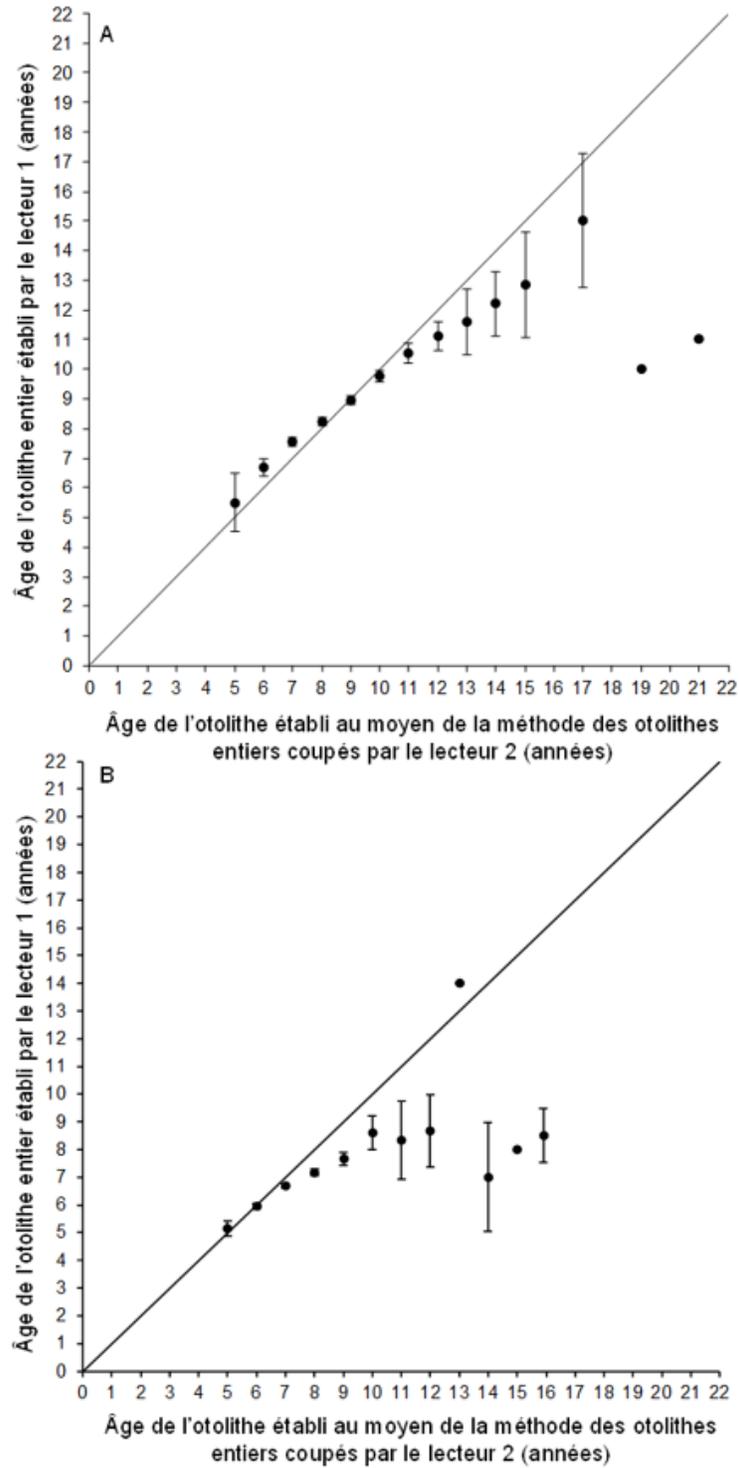


Figure 7. Courbes des biais entre les lecteurs pour les estimations de l'âge établies au moyen de la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) et les estimations finales de l'âge établies au moyen de la méthode des otolithes entiers coupés (lecteur 2) pour l'omble chevalier A) du lac Tatik et B) de la rivière Hornaday dans les Territoires du Nord-Ouest. Chaque barre d'erreur représente les intervalles de confiance à 95 % de l'estimation de l'âge moyen établie par le lecteur 1 pour toutes les estimations attribuées par le lecteur 2. La ligne pleine indique la ligne 1:1.

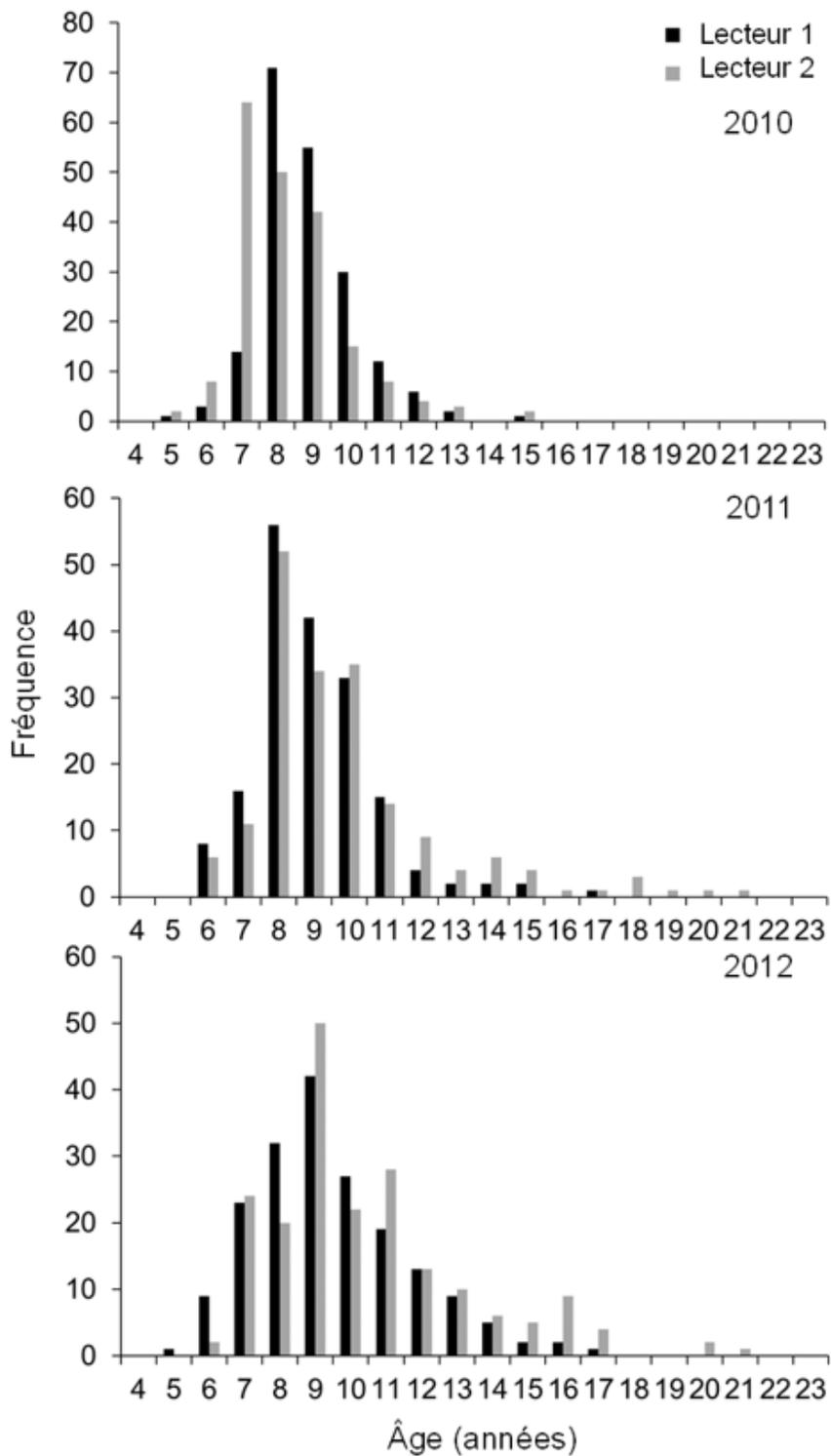


Figure 8. Distribution de la fréquence d'âge basée sur les estimations de l'âge établies au moyen de la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) et les estimations finales de l'âge établies au moyen de la méthode des otolithes entiers coupés (lecteur 2) pour les ombles chevaliers capturés entre 2010 et 2012 dans le lac Tatik dans les Territoires du Nord-Ouest.

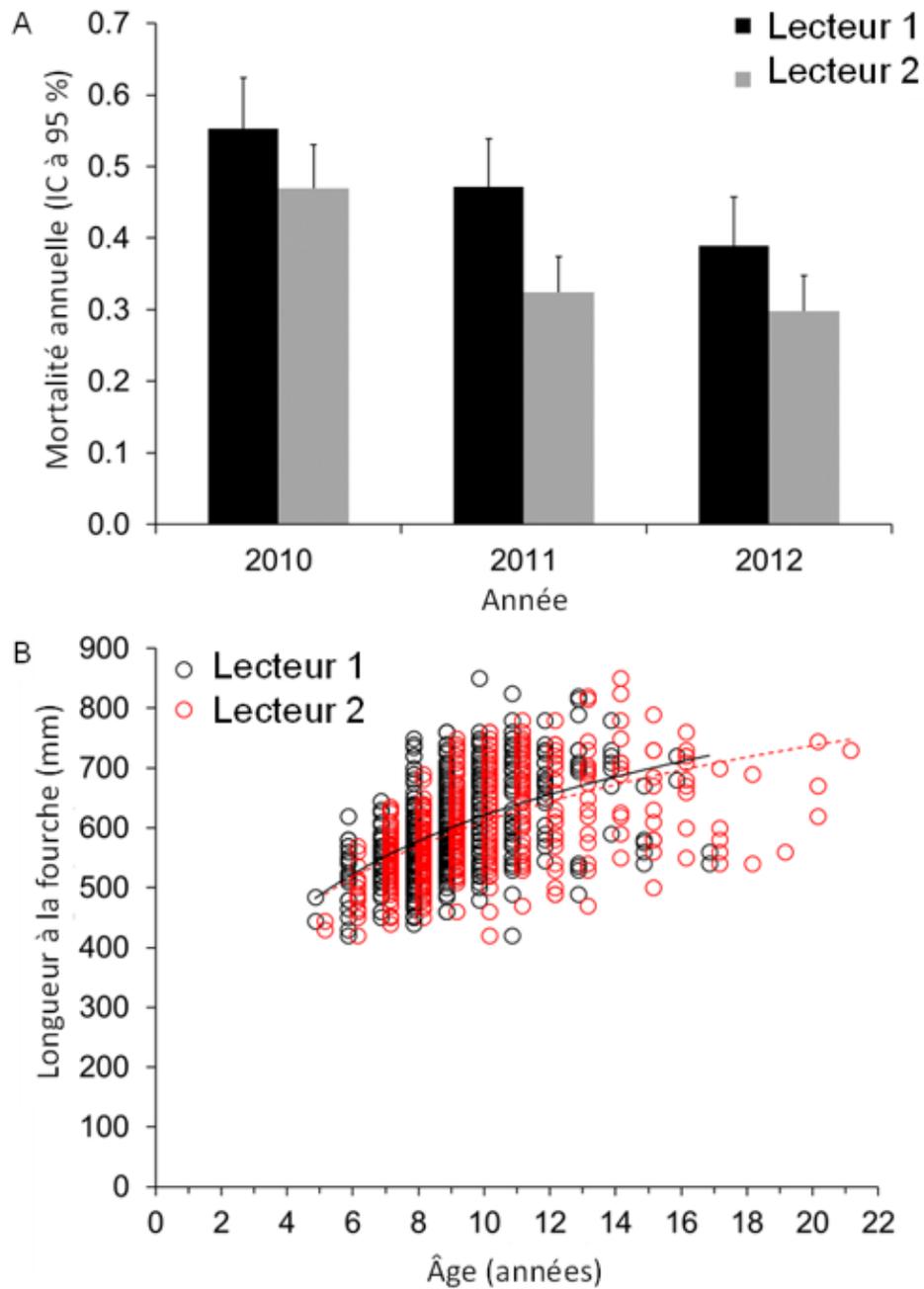


Figure 9. A) Mortalité annuelle et B) longueur selon l'âge basées sur les estimations de l'âge établies au moyen de la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) et les estimations finales de l'âge établies au moyen de la méthode des otolithes entiers coupés (lecteur 2) pour les ombles chevaliers capturés entre 2010 et 2012 dans le lac Tatik dans les Territoires du Nord-Ouest.

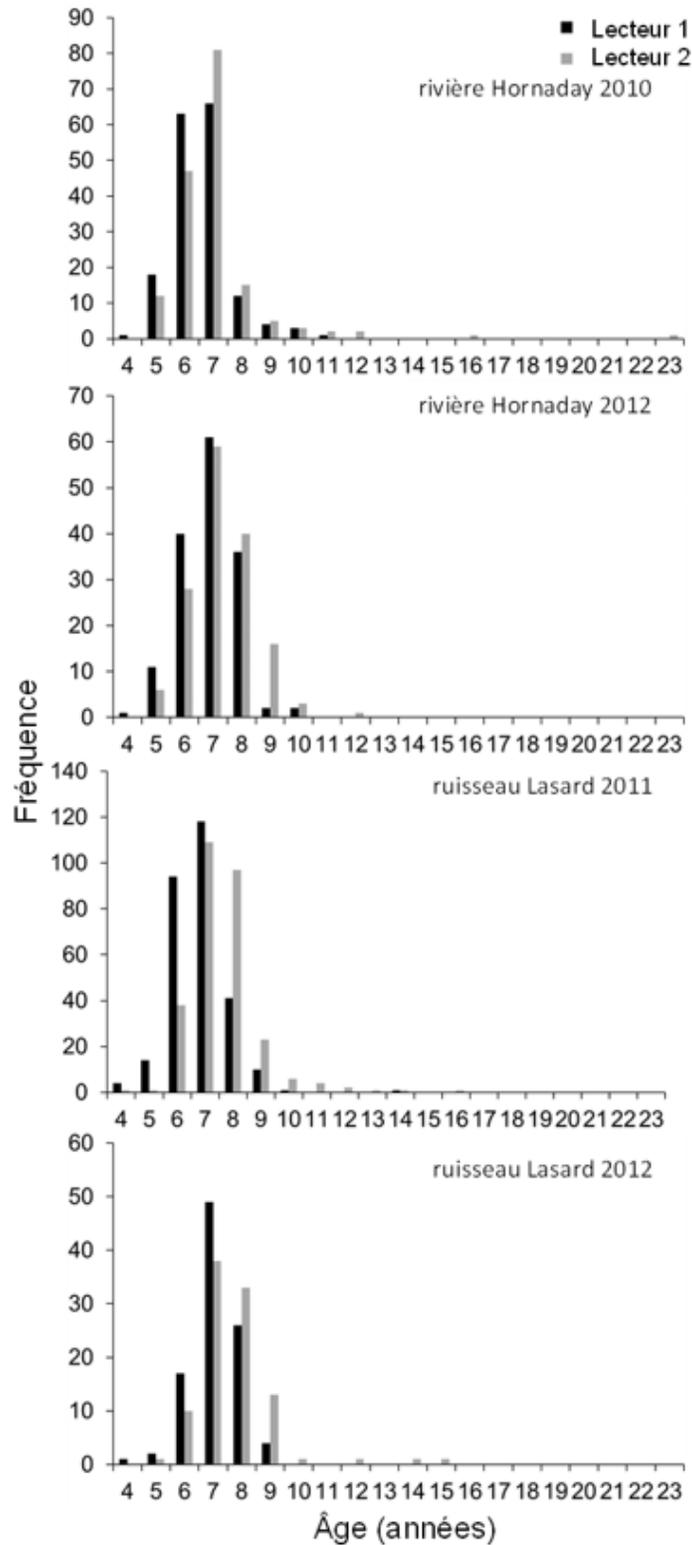


Figure 10. Distribution de la fréquence d'âge basée sur les estimations de l'âge établies au moyen de la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) et les estimations finales de l'âge établies au moyen de la méthode des otolithes entiers coupés (lecteur 2) pour les ombles chevaliers capturés entre 2010 et 2012 dans la rivière Hornaday et le ruisseau Lasard dans les Territoires du Nord-Ouest.

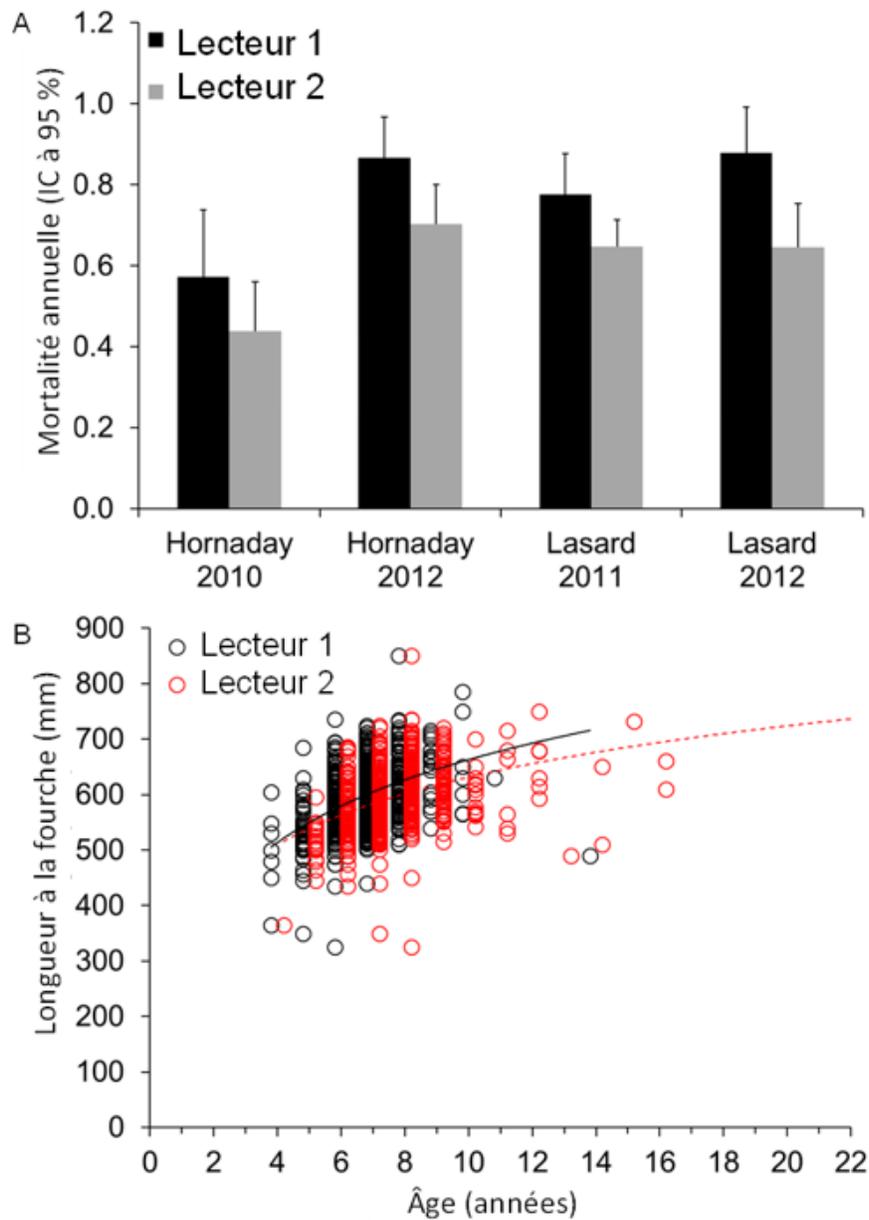


Figure 11. A) Mortalité annuelle et B) longueur selon l'âge basées sur les estimations de l'âge établies au moyen de la méthode des otolithes entiers (lecteur 1) et les estimations finales de l'âge établies au moyen de la méthode des otolithes entiers coupés (lecteur 2) pour les ombles chevaliers capturés entre 2010 et 2012 dans la rivière Hornaday et le ruisseau Lasard dans les Territoires du Nord-Ouest.