



**HAL**  
open science

# Analyse des structures en taille des poissons pêchés et détectés par acoustique

Clément Rautureau, Hervé Rogissart, Chloé Goulon, Victor Frossard, Jean Guillard

► **To cite this version:**

Clément Rautureau, Hervé Rogissart, Chloé Goulon, Victor Frossard, Jean Guillard. Analyse des structures en taille des poissons pêchés et détectés par acoustique. OFB, Office Français de la Biodiversité; CARRTEL; ECLA; INRAE; USMB. 2024. hal-04684232

**HAL Id: hal-04684232**

**<https://hal.science/hal-04684232v1>**

Submitted on 2 Sep 2024

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



INRAE



*Tailpop : Livrable 2*

# Analyse des structures en taille des poissons pêchés et détectés par acoustique

Clément Rautureau<sup>1,2</sup>

Hervé Rogissart<sup>1,2</sup>

Chloé Goulon<sup>1,2</sup>

Victor Frossard<sup>1,2</sup>

Jean Guillard<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Université Savoie Mont Blanc, INRAE, CARRTEL, 74200 Thonon-les-Bains, France

<sup>2</sup> Pôle R&D ÉCLA (OFB, INRAE, USMB), 74200 Thonon-les-Bains, France

## **CITATION DU RAPPORT**

Rogissart H., Rautureau C., Goulon C., Frossard V., Guillard J., 2024. Convergence des structures en taille des poissons pêchés et détectés par acoustique. Rapport du pôle ECLA, pp 21.

# Table des matières

<b>1. Introduction</b> .....	<b>4</b>
<b>2. Matériels &amp; Méthodes</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Résultats</b> .....	<b>7</b>
3.1. Confirmation de l'équation de Love (1971) comme équation de conversion des dB en cm ....	7
3.2. Structuration du jeu de données .....	8
3.3. Distribution des spectres de tailles de la population selon les méthodes d'échantillonnage .	10
3.3.1. Lac d'Annecy .....	10
3.3.2. Lac du Bourget .....	11
3.4. Comparaison des modes suivant les méthodes d'échantillonnages .....	12
3.4.1. Lac d'Annecy .....	12
3.4.2. Lac du Bourget .....	14
3.5. Dynamique d'évolution interannuelle des modes. ....	16
3.5.1. Lac d'Annecy .....	16
3.5.2. Lac du Bourget .....	16
<b>4. Conclusion</b> .....	<b>18</b>
<b>5. Références</b> .....	<b>19</b>

## Table des tableaux

<i>Tableau 1 : Nombre de cibles et de poissons étudiés</i> .....	<b>8</b>
--	----------

## Table des illustrations et tableaux

<i>Figure 1 : A) Comparaison de la distribution des tailles en mm suite à la conversion des données hydroacoustique selon différentes équations ; B) Comparaison du comportement des différentes équations sur un gradient théorique de dB (-58 à -40 dB).</i> .....	<b>7</b>
<i>Figure 2 : Proportion de perches et de gardons dans les effectifs capturés A) filets benthiques, B) filets pélagiques</i> .....	<b>9</b>
<i>Figure 3 : Distribution du nombre d'individus par tailles (A) et de la densité par tailles (B) en fonction des méthodes d'échantillonnage sur le lac d'Annecy</i> .....	<b>10</b>
<i>Figure 4 : Distribution du nombre d'individus par tailles A) et de la densité par tailles B) en fonction des méthodes d'échantillonnage sur le lac du Bourget</i> .....	<b>12</b>
<i>Figure 5 : Comparaison par année des tailles modales entre l'échantillonnage par filets benthiques et filets pélagiques pour le lac d'Annecy, droite 1 :1 en pointillé</i> .....	<b>13</b>
<i>Figure 6 : Comparaison par année des tailles modales entre l'échantillonnage par filets benthiques et l'hydroacoustique pour le lac d'Annecy, droite 1 :1 en pointillé</i> .....	<b>13</b>
<i>Figure 7 : Comparaison par année des tailles modales entre l'échantillonnage par filets pélagiques et l'hydroacoustique pour le lac d'Annecy, droite 1 :1 en pointillé</i> .....	<b>14</b>
<i>Figure 8 : Comparaison par année des tailles modales entre l'échantillonnage par filets benthiques et filets pélagiques pour le lac du Bourget, droite 1 :1 en pointillé</i> .....	<b>14</b>
<i>Figure 9 : Comparaison par année des tailles modales entre l'échantillonnage par filets benthiques et l'hydroacoustique pour le lac du Bourget, droite 1 :1 en pointillé</i> .....	<b>15</b>
<i>Figure 10 : Comparaison par année des tailles modales entre l'échantillonnage par filets pélagiques et l'hydroacoustique pour le lac du Bourget, droite 1 :1 en pointillé</i> .....	<b>15</b>
<i>Figure 11 : Visualisation des modes des tailles individuels obtenus par hydroacoustique et filets pélagiques dans le lac d'Annecy</i> .....	<b>16</b>
<i>Figure 12 : Visualisation des modes des tailles individuels obtenus par hydroacoustique et filets pélagiques dans le lac du Bourget</i> .....	<b>17</b>

## 1. Introduction

La compréhension des dynamiques des populations de juvéniles de poissons dans les lacs est d'une importance majeure pour la gestion durable des ressources aquatiques et la préservation des écosystèmes (Lemaire *et al.*, 2020). Les indicateurs basés sur les tailles individuelles se révèlent être des outils nécessaires pour évaluer l'état de santé des ressources piscicoles et anticiper les impacts potentiels de la pêche (Griffiths *et al.*, 2024). Dans ce contexte, l'attention particulière portée au recrutement des nouvelles générations dans la pêche est essentielle. Parmi les espèces qui jouent un rôle dans la structure des communautés piscicoles lacustres péri-alpines, les perches (*Perca fluviatilis*) et les gardons (*Rutilus rutilus*) sont des acteurs clés car leur recrutement peut former des cohortes très abondantes, contribuant de manière significative à la biomasse totale des poissons, même dans les lacs ayant un statut oligotrophe (Guillard *et al.*, 2006). De plus, les jeunes perches et gardons occupent une position trophique clé dans les réseaux trophiques des lacs (Lemaire *et al.*, 2020) en se nourrissant principalement de zoobenthos et de zooplancton (Persson & Greenberg, 1990 ; Persson, 1993 ; Tolonen *et al.*, 2000), tout en constituant une proie essentielle pour les poissons prédateurs (Janjua et Gerdeaux, 2009 ; Westrelin *et al.*, 2023). Ces cohortes de juvéniles interagissent de manière complexe avec l'ensemble des composantes du réseau trophique via différentes interactions tels que prédateur - proie, compétition et peuvent ainsi impacter de manière significative les propriétés du réseau trophique et son organisation (Lemaire *et al.*, 2020).

Les indicateurs basés sur la taille constituent un outil de gestion important pour suivre l'état des ressources piscicoles et l'effet de la pêche (Holmgren & Appelberg, 2000) mais aussi les impacts du changement climatique (Daufresne *et al.*, 2009). Les méthodes de suivi traditionnelles, les pêches scientifiques aux filets maillants multimailles CEN et l'approche non intrusive d'hydroacoustique, fournissent en termes de densités par unité de surface, des données convergentes et complémentaires sur les communautés piscicoles lacustres (Emmrich *et al.* 2012 ; Yule *et al.* 2013) mais aussi de spectres de tailles (Tušar *et al.*, 2022). Cette étude a pour objectif d'analyser les indicateurs de tailles des jeunes poissons de l'année, perche et gardon, à partir des relevés hydroacoustiques et des captures aux filets maillants multimailles sur la période de 2012 à 2022, dans les lacs d'Annecy et du Bourget. L'hypothèse à tester est la convergence ou non des indicateurs de tailles des juvéniles obtenues par les deux méthodes afin d'aller vers un allègement des protocoles de suivis.

## 2. Matériels & Méthodes

Cette étude a été réalisée sur les lacs d'Annecy et du Bourget. Toutes les données ont été collectées entre 2012 et 2022 dans le cadre du suivi scientifique du peuplement piscicole (Rimet *et al.*, 2020) en utilisant des filets maillants (benthiques et pélagiques) et un échosondeur SIMRAD split-beam EK60 et EK80. Les poissons ont été échantillonnés en suivant un plan d'échantillonnage aléatoire stratifié pour l'échantillonnage des poissons avec des filets maillants benthiques, qui sont posés dans les zones proches des bordures, et pélagiques, posés dans la zone la plus profonde. Les filets sont à mailles multiples en progression géométrique définie dans la norme européenne EN 14757 (CEN, 2015). Chaque filet benthique mesure 30 mètres de long et 1,5 mètre de haut, est composé de 12 nappes de 2,5 mètres de long. Les nappes ont une maille différente allant de 5 mm à 55 mm. Chaque filet pélagique mesure 27,5 mètres de long et 6 mètres de haut et sont similaires dans leur composition aux filets benthiques ; ils sont ancrés au point le plus profond du lac et descendus chaque jour d'une profondeur de 6 m afin d'explorer toute la tranche d'eau. Les filets sont posés avant le coucher du soleil, qui correspond au pic d'activité de la faune piscicole, et sont relevés au lever du jour. L'effort d'échantillonnage pour les filets est donc d'environ 12 heures. Chaque filet est démaillé nappe par nappe pour dénombrer les espèces capturées par filet et par taille de maille. L'ensemble des mesures biométriques (taille, poids) est effectué sur les individus capturés.

En parallèle, les communautés de poissons ont été échantillonnées par acoustique en suivant le protocole d'échantillonnage conforme à la norme européenne (CEN, 2014) et aux standards préconisés sur les Grands Lacs Américains (Parker-Stetter *et al.*, 2009). Les parcours sont réalisés de nuit afin d'échantillonner les poissons lorsque ceux-ci sont le plus dispersés possibles (Girard *et al.*, 2020). Les données ont été récoltées à l'aide d'échosondeurs SIMRAD EK60 (70 kHz) puis EK80 (120 kHz), équipés de transducteurs circulaires split-beam orientés verticalement vers le bas (11° puis 7° à -3 dB). La longueur d'impulsion du sondeur est fixée à 0,256 ms (Godlewska *et al.*, 2011). L'utilisation des deux modèles d'échosondeurs et des fréquences différentes a fait l'objet de comparaisons en vue de leur inter-calibration, afin de pouvoir continuer les séries de données (Guillard *et al.*, 2014 ; Draštík *et al.*, 2017 ; Rautureau *et al.*, 2022). Les données acoustiques ont été traitées à l'aide du logiciel Sonar5 (CageEye AS, Oslo, Norway) (Balk et Lindem, 2017).

La Target Strength (TS), en dB, pour une espèce donnée est proportionnelle à la taille de chaque individu (Simmonds and MacLennan, 2005). La relation de Love (1971) a été utilisée pour convertir leur index de réflexion, en taille totale (TL) en cm. Cette équation est couramment utilisée dans le contexte des écosystèmes d'eau douce (Emmrich *et al.*, 2012) et a été comparée avec d'autres équations calculées spécifiquement pour la perche.

Equation de Love (1971) :

Taille individuelle :

$$TL = 10 \frac{(TS + 0.9 \times \log(f) + 62)}{19.1} \quad (1)$$

où  $f$  est la fréquence utilisée, TS la Target Strength exprimée en dB.

Les données sont analysées en utilisant le mode de suivi « tracking » (Balk and Lindem, 2017) qui permet d'associer plusieurs cibles individuelles définissant un même individu (Godlewska *et al.*, 2009). Cette méthode exige un minimum de 2 cibles pour les couches supérieures à la thermocline. Cette approche permet de lisser la forte variabilité des réponses individuelles des valeurs de TS (Ona, 1990). Les protocoles sont détaillés dans les rapports de suivis annuels (Frossard *et al.*, 2022 ; Jacquet *et al.*, 2022) de l'Observatoire OLA (Rimet *et al.*, 2020) et dans des publications (Guillard *et al.*, 2014 ; Yule *et al.*, 2013 ; Rautureau *et al.*, 2022).

Pour cette étude, les analyses ont été centrées sur la taille des juvéniles de perche et de gardon, en raison d'un plus grand nombre d'individus détecté par les deux méthodes pour ces espèces. Pour se limiter à la gamme de tailles des 0+ de gardon et de perche, l'analyse s'est focalisée sur les poissons d'une taille comprise entre 5 et 13 cm, conformément aux données de validation des lectures d'âges opérées lors des suivis annuels (Frossard *et al.*, 2022 ; Jacquet *et al.*, 2022). Nous avons conservé uniquement les poissons, capturés dans les filets posés dans les strates situées entre la surface et 14 m, profondeur moyenne de la thermocline à cette période de l'année. En effet, les populations de perche et de gardon sont présentes dans ces couches chaudes, au-dessus de la thermocline, à cette période d'échantillonnage (Guillard *et al.*, 2006). Pour les données hydroacoustiques, seuls les cibles détectées au-dessus de la couche supérieure à la thermocline ont été conservées et dont la taille était également comprise entre 5 et 13 cm. Les zones proches de bords sont considérées comme sous échantillonnées puisque le bateau n'échantillonne pas les zones de profondeurs inférieures à 5 m. Les données de l'année 2015 pour le lac d'Annecy et de l'année 2017 pour les deux lacs ont été exclues de l'analyse en raison d'un problème de calibration des données de sondeur.

### 3. Résultats

#### 3.1. Confirmation de l'équation de Love (1971) comme équation de conversion des dB en cm

Pour comparer les jeux de données, il est nécessaire de convertir les TS, exprimées en dB, en taille en cm. L'équation de Love (1971), est souvent utilisée dans les eaux douces (Emmrich *et al.*, 2012). C'est une équation dite « généraliste » qui s'applique donc à différentes espèces. Des équations spécifiques à la perche ont été calculées, comme celles publiées par Chorier *et al.*, (1995) et Frouzova et Kubecka (2004) ; par ailleurs Love (1977) a développé une équation généraliste mais qui prend en compte la variabilité des positions des poissons (insonification latérale ou ventrale). Nous n'avons pas trouvé dans la littérature des équations spécifiquement développées pour le gardon.

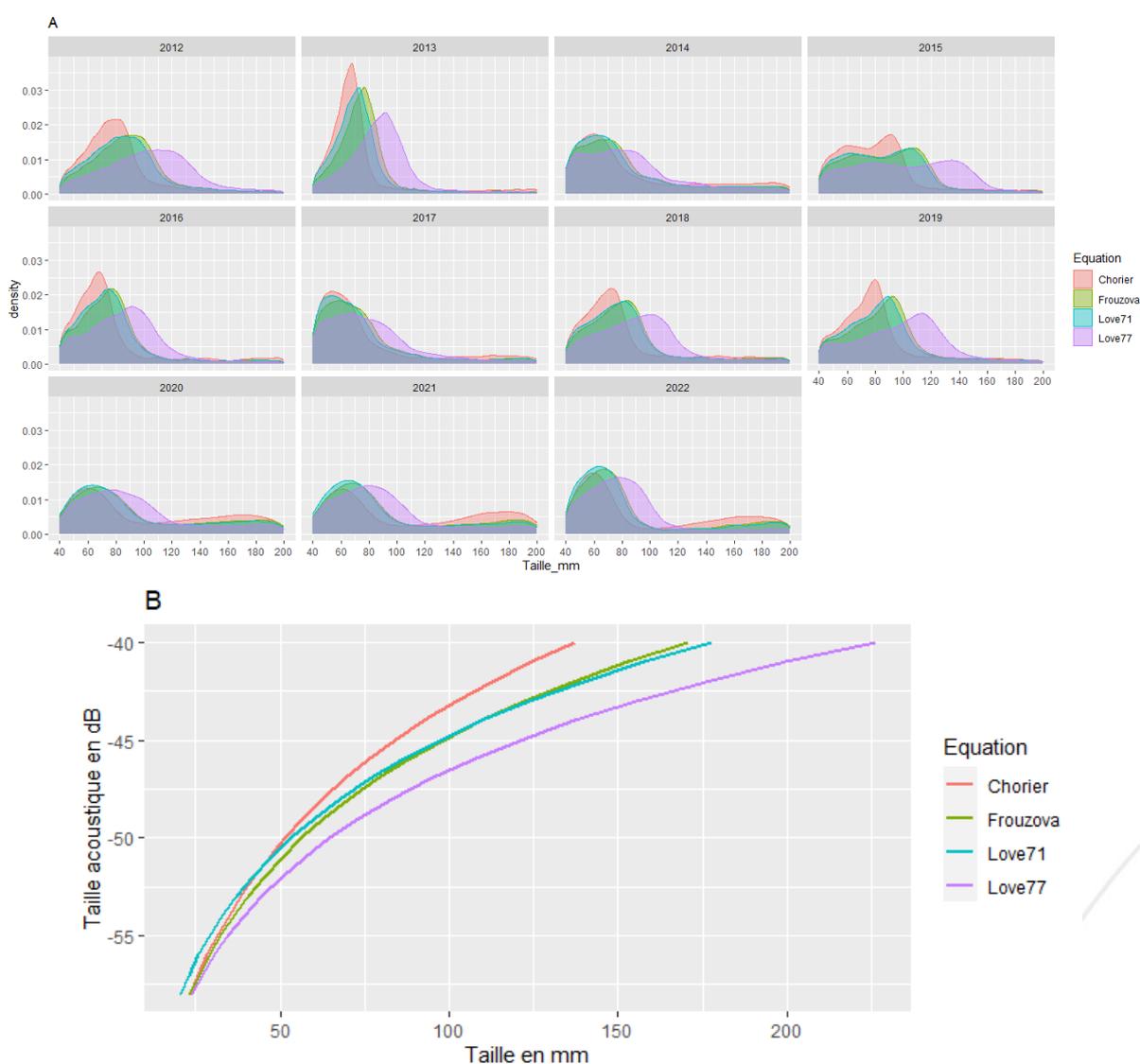


Figure 1 : A) Comparaison de la distribution des tailles en mm suite à la conversion des données hydroacoustique selon différentes équations ; B) Comparaison du comportement des différentes équations sur un gradient théorique de dB (-58 à -40 dB).

La figure 1A, montre la distribution en taille (mm) du jeu de données après conversion des données hydroacoustiques selon les 4 équations. L'équation de Love (1971) présente une modalité très similaire à celle obtenue par Frouzova et Kubecka (2004), quelle que soit l'année étudiée. Cette dernière a été spécifiquement développée pour le stade juvénile de la perche. La conversion des décibels en taille, par le biais de l'équation de Chorier *et al.* (1995) déplace en général le mode vers la gauche. En revanche, l'équation de Love de 1977 produit des tailles plus importantes. Cette équation a été conçue pour une insonification latérale ou ventrale des cibles, ce qui la rend finalement inappropriée pour notre analyse, les poissons étant vue principalement en mode verticale dorsale. Ces résultats se confirment lorsque l'on regarde uniquement le comportement de chaque équation sur un gradient théorique (Figure 1B). L'équation de Love 1971 et de Frouzova & Kubecka (2004) offre des résultats très proche tout au long du gradient de décibel. Pour une valeur de - 42 dB, correspondant à la limite haute de notre gamme de taille en 0+, la conversion en mm entre les deux équations est respectivement de 139 mm et 136 mm. A l'inverse, les équations de Chorier (1995) et de Love 1977 sont très éloignées des deux premières. L'une retranscrit des tailles sous-estimées (Chorier 1995) alors que l'équation de Love 1977 sur-estime la taille pour un même décibel.

La comparaison visuelle des différentes équations confirme bien que l'équation généraliste de Love (1971), proche de celle spécifique pour la perche de Frouzova et Kubecka (2004), est adaptée à notre échantillon dominé majoritairement par la perche (cf §3.2).

### 3.2. Structuration du jeu de données

Les données dont la taille des cibles (après conversion par l'équation de Love) et la taille des poissons capturées sont comprises entre 5 et 13 cm sont résumé Tableau 1.

Tableau 1 : Nombre de cibles et de poissons étudiés

Lac	Nombre de cibles	Nombre de poissons	
	Acoustique	Benthique	Pélagique
Annecy	<b>35 254</b> <i>(de 26 à 9 822/an)</i>	<b>11 278</b> <i>(de 431 à 2 649/an)</i>	<b>7 804</b> <i>(de 9 à 2 034/an)</i>
Bourget	<b>66 488</b> <i>(de 88 à 22 764/an)</i>	<b>8 708</b> <i>(de 485 à 1 461/an)</i>	<b>2 474</b> <i>(de 25 à 590/an)</i>

Les effectifs capturées dans les filets benthiques et pélagiques présentes les proportions de perches et de gardons suivantes :

La part de perche et de gardons, capturée dans les filets benthiques et pélagique est présentée dans le graphique ci-dessous (figure 2) :

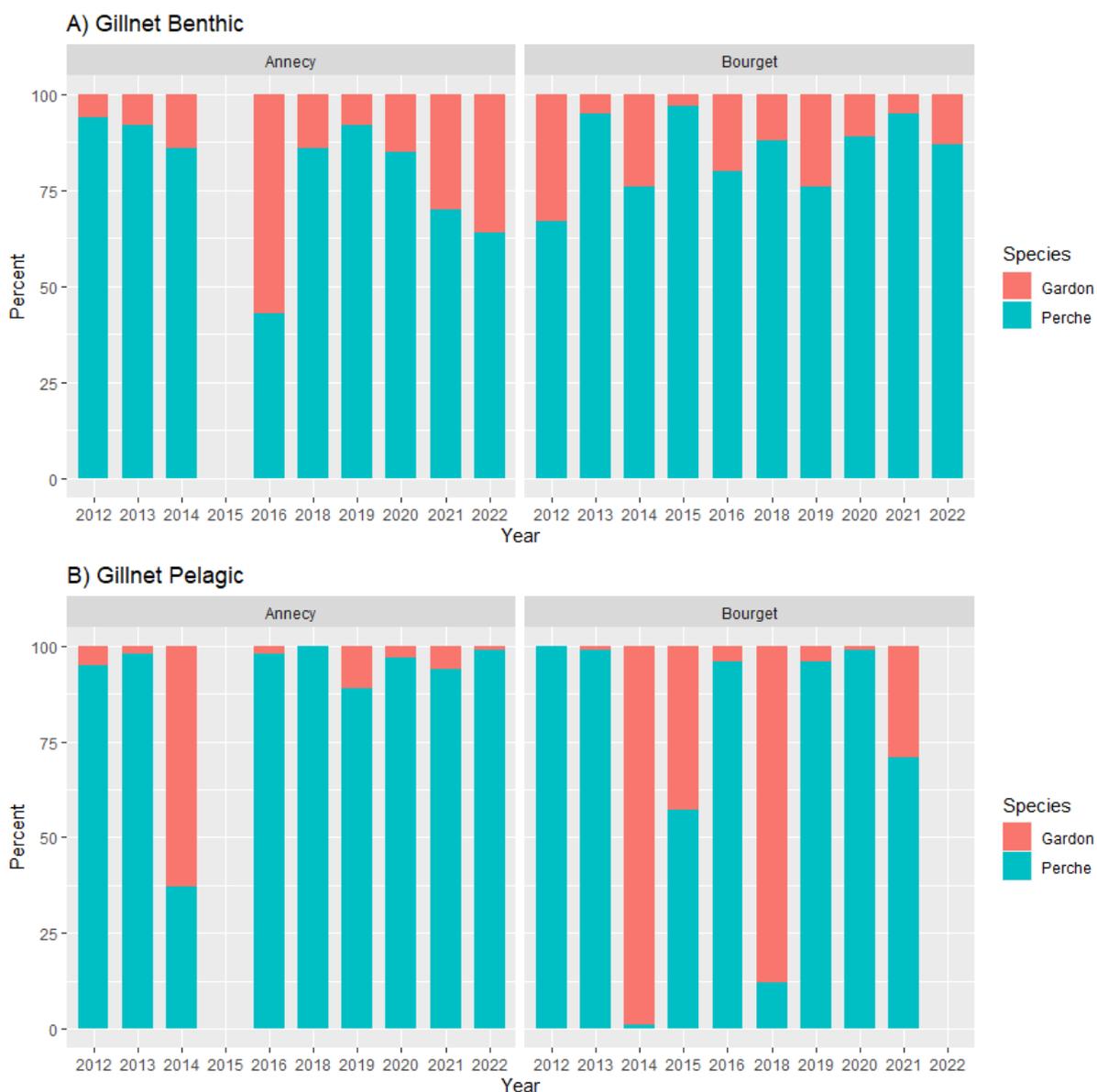


Figure 2 : Proportion de perches et de gardons dans les effectifs capturés A) filets benthiques, B) filets pélagiques

La proportion de perche dans les filets benthiques est largement majoritaire à l'exception de l'année 2016 sur le lac d'Annecy (43% de perche). En zone pélagique, la perche représente également l'espèce la plus capturée avec tout de même quelques exceptions. Les années 2014 et 2018, sur le lac du Bourget, sont particulières avec très peu de perches capturées (respectivement 1 et 12%). En 2015, sur ce même lac, la répartition des captures entre les deux espèces est quasi égale. Sur le lac d'Annecy seule l'année 2014 présente une faible proportion de perche (37%).

### 3.3. Distribution des spectres de tailles de la population selon les méthodes d'échantillonnage

#### 3.3.1. Lac d'Annecy

Le spectre de taille des poissons détectés par hydroacoustique est plus étendu que celui obtenu par filets (Figure 3). C'est un résultat attendu du fait de la sélectivité des filets, la taille de capture des poissons est conditionnée par la taille des mailles. Tušer *et al.* (2022) ont décrit aussi que les données obtenues par acoustique étaient sur un spectre de tailles plus large avec des poissons plus petits et des poissons plus grands que ceux capturés aux filets maillants.

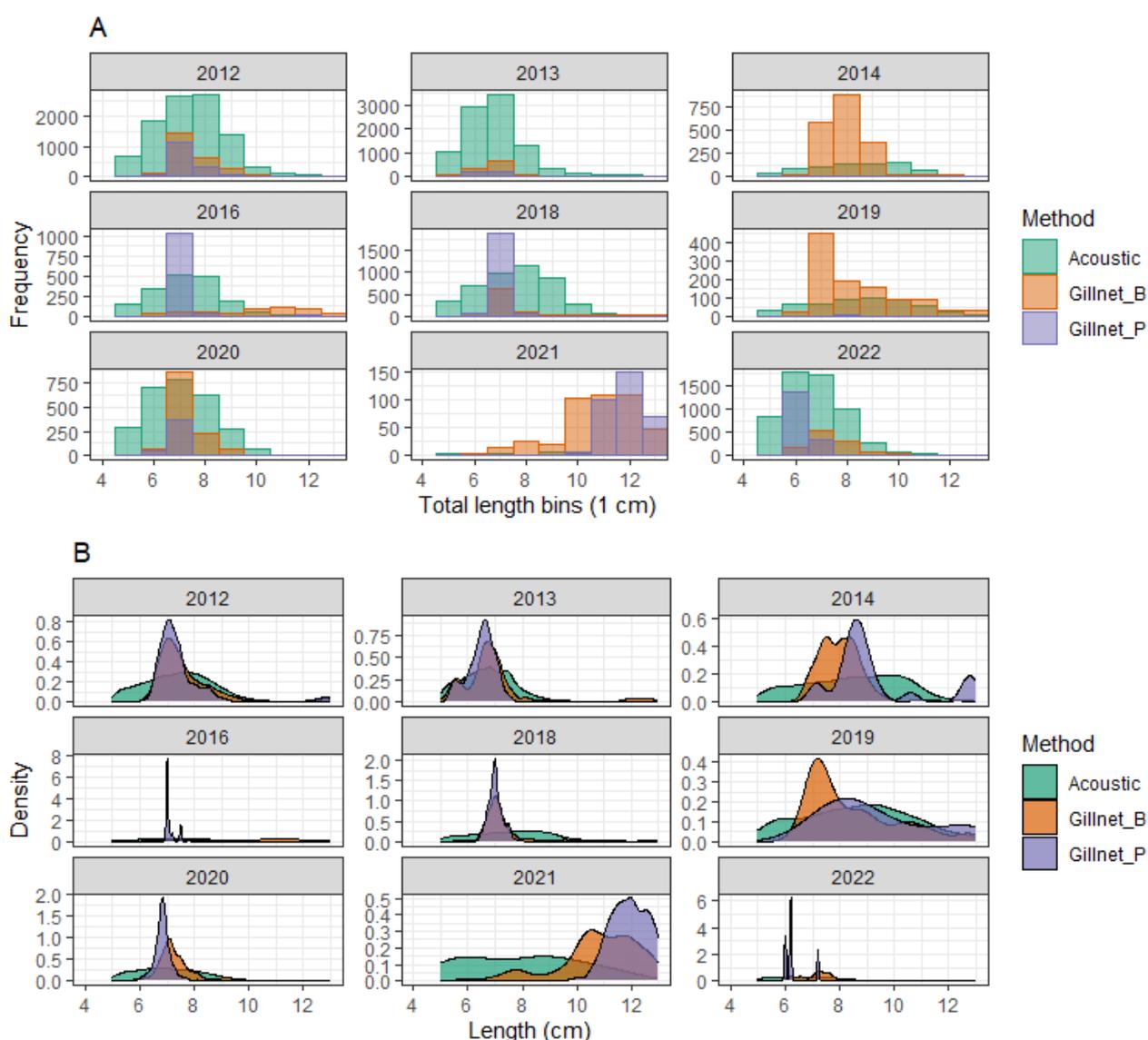


Figure 3 : Distribution du nombre d'individus par tailles (A) et de la densité par tailles (B) en fonction des méthodes d'échantillonnage sur le lac d'Annecy

Les distributions en taille obtenues par les deux méthodes sont similaires pour les populations (0+) de perche et de gardon (Figure 3) pour les années 2013, 2016 (pélagique uniquement), 2020 et 2022. Concernant les années 2012 et 2018, on observe un décalage sur

le mode principal. Ce décalage est plus fort (~2 cm) en 2014 et 2019 (figure 3 A). L'année 2021 est particulière sur le lac d'Annecy, les données hydroacoustiques et celles issues des individus capturés dans les filets pélagiques et benthiques sont décalées, mais cette année, peu de juvéniles 0+ de perche et de gardon ont été capturés alors que la part des 1+ de petites tailles était importante (Frossard *et al*, 2022). Ces individus viennent décaler le mode au sein de la classe de taille ]5-13 cm], associée au 0+ de perche.

### 3.3.2. Lac du Bourget

La distribution en taille des poissons par hydroacoustique ou par méthode aux filets présente les mêmes dynamiques en 2013 et 2021 (Figure 4). En 2012, 2018 et 2019, on observe un léger décalage entre les modes suivant la méthode d'échantillonnage. Pour 2018, très peu de poissons ont été capturés dans les filets pélagiques. La bimodalité observée dans les filets benthiques est faiblement retranscrite par l'hydroacoustique. Les données acoustiques obtenues en 2015 et 2016 reflètent une partie de la distribution observée dans les filets (Figure 4 B). En 2015, la part de poissons capturés par les filets pélagiques est faible, et la distribution montre une bimodalité. Seul le premier mode est perçu en hydroacoustique avec un décalage. Le second mode, commun aux filets, n'est pas visible sur les données hydroacoustiques. En 2016, on observe des similitudes avec un premier mode commun aux trois méthodes. En revanche, le second mode des filets pélagiques n'est pas perceptible sur les données hydroacoustiques. L'année 2014 est marquée par un important décalage des modes entre l'acoustique et les filets. En 2020, la distribution est très étalée sans prédominance marquée de mode (Figure 4 B). En revanche, les filets pélagiques présentent un mode marqué à 12 cm, probablement majoré par la présence d'individus issus de la cohorte 1+. Enfin, 2022 se caractérise par un très faible nombre de cibles perçues par hydroacoustique ne permettant pas de dégager de tendance.

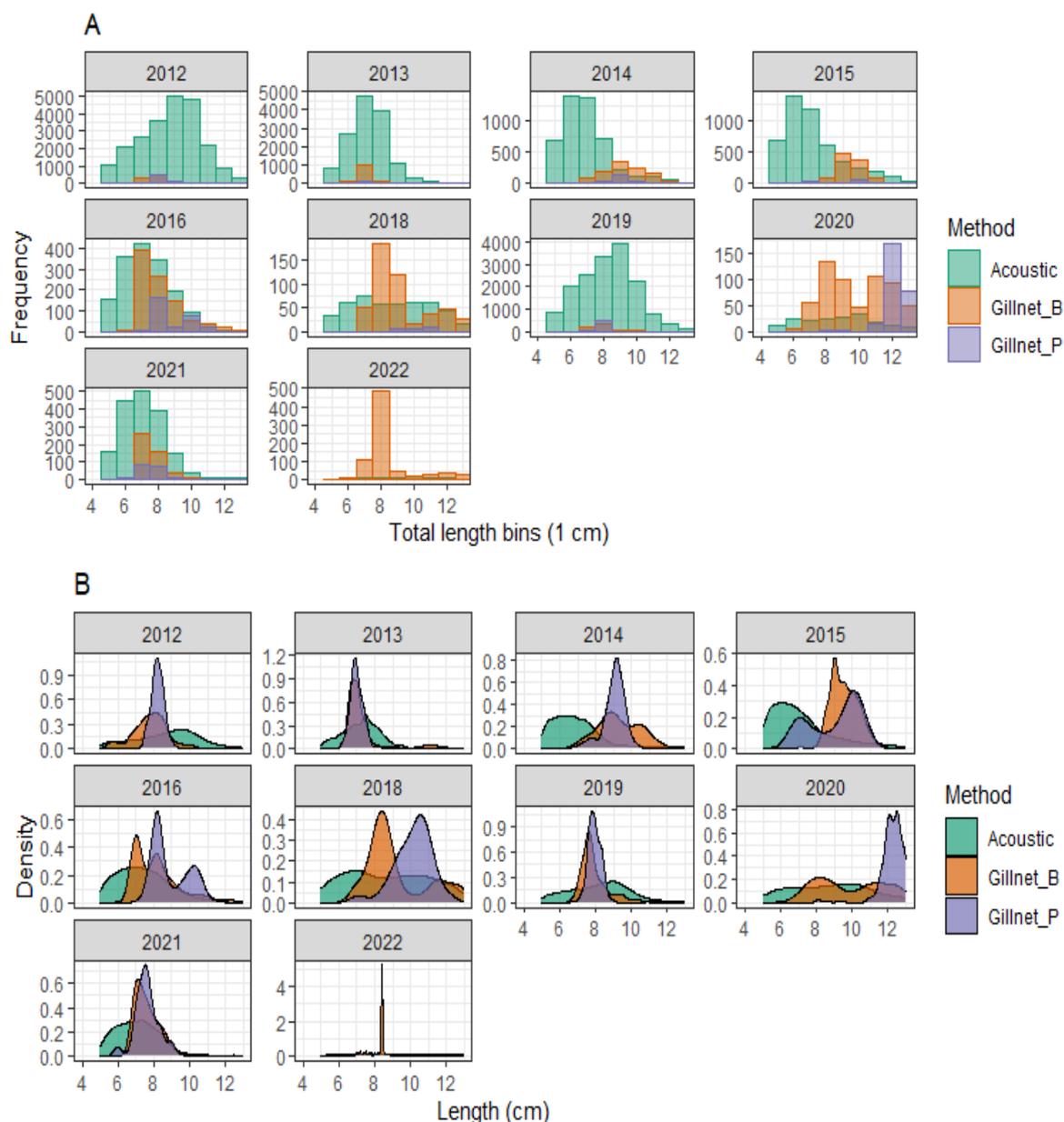


Figure 4 : Distribution du nombre d'individus par tailles A) et de la densité par tailles B) en fonction des méthodes d'échantillonnage sur le lac du Bourget

### 3.4. Comparaison des modes suivant les méthodes d'échantillonnages

#### 3.4.1. Lac d'Annecy

La comparaison des distributions ne permettant pas de caractériser les tailles des juvéniles et de les comparer statistiquement, nous avons utilisé le mode comme indicateur. En effet, le mode représente la valeur la plus fréquente ou représentative d'un ensemble de données, et nous a semblé, au vu de la sélectivité des filets, l'indicateur qui représentait le mieux un indicateur annuel de la taille des juvéniles.

Dans un premier temps, les similitudes entre les populations de poissons capturées

dans les filets pélagiques et benthiques ont été analysées en comparant année par année, le mode des distributions en taille de ces deux échantillons.

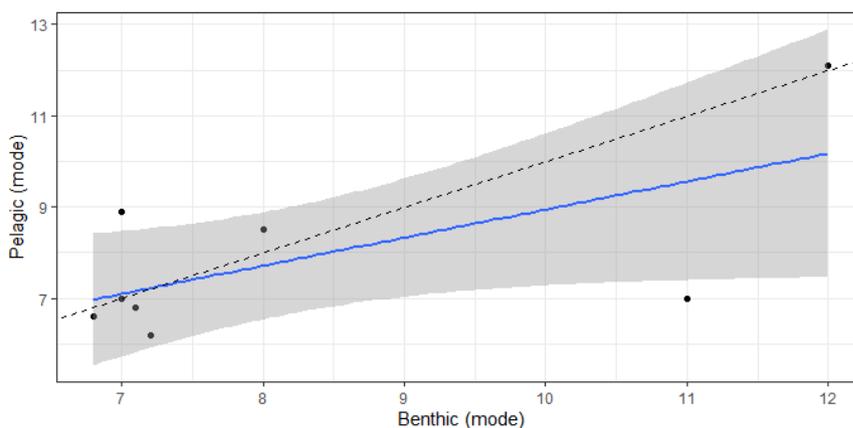


Figure 5 : Comparaison par année des tailles modales entre l'échantillonnage par filets benthiques et filets pélagiques pour le lac d'Annecy, droite 1 :1 en pointillé

Sur le lac d'Annecy, les deux méthodes de pêche par filets présentent des différences significatives ( $p > 0,05$ ) (Figure 5) mais l'indice de corrélation entre les jeux de données reste correct (indice 0,66). Les filets pélagiques capturent globalement des individus de plus petite taille que ceux des filets benthiques. Cette différence met en avant la disparité entre des populations plus littorales, capturées par les filets benthiques et d'autres pélagiques, capturées par les filets posés dans la zone la plus profonde et qui auraient des croissances différentes.

La comparaison entre les données acoustiques et les données des filets benthiques montre des différences nettement significatives ( $p > 0,1$ ) (Figure 6) et aucune corrélation entre les deux jeux de données (indice 0,27). Pour rappel, les données d'hydroacoustiques sont issues des transects dont la majeure partie se situe en zone profonde.

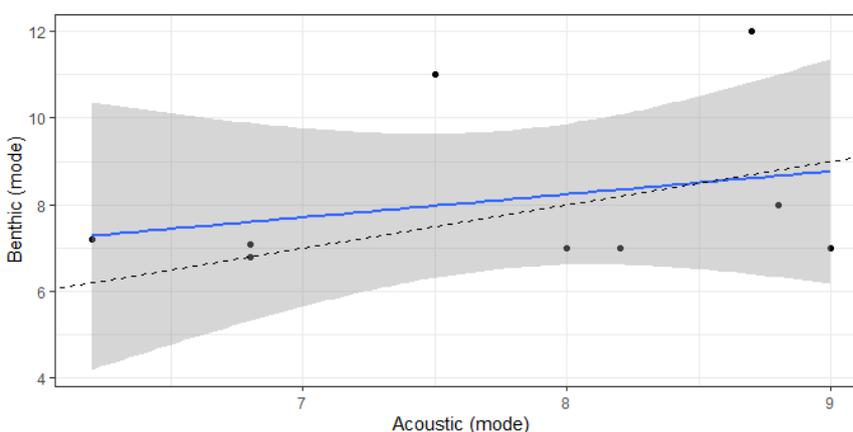


Figure 6 : Comparaison par année des tailles modales entre l'échantillonnage par filets benthiques et l'hydroacoustique pour le lac d'Annecy, droite 1 :1 en pointillé

Par contre, les données entre les filets pélagiques et l'hydroacoustique ne présentent pas de différences significatives ( $p < 0,05$ ) (Figure 7) et évoluent de manière similaire. La droite de régression est très proche du rapport 1:1. La corrélation entre les deux jeux de données est de 0,70. Le  $R^2$  n'est que de 0,42 dû à la variance résiduelle fortement influencée par l'année 2021, pour laquelle un écart important est enregistré entre les deux méthodes (12,1 cm pour les filets pélagiques contre 8,7 cm en acoustique). Si l'on exclut cette année 2021, le nombre de cibles détectées étant le plus faible sur la période (27 cibles) et ne peut être considéré comme fiable au vu des méthodes acoustiques (Simmonds et MacLennan, 2005), la corrélation entre les deux méthodes d'échantillonnage s'élève à 0,89 ( $p < 0,01$  ;  $R^2 = 0,76$ ).

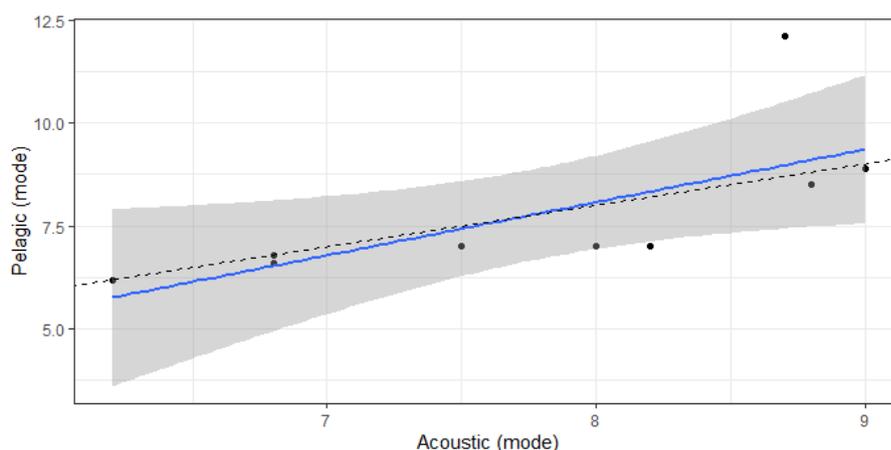


Figure 7 : Comparaison par année des tailles modales entre l'échantillonnage par filets pélagiques et l'hydroacoustique pour le lac d'Annecy, droite 1 :1 en pointillé

### 3.4.2. Lac du Bourget

Pour le lac du Bourget, les tailles des poissons capturés par les filets benthiques et les filets pélagiques (Figure 8) présentent des différences très significatives ( $p > 0,1$ ) sans corrélation entre les deux méthodes (indice : 0,29). Les poissons capturés par les deux filets seraient issus de populations différentes.

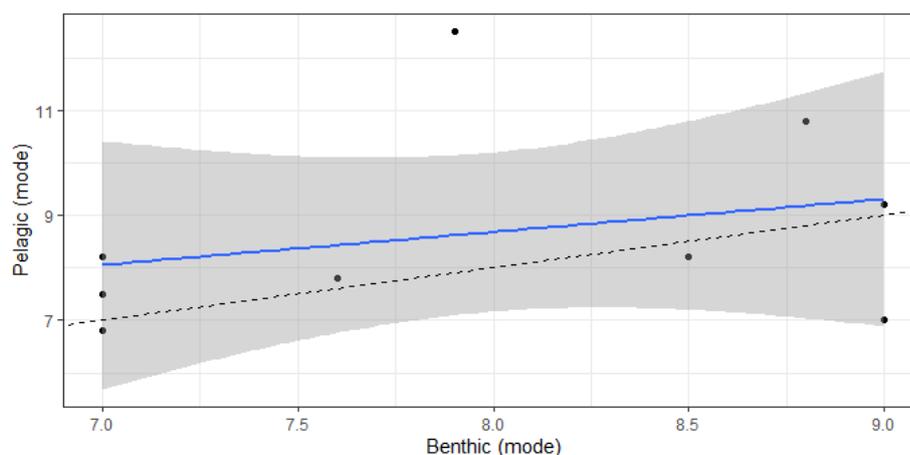


Figure 8 : Comparaison par année des tailles modales entre l'échantillonnage par filets benthiques et filets pélagiques pour le lac du Bourget, droite 1 :1 en pointillé

De plus, avec une p-value proche de 1 est un indice de corrélation de 0,03, les données acoustiques (Figure 9) ne sont pas du tout reliées aux tailles obtenues par la pose des filets benthiques.

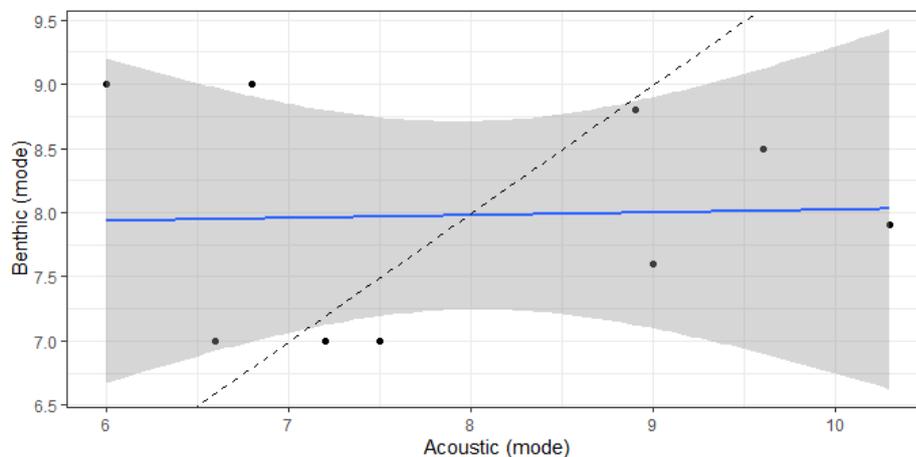


Figure 9 : Comparaison par année des tailles modales entre l'échantillonnage par filets benthiques et l'hydroacoustique pour le lac du Bourget, droite 1 :1 en pointillé

En revanche, des similitudes existent entre les données des filets pélagiques et de l'hydroacoustique, malgré la tendance des données acoustiques à sous-estimer les plus petites tailles (Figure 10). La corrélation entre les deux jeux de données est acceptable (0,64). La valeur de cet indice s'explique également par un  $R^2$  faible (0,32), indiquant une variance importante entre les deux jeux de données.

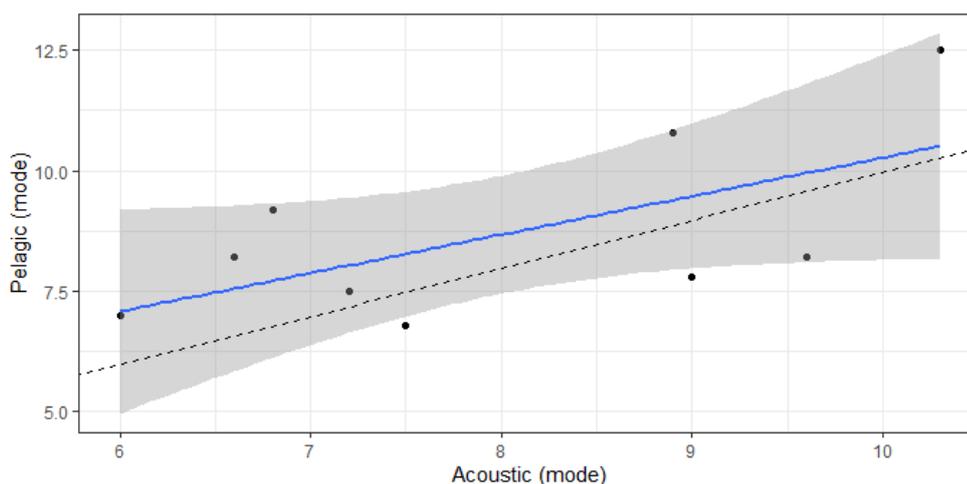


Figure 10 : Comparaison par année des tailles modales entre l'échantillonnage par filets pélagiques et l'hydroacoustique pour le lac du Bourget, droite 1 :1 en pointillé

### 3.5. Dynamique d'évolution interannuelle des modes.

#### 3.5.1. Lac d'Annecy

Le graphique (Figure 11) permet la visualisation de l'évolution des modes depuis 2012 entre la méthode par hydroacoustique et les filets pélagiques. Sur le lac d'Annecy, la dynamique des variations des tailles interannuelles par hydroacoustique suit celle observée par les filets pélagiques depuis 2012. A l'exception de l'année 2021, les modes obtenus par les deux méthodes sont très proches, avec un maximum d'1 cm d'écart. Pour rappel, en 2021, l'hydroacoustique enregistre seulement 27 cibles, ce qui rend les résultats peu robustes pour cette année.

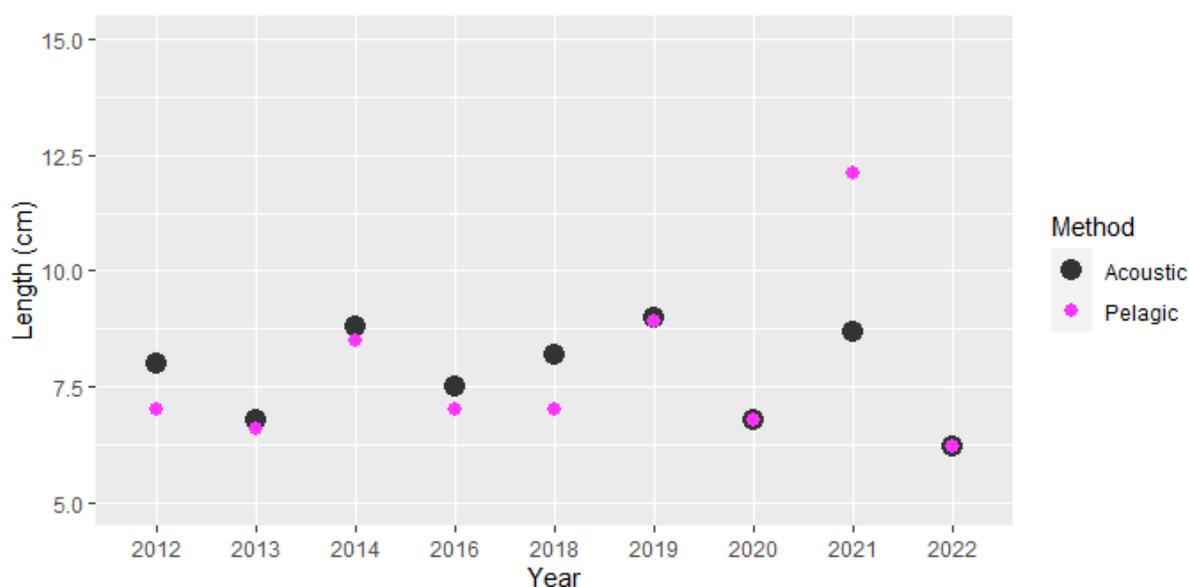


Figure 11 : Visualisation des modes des tailles individuels obtenus par hydroacoustique et filets pélagiques dans le lac d'Annecy

Sur cette série de données, on observe des fluctuations interannuelles mais pas de tendance à la baisse ou l'augmentation.

#### 3.5.2. Lac du Bourget

Sur le lac du Bourget, les données issues des méthodes d'échantillonnage par hydroacoustique et par filets pélagiques donnent des résultats similaires. A l'exception des années 2014, l'hydroacoustique retranscrit une image correcte de la variation interannuelle des tailles de juvéniles capturés par les filets pélagiques (figure 12). Pour rappel en 2014 seulement 1% de perches sont comptabilisés dans les effectifs capturés par les filets pélagiques. Cette même année le nombre de gardons et de perches étaient particulièrement bas avec un total de 28 individus (gardon + perche).

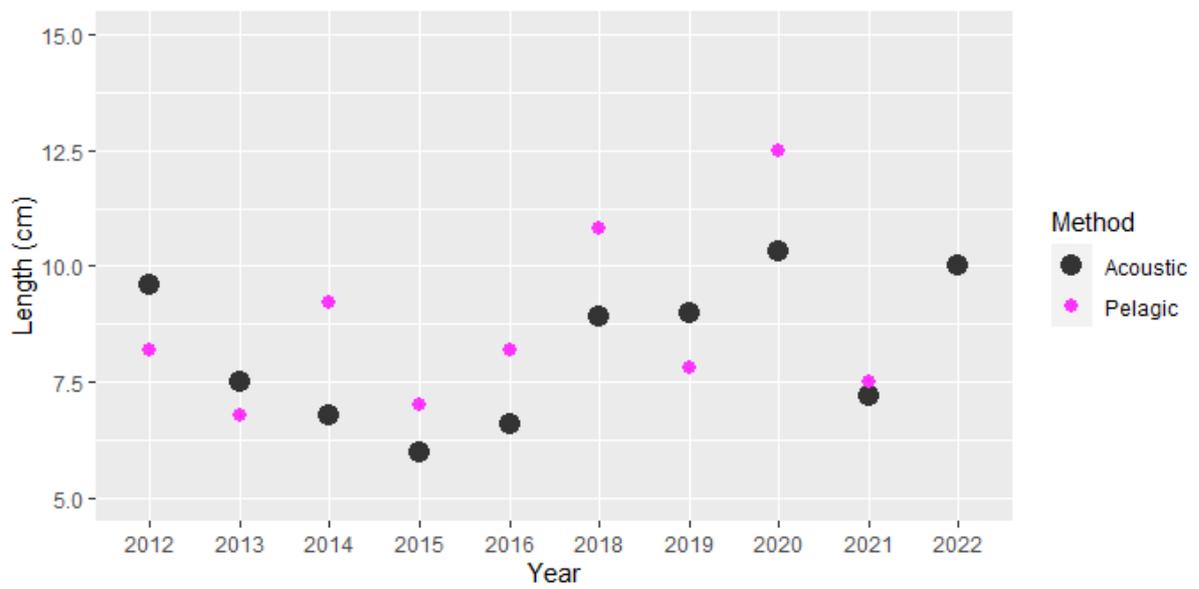


Figure 12 : Visualisation des modes des tailles individuels obtenus par hydroacoustique et filets pélagiques dans le lac du Bourget

Comme sur le lac d'Annecy, on observe des fluctuations interannuelles sans tendance à la baisse ou l'augmentation.

## 4. Conclusion

Les données hydroacoustiques, exprimées en dB, doivent être transcrites en centimètres à l'aide d'une équation mathématique. L'équation de Love (1971) est une équation généraliste largement utilisée dans les eaux douces (Emmrich *et al.*, 2012 ; Draštik *et al.*, 2014). La comparaison avec d'autres équations, notamment celles spécifiques aux juvéniles de perche (Frouzova et Kubceka, 2014), conforte son utilisation. Il est important de noter que la taille hydroacoustique exprimée en centimètres demeure une valeur calculée sujette à l'approximation de divers facteurs tels que la formule utilisée mais aussi une variabilité due à la méthode (positionnement du poisson, calibration, etc.)

Comme il a été montré par différents auteurs dont Tušer *et al.* (2022), les spectres de tailles de poissons capturés aux filets maillants multimailles ou par hydroacoustique sont convergents mais présentent des différences sur leur étendue. Nous nous sommes donc intéressés dans ce document à une fraction de la population, les juvéniles des 2 espèces majoritaires présentes dans les couches superficielles des lacs tempérés. Pour les deux lacs étudiés, et particulièrement pour le lac du Bourget, on observe des différences significatives entre les tailles des individus provenant des deux populations de poissons capturés par filets. Les juvéniles capturés dans les zones profondes du lac et ceux situés dans les zones de bordures ont des croissances différentes.

Lorsqu'on compare les distributions de tailles issues des données acoustiques avec celles issues des filets pélagiques, on observe de fortes convergences entre les modes, indicateurs de la taille des juvéniles à cette période. La corrélation sur le lac d'Annecy est très bonne entre ces deux méthodes d'échantillonnage. Sur le lac du Bourget, la corrélation est aussi significative entre les deux méthodes, avec toutefois une variance plus importante entre les données. Pour les deux lacs, les données hydroacoustique retranscrivent correctement l'évolution des dynamiques interannuelles observée dans les filets pélagiques.

Les données hydroacoustiques obtenues dans la zone pélagique permettent de retranscrire correctement les évolutions en taille des juvéniles de poissons des couches superficielles et donc de fournir des informations importantes sur le recrutement, les densités étant aussi par ailleurs bien décrites. L'écart entre les données acoustiques et les données filets est faible, peut être considéré comme acceptable car inférieur aux approximations dues à la variabilité inhérente à la méthode et lié aussi à une équation dite généraliste de conversion des dB en cm. Afin d'affiner ces conclusions, il serait nécessaire d'avoir une série de données plus grandes ou sur plus de lacs.

## 5. Références

- Balk, H., and Lindem, T., 2017. Sonar4 and Sonar5-Pro post processing systems. Operator manual version 6.0.4.
- CEN., 2014. Water quality - guidance on the estimation of fish abundance with mobile hydroacoustic methods. European Committee for Standardization, European Standard EN 15910:2014, Brussels.
- CEN., 2015. Water quality - sampling of fish with multi-mesh gillnets. European Standard EN 14757:2015, Brussels.
- Chorier, C., Dziedzic, A., and Dubois, J. P., 1995. Broadband dorsal target-strength functions of a free-swimming, individual fish: size and position dependence. In: 15<sup>th</sup> International Congress on Acoustics, Thronheim, Norway. pp. 389-392.
- Daufresne, M., Lengfellner, K., & Sommer, U., 2009. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *PNAS*, 106, 12788-12793. <https://doi.org/10.1073/pnas.0902080106>
- Draštík, V., Godlewska, M., Balk, H., Clabburn, P., Kubečka, J., Morrissey, E., ... & Guillard, J., 2017. Fish hydroacoustic survey standardization: A step forward based on comparisons of methods and systems from vertical surveys of a large deep lake. *Limnol. Oceanogr.: Methods*, 15, 836-846. <https://doi.org/10.1002/lom3.10202>
- Emmrich, M., Winfield, I. J., Guillard, J., Rustadbakken, A., Verges, C., Volta, P., ... & Mehner, T., 2012. Strong correspondence between gillnet catch per unit effort and hydroacoustically derived fish biomass in stratified lakes. *Freshw. Biol.*, 57, 2436-2448. <https://doi.org/10.1111/fwb.12022>
- Frossard V., Goulon C., Guillard J., Hamelet V., Jacquet S., Laine L., Rautureau C., Rimet F. Tran-Khac V. 2022. Suivi de la qualité écologique du lac d'Annecy. Rapport 2021. SILA (éd.) et INRA-Thonon. 47 p.
- Frouzova J, Kubecka J, 2004. Changes of acoustic target strength during juvenile perch development. *Fish. Res.*, 66, 355-361. [https://doi.org/10.1016/S0165-7836\(03\)00182-6](https://doi.org/10.1016/S0165-7836(03)00182-6)
- Girard, M., Goulon, C., Tessier, A., Vonlanthen, P., & Guillard, J., 2020. Comparisons of day-time and night-time hydroacoustic surveys in temperate lakes. *Aquat. Living Resour.*, 33, 9. <https://doi.org/10.1051/alr/2020011>
- Godlewska, M., Colon, M., Doroszczyk, L., Długoszewski, B., Verges, C., & Guillard, J. 2009. Hydroacoustic measurements at two frequencies: 70 and 120 kHz—consequences for fish stock estimation. *Fish. Res.*, 96, 11-16. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2008.09.015>

- Godlewska, M., Colon, M., Jóźwik, A., & Guillard, J., 2011. How pulse lengths impact fish stock estimations during hydroacoustic measurements at 70 kHz. *Aquat. Living Resour.*, 24, 71-78. <https://doi.org/10.1051/alr/2011104>
- Griffiths, C. A., Winker, H., Bartolino, V., Wennhage, H., Orio, A., & Cardinale, M., 2024. Including older fish in fisheries management: A new age - based indicator and reference point for exploited fish stocks. *Fish Fish.*, 25, 18-37. <https://doi.org/10.1111/faf.12789>
- Guillard, J., Perga, M. E., Colon, M., & Angéli, N., 2006. Hydroacoustic assessment of young- of- year perch, *Perca fluviatilis*, population dynamics in an oligotrophic lake (Lake Annecy, France). *Fish. Manag. Ecol.*, 13, 319-327. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2006.00508.x>
- Guillard J., Lebourges-Dhaussy A., Balk H., Colon M., Jozwik A., Godlewska M., 2014. Comparing hydroacoustic fish stock estimates in the pelagic zone of temperate deep lakes using three frequencies (70, 120, 200 kHz). *Inland Waters*, 4: 435-444. <https://doi.org/10.5268/IW-4.4.733>
- Holmgren, K., & Appelberg, M., 2000. Size structure of benthic freshwater fish communities in relation to environmental gradients. *J. Fish Biol.*, 57, 1312-1330. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2000.tb00489.x>
- Jacquet, S., J.-N. Avrillier, S. Cachera, C. Costel, L. Crépin, V. Frossard, C. Goulon, J. Guillard, V. Hamelet, J.C. Hustache, L. Laine, P. Perney, P. Quétin, J. Raphy, C. Rautureau, F. Rimet, S. Rasconi, V. Tran-Khac., 2023. Suivi environnemental des eaux du lac du Bourget pour l'année 2022. Rapport INRAE-CISALB, 29 p.
- Janjua, M. Y., & Gerdeaux, D., 2009. Preliminary trophic network analysis of subalpine Lake Annecy (France) using an Ecopath model. *KMAE*, 392, 02. <https://doi.org/10.1051/kmae/2009008>
- Lemaire, M., Guillard, J., Anneville, O., & Lobry, J., 2020. Major biomass fluctuations in lake food webs— An example in the peri-alpine Lake Annecy. *J. Great Lakes Res.*, 46, 798-812. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.04.007>
- Love, R. H. 1971. Dorsal- Aspect Target Strength of an Individual Fish. *The Journal of the Acoustical Society of America* 49, 816–823. <https://doi.org/10.1121/1.1912422>
- Love, R.H., 1977. Target strength of an individual fish at any aspect. *J. Acoust. Soc. Am.* 62, 1397–1403. <https://doi.org/10.1121/1.381672>
- Ona, E., 1990. Physiological factors causing natural variations in acoustic target strength of fish. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 70, 107-127. <https://doi.org/10.1017/S002531540003424X>
- Parker-Stetter, S. L. R., Sullivan, L. G., Warner, P. J., & David, M., 2009. Standard operating procedures for fisheries acoustic surveys in the Great Lakes.

- Parker-Stetter, S.L., Rudstam, L.G., Sullivan, P.J., and Warner, D.M. 2009. Standard operating procedures for fisheries acoustic surveys in the Great Lakes. *Great Lakes Fish. Comm. Spec. Pub.* 09-01. [http://www.glfc.org/pubs/SpecialPubs/Sp09\\_1.pdf](http://www.glfc.org/pubs/SpecialPubs/Sp09_1.pdf)
- Persson, L., & Greenberg, L. A., 1990. Juvenile competitive bottlenecks: the perch (*Perca fluviatilis*)-roach (*Rutilus rutilus*) interaction. *Ecology*, 71, 44-56. <https://doi.org/10.2307/1940246>
- Persson, L., 1993. Predator-mediated competition in prey refuges: the importance of habitat dependent prey resources. *Oikos*, 12-22. <https://doi.org/10.2307/3545304>
- Rautureau, C., Goulon, C., & Guillard, J. 2022. In situ TS detections using two generations of echosounder, EK60 and EK80: the continuity of fishery acoustic data in lakes. *Fish. Res.*, 249, 106237. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2022.106237>
- Rimet, F., Anneville, O., Barbet, D., Chardon, C., Crépin, L., Domaizon, I., ... & Monet, G., 2020. The Observatory on LAkes (OLA) database: Sixty years of environmental data accessible to the public. *J. Limnol*, 79, 164-178. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2020.1944>
- Simmonds, J., and MacLennan, D.N. 2005. Fisheries acoustics: theory and practice. 2<sup>nd</sup> ed. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- Tolonen, K. T., Karjalainen, J., Staff, S., & Leppä, M., 2000. Individual and population- level food consumption by cyprinids and percids in a mesotrophic lake. *Ecology of Freshwater Fish*, 9, 153-162. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2000.eff090304.x>
- Tušer, M., Guillard, J., Rustadbakken, A., & Mehner, T., 2022. Comparison of fish size spectra obtained from hydroacoustics and gillnets across seven European natural lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 79, 2179-2190. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2022-0037>
- Yule, D. L., Evrard, L. M., Cachera, S., Colon, M., & Guillard, J. 2013. Comparing two fish sampling standards over time: largely congruent results but with caveats. *Freshw. Biol.*, 58, 2074-2088. <https://doi.org/10.1111/fwb.12192>
- Westrelin, S., Balzani, P., Haubrock, P. J., & Santoul, F., 2023. Interannual variability in the trophic niche of young- of- year fish belonging to four piscivorous species coexisting in a natural lake. *Freshwater Biology*, 68, 487-501. <https://doi.org/10.1111/fwb.14041>