



**DÉTERMINATION DES NIVEAUX DE STRESS ET DE LA
MORTALITÉ GÉNÉRÉS PAR LA PRATIQUE DE LA PÊCHE
RÉCRÉATIVE AVEC REMISE À L'EAU CHEZ LE BAR RAYÉ
(*Morone saxatilis*)**

Mémoire présenté

dans le cadre du programme de maîtrise en océanographie
en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences (M. Sc.)

PAR

© BAPTISTE BRUNET

Mars 2024



Composition du jury

Dominique Robert, président du jury, Université du Québec à Rimouski – Institut des sciences de la mer de Rimouski (UQAR – ISMER)

Céline Audet, directrice de recherche, Université du Québec à Rimouski – Institut des sciences de la mer de Rimouski (UQAR – ISMER)

David Deslauriers, codirecteur de recherche, Université du Québec à Rimouski – Institut des sciences de la mer de Rimouski (UQAR – ISMER)

Dominique Lapointe, codirectrice de recherche, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP)

Patrice Couture, examinateur externe, Institut national de la recherche scientifique (INRS)

Dépôt initial le 24 octobre 2023

Dépôt final le 11 mars 2024

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À RIMOUSKI
Service de la bibliothèque

Avertissement

La diffusion de ce mémoire ou de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire « *Autorisation de reproduire et de diffuser un rapport, un mémoire ou une thèse* ». En signant ce formulaire, l'auteur concède à l'Université du Québec à Rimouski une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de son travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, l'auteur autorise l'Université du Québec à Rimouski à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de son travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits moraux ni à ses droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, l'auteur conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont il possède un exemplaire.

Ce mémoire est dédié à mon grand-père, Bernard DEROSAIS à qui j'apporte finalement les réponses à ses questions.

REMERCIEMENTS

Je tiens premièrement à exprimer ma profonde gratitude envers ma directrice de maîtrise, Dr Céline Audet, pour son soutien inestimable tout au long de cette période. Sa disponibilité constante et son expertise ont été des piliers essentiels. J'ai été formé à la rigueur de travail ainsi qu'à la motivation et l'enthousiasme de travailler fort dans ce que l'on aime. Ces enseignements resteront une source d'inspiration durable dans ma carrière future. Un grand merci pour cette expérience formatrice exceptionnelle.

Je tiens également à remercier mon codirecteur et ma codirectrice, Dr David Deslauriers et Dr Dominique Lapointe pour leurs corrections justes et précises, mais surtout pour leur soutien et leur accompagnement durant ma maîtrise. J'ai eu l'opportunité exceptionnelle de travailler à leurs côtés sur le terrain et d'apprendre de leur vaste expérience. Cela a été une expérience enrichissante et formatrice. C'est avec reconnaissance que je souligne l'influence positive qu'ils ont eu sur ma formation académique et sur ma compréhension du domaine. Merci sincèrement pour cette collaboration.

Si j'ai pu mener à bien ce projet, c'est notamment grâce à toutes les personnes externes qui ont contribué à la réalisation de celui-ci, en commençant par les 43 pêcheurs et pêcheuses bénévoles. Un sincère merci à toutes et à tous, avec une attention particulière à Jean, un ami dévoué avec une intensité sans relâche.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance envers les équipes du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, qui m'ont accueilli à deux reprises. Un grand merci aux biologistes et techniciens, notamment Yanick Soulard, Francis Moore, Jérôme Légaré, Myriam Ouellet, Nicolas Harnois, Éliane Valiquette, Marie-Christine Martel, pour leur soutien crucial lors de mon échantillonnage dans la Baie des Chaleurs. Je tiens également à mentionner spécialement Rosalye Pelletier-Lemay et Simon-Pierre Hamel, membres incontournables de la Striped Bass Task Force.

Un autre merci sincère à Michel Bélanger et à l'équipe du bureau de Trois-Rivières. Leur accompagnement lors de mon stage a été déterminant pour élargir mes compétences en me

permettant de travailler sur un sujet différent de ma maîtrise. Merci à tous pour votre contribution essentielle à mon projet de recherche.

Un grand merci à François-Xavier Dion Cery et Laurent Prevost pour leur super accompagnement pendant la campagne d'échantillonnage pour la respirométrie ! Leur aide précieuse a vraiment fait la différence. Merci les gars !

Merci au laboratoire de Céline, Dr Maria Martinez-Silva et Nina Bellenger pour leurs conseils précieux en laboratoire. Je souhaite également remercier Ghizlane Banousse, coéquipière lors des microcrédits FishCAST, ainsi que Nicolas Vachon, Émilie Leblond et Virginie Chalifoux, mes amis, avec qui j'ai partagé de nombreux moments mémorables dont la participation à la réunion annuelle de l'American Fisheries Society, une expérience exceptionnelle. Merci à toutes et à tous pour votre contribution à mon parcours académique et professionnel.

Merci au personnel de l'ISMER pour leur présence précieuse et leur réactivité constante. Leur disponibilité et leur engagement a grandement contribué à rendre mon parcours plus fluide et enrichissant.

Un grand merci au programme GEN-FISH, au programme FishCAST, à l'Université du Québec à Rimouski, à l'ISMER ainsi qu'à Ressources Aquatiques Québec pour leur soutien financier et les formations enrichissantes proposées. Je tiens à mettre un point d'honneur sur leur contribution et leur engagement envers la recherche et l'innovation dans le domaine des ressources aquatiques.

Je veux remercier l'ensemble de mes amis.es et rencontres que j'ai pu faire au cours de ces deux années, merci d'avoir fait de mon expérience rimouskoise, une expérience simple, unique et inoubliable.

Je remercie aussi tous mes proches restés en France qui m'ont soutenu. Finalement, je veux remercier et également dédier ce mémoire à mes parents qui m'ont accompagné, encouragé et cru en moi tout au long de mon parcours.

RÉSUMÉ

Le bar rayé (*Morone saxatilis*, Walbaum, 1792), poisson emblématique au Québec, est incontestablement l'une des espèces les plus prisées par les amateurs de pêche récréative. Par le passé, une forte pression de pêche sur cette ressource a contribué à des diminutions importantes d'abondance dans l'ensemble de son aire de répartition. Aujourd'hui, un suivi annuel de l'activité de pêche et de l'impact de celle-ci sur la santé générale du poisson est effectué par le MELCCFP, ce qui en assure la pérennité. Au Québec, seuls les poissons appartenant à la population du sud du golfe du Saint-Laurent peuvent faire l'objet d'une pêche récréative.

L'objectif de cette étude était de déterminer les niveaux de stress engendrés par la pratique de la pêche récréative avec remise à l'eau, mais également de déterminer les pourcentages de mortalité associés à la pratique de remise à l'eau. Deux campagnes d'échantillonnage ont été menées. À l'été 2022, pour la détermination des niveaux de stress post-capture, des échantillons de plasma sanguin et de tissus hépatiques et branchiaux ont été prélevés sur 24 poissons pour mesurer différents indicateurs de stress. À l'été 2023, le pourcentage de mortalité associé à la pratique de remise à l'eau a été évalué en gardant en rétention 192 bars rayés capturés à la ligne pour une période de 72 h. Les données concernant les pêcheurs (expérience, type de leurre utilisé) et la pêche (durée du combat, durée d'exposition à l'air) ont été récoltées afin d'analyser les résultats obtenus.

Globalement, cette étude a montré que le bar rayé était particulièrement résistant au stress causé par la capture. Seule la présence de saignement lors du retrait de l'hameçon a provoqué l'apparition de légères variations significatives du glucose plasmatique, un indicateur secondaire du stress. Les résultats d'expression génique ont montré qu'il semblait y avoir une forte diversité génétique entre les espèces de l'ordre des Perciformes puisque peu de gènes ont pu être analysés à partir de la puce transcriptomique développée par le consortium GEN-FISH pour évaluation de l'état de santé chez ce groupe de poissons. Le développement d'amorces spécifiques à l'espèce s'avèrera nécessaire pour utilisation éventuelle sur le terrain. Finalement, aucune mortalité n'a été observée sous les conditions de cette étude.

ABSTRACT

Striped Bass (*Morone saxatilis*, Walbaum, 1792), an emblematic fish in Québec, is undoubtedly one of the most popular species for recreational fishing. In the past, high fishing pressure had led to sharp decreases in abundance. Today, this species requires careful monitoring of fishing activity and of its impact on the general health of fish. In Québec, only Striped Bass from the population of the southern Gulf of St. Lawrence may be harvested.

The objective of this study was to determine the stress levels caused by recreational catch-and-release fishing and mortality rates following release. Two sampling campaigns were conducted. In the summer of 2022, for the determination of stress levels, blood plasma and liver and gill tissue samples were collected from 24 fish for measurement of various stress indicators. In the summer of 2023, mortality was monitored by retaining for 72 hours, 192 striped bass captured by anglers. Data on anglers (experience) and fishing (duration of fighting, duration of exposure to air) were collected in both campaigns and used for data analysis.

Overall, this study demonstrated that striped bass was particularly resistant to the stress caused by catching. Only the presence of bleeding during hook removal caused the appearance of slightly significant variations in plasma glucose, a secondary indicator of stress. Gene expression results showed that there appeared to be a high genetic diversity between species of the order Perciformes since few genes could be analyzed from the transcriptomic microarray developed by the GEN-FISH consortium to assess the health status of this group of fish. The development of species-specific primers will be necessary for eventual use in the field. Finally, no mortality was observed under the conditions of this study.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS	viii
RÉSUMÉ	x
ABSTRACT	xi
TABLE DES MATIÈRES	xii
LISTE DES TABLEAUX	xiv
LISTE DES FIGURES	xvi
LISTE DES ÉQUATIONS	xviii
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
LA RÉPONSE AU STRESS	1
LA RÉPONSE TRANSCRIPTOMIQUE FACE AU STRESS	4
LE SUJET D'ÉTUDE.....	8
OBJECTIF DE L'ÉTUDE.....	13
MATÉRIEL ET MÉTHODES.....	15
STRESS GÉNÉRÉ PAR LA PECHE AVEC REMISE À L'EAU	15
TAUX DE MORTALITÉ LIÉ À LA REMISE À L'EAU.....	23
RÉSULTATS	27
LES NIVEAUX DE STRESS	27
SUIVI DE LA MORTALITÉ	31

DISCUSSION	37
ÉVALUATION DE LA RÉPONSE PHYSIOLOGIQUE AU STRESS.....	37
ÉVALUATION DE LA RÉPONSE TRANSCRIPTOMIQUE AU STRESS	38
VALIDATION DE LA PUCE	39
MORTALITÉ	40
PERSPECTIVES.....	42
RÉFÉRENCES CITÉES.....	44
RÉFÉRENCES ÉLECTRONIQUES	54
ANNEXES	55

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Gènes d'intérêt présents sur la puce transcriptomique.	19
Tableau 2 : Liste des variables dépendantes et explicatives de cette étude.....	22
Tableau 3 : Moyenne \pm écart type pour les différentes variables physiologiques et transcriptomiques mesurées ainsi que les résultats des tests univariés de Kruskal-Wallis (valeurs de p) et de l'ANOVA à 1 facteur (valeur de F, degrés de liberté, valeur de p).....	28
Tableau 4 : Résultats des tests de corrélation entre les variables continues explicatives et les variables dépendantes.	31
Tableau 5 : Conditions environnementales et donnée de rétention.....	32
Tableau 6 : Nombre de bars rayés capturés en fonction du type de leurre et de l'expérience des pêcheurs.	33
Tableau 7 : Temps de combat moyen en fonction de l'expérience et du type de leurre utilisé par les pêcheurs (Moyenne \pm é.t.). Pour l'expérience des pêcheurs, les catégories possédant des lettres (a ou b) différentes ont un temps de combat moyen significativement différent. Même principe pour le type de leurre.	34

Tableau 8 : Modèle linéaire généralisé binomial de la profondeur d'hameçonnage en fonction de la longueur totale maximale (LTM) et d'un modèle nul. Les valeurs de support statistique ont été utilisées afin de sélectionner le modèle le plus adéquat.36

LISTE DES FIGURES

- Figure 1 : Aires de répartition principales des populations de bar rayé du fleuve Saint-Laurent et du sud du golfe du Saint-Laurent, au Québec et dans le sud du golfe du Saint-Laurent (MELCCFP, 2023). 10
- Figure 2 : Estimation de l'abondance de bars rayés reproducteurs adultes dans de la rivière Miramichi Nord-Ouest entre 1994 et 2022. Figure tirée de MPO (2023). 11
- Figure 3 : (A) Nombre de bars rayés récoltés et remis à l'eau dans le cadre de la pêche récréative au bar rayé au sud de la Gaspésie en 2014 et 2015 ; (B) Estimation de la mortalité totale (récolte + 9 % des remises à l'eau) associée à la pêche récréative (MELCCFP, données non publiées.) 13
- Figure 4 : Localisation des quatre sites d'échantillonnage du bar rayé dans la Baie des Chaleurs en 2022 pour l'étude du stress : (1) Carleton-sur-Mer (2 poissons capturés); (2) Bonaventure, Banc de l'Est (16 poissons capturés); (3) Sainte-Thérèse-de-Gaspé (4 poissons capturés); (4) Cap-d'Espoir (2 poissons capturés). 15
- Figure 5 : Localisation des sites d'échantillonnage du bar rayé à Bonaventure dans la Baie des Chaleurs en 2023 pour l'étude de la mortalité : (1) Banc de l'Est; (2) Plage Évangéline; (3) Plage de Fauvel..... 24
- Figure 6 : Variations du glucose plasmatique en fonction de la présence de saignement ou non chez le bar rayé à la suite du décrochage. n=24 ; Moyenne \pm écart type; * $p < 0,05$ 29

Figure 7 : Analyse en composantes principales comprenant les variables explicatives et dépendantes conservées pour l'analyse.30

Figure 8 : Nombre de bars rayés par intervalles de taille de 10 mm (n = 192). La longueur totale maximale a été prise en compte.....35

LISTE DES ÉQUATIONS

Équation 1: Détermination de la concentration initiale par gène (N_0)21

Équation 2 : Détermination du ΔC_t 21

INTRODUCTION GÉNÉRALE

LA RÉPONSE AU STRESS

Le stress

Le stress, bien souvent mal perçu du fait des effets néfastes qu'il engendre, est en réalité un concept biologique indispensable à la vie sur terre (Ottaviani et Franceschi, 1996). Sous l'action d'un stimulus, présenté comme un facteur nocif ou imprévisible, des changements hormonaux, physiologiques et comportementaux surviennent afin de maintenir l'équilibre du milieu intérieur de l'organisme (Chrousos, 1998). Les notions de stabilité et d'équilibre du milieu intérieur ont été évoquées pour la première fois au XIX^e siècle par Claude Bernard, un médecin et physiologiste français (Bernard, 1865). C'est en 1926 que le physiologiste Walter Cannon met finalement un mot sur cette notion « d'équilibre du milieu intérieur » dans son livre « *The wisdom of the body* » qui décrit la façon dont un organisme maintient dynamiquement des conditions vitales stables. Il nommera ce phénomène « l'homéostasie ». Le stress se définit alors comme étant un état d'homéostasie menacée, dont le maintien est porté par de nombreuses réponses adaptatives physiologiques et comportementales (Chrousos et Gold, 1992).

Pour les organismes aquatiques, le stress peut être de différentes natures (Bruslé et Quignard, 2004). Il peut être abiotique et se présenter sous forme de stress physique relatif aux changements de température et de salinité par exemple, mais il peut également être lié aux manipulations anthropiques menant l'organisme au-delà de ses limites de tolérance. Il peut également être biotique et être engendré par des prédateurs ou des parasites. Le stress, qu'il soit engendré par des facteurs abiotiques ou biotiques, peut être aigu ou chronique. Le stress aigu se définit comme étant une perturbation brève et de forte intensité menant à une réaction normale de l'organisme face aux agents de stress permettant un retour à la stabilité (Hill *et al.*, 2022). Le stress chronique, d'intensité faible à modérée, réfère à une perturbation ou une exposition prolongée à un agent de stress empêchant un retour à la stabilité et marquant un dépassement des capacités adaptatives de défense et de résistance (Hill *et al.*, 2022).

Les réponses adaptatives mises en place pour faire face au stress ont été regroupées par le chercheur Hans Selye sous le concept de « syndrome d'adaptation général » (Selye, 1946 ; 1950). Le syndrome d'adaptation général implique des réponses du système neuroendocrinien, physiologiques et comportementales. Chez les poissons, toutes ces réponses ont été décrites sous le nom de cascade de réponse au stress (Barton et Iwama, 1991 ; Barton, 2002) et sont regroupées en trois grandes catégories : les réponses primaires, secondaires et tertiaires. Ces réponses au stress incluent généralement les réponses neuroendocriniennes, cellulaires et moléculaires.

La réponse primaire

La première réponse, la réponse primaire est dite « neuroendocrinienne » puisque le stress est détecté en premier lieu par le système nerveux central (SNC) entraînant la libération d'hormones de stress dans le sang (Selye, 1950 ; Barton, 2002) dès les premières secondes et minutes suivant le stress. Le SNC perçoit la menace et active simultanément le système nerveux sympathique et l'axe hypothalamus-hypophyse-glande interrénales (HHI) qui sont respectivement responsables des augmentations de catécholamines (adrénaline, noradrénaline, dopamine) et de glucocorticoïdes (cortisol) sanguins. Parmi de nombreuses autres hormones qui interviennent dans la réponse au stress (Mason, 1968) et au maintien de l'homéostasie (Bentley, 1998), ce sont ces deux catégories d'hormones qui jouent un rôle dominant dans la réponse au stress.

La sécrétion de catécholamines dans le sang est une réaction extrêmement rapide effectuée par les cellules chromaffines situées dans la portion antérieure du rein (Randall et Perry, 1992 ; revu par Reid *et al.*, 1998). L'adrénaline, l'une des catécholamines sécrétées dans le sang, joue un rôle important lors d'un stress en augmentant tant les capacités respiratoires de l'individu, que la fréquence et la force de contraction du cœur et la quantité de globules rouges, faisant croître les capacités à capter l'oxygène.

Les glucocorticoïdes sont eux sécrétés sous l'effet de l'hormone adrénocorticotrophine qui est libérée par l'hypophyse lors d'un stress. L'adrénocorticotrophine entraîne la synthèse et l'excrétion des glucocorticoïdes par les cellules interrénales, situées dans la portion antérieure du rein (revu par Hontela, 2005). L'un des glucocorticoïdes principalement sécrétés est le cortisol, en grande partie responsable de la libération de glucose par glycogénolyse. Ainsi, le dosage du cortisol plasmatique est considéré comme un bon indicateur de stress.

La sécrétion de ces hormones est régulée par un rétrocontrôle positif pour les catécholamines et négatif pour les glucocorticoïdes (Reid *et al.*, 1998). Ces hormones de stress initient la réponse secondaire d'un organisme face au stress en régulant les réponses cellulaires et moléculaires.

La réponse secondaire

Le maintien de l'homéostasie face aux agents de stress implique une réponse générale au niveau cellulaire et moléculaire impliquant notamment des modifications du métabolisme énergétique. Afin d'assurer la fonctionnalité des différents organes, la sécrétion des catécholamines et des glucocorticoïdes va fournir l'énergie nécessaire aux différentes réponses adaptatives en modifiant différentes voies métaboliques.

Parmi les voies métaboliques affectées, on note la réponse à la demande en glucose de l'organisme (Mommsen *et al.*, 1999 ; Sapolsky *et al.*, 2000). Le glucose est utilisé par les mitochondries comme substrat pour réaliser la respiration cellulaire. La quantité de glucose dans le sang est augmentée par la glycogénolyse, qui consiste à briser le glycogène hépatique (forme de stockage du glucose dans le foie) en sous-unités de glucose, mécanisme initié par le cortisol (Nakano et Tomlinson, 1967 ; Heath, 1987). Une augmentation de glucose dans le sang sera alors représentative d'un stress ayant mené à la libération de cortisol. De manière générale, l'organisme active la production de glucose afin de fournir l'énergie nécessaire aux cellules pour faire face au stress.

La perturbation hydrominérale est une réponse secondaire observée lors d'un stress chez les vertébrés osmorégulateurs. Cette réponse est cependant différente selon l'environnement de l'individu. Un poisson retrouvé dans les eaux douces aura tendance à perdre des ions et devenir hypo-osmotique comparativement à son osmolarité de base, tandis qu'un poisson en eau salée deviendra hyper-osmotique par rapport à son état d'équilibre. Dans le cas d'un déséquilibre osmotique, les pertes ou les apports en ions vont surtout se faire par diffusion. En eau saumâtre, le déséquilibre osmotique est faible voire nul puisque l'osmolarité du poisson et celle de son environnement sont similaires.

Cette diffusion ionique est, lors d'un stress, facilitée par la sécrétion d'hormones de stress puisque celles-ci viennent augmenter la perméabilité à l'eau et aux ions au niveau de l'épithélium branchial (Mallatt, 1985). Ce sont en particulier les fortes concentrations en catécholamines (adrénaline) qui sont à l'origine de ces modifications (Booth, 1979 ; revu par Portz *et al.*, 2006). En tenant compte de l'environnement extérieur, les changements de concentrations ioniques issus de ces modifications sont de bons indicateurs de stress chez les poissons téléostéens.

La réponse tertiaire

La dernière réponse d'un organisme face à un stress est la réponse tertiaire. Elle apparaît en présence de stress chronique quand les réponses primaires et secondaires exacerbent et entraînent une réallocation de l'énergie. Cette réponse peut être directement liée à la durée et l'intensité du stress, mais même un stress chronique de faible intensité peut mener à un détournement de l'énergie qui serait, en temps normal, utilisée pour les activités métaboliques de routine (Barton et Iwama, 1991). Cela nuit considérablement à la performance générale de l'individu en ayant un impact sur sa valeur adaptative (« fitness »), avec des effets sur la croissance, le système immunitaire, le succès reproducteur et ultimement sur la survie (Pickering *et al.*, 1991 ; Schreck *et al.*, 2001 ; revu par Schreck, 2010).

LA RÉPONSE TRANSCRIPTOMIQUE FACE AU STRESS

Tissus cibles

Tel que déjà indiqué, le concept de syndrome d'adaptation général regroupe les réponses primaires, secondaires et tertiaires lorsque l'organisme subit un stress, peu importe la nature. Ces différentes réponses trouvent également leur source au niveau transcriptomique. Les études transcriptomiques s'intéressent à l'ensemble des ARN messagers produits lors du processus de transcription d'un génome dans un tissu ou un type cellulaire spécifique.

Le foie est considéré comme un bon indicateur pour les réponses transcriptomiques. Organe vital, il joue un rôle majeur dans le stockage d'énergie, dont la forme va dépendre du milieu dans lequel évolue le poisson. Les poissons marins vont accumuler leur énergie sous forme de lipides

hépatiques (McClelland *et al.*, 1995), tandis que les poissons d'eau douce stockent leur énergie sous forme de glycogène hépatique (Busacker *et al.*, 1990) ou de lipides viscéraux (Hung *et al.*, 1997). Chez le bar rayé (*Morone saxatilis* ; Walbaum, 1792), il y a peu d'informations relatives au lieu de stockage des lipides, mais les réserves en glycogène représentent une importante source d'énergie chez cette espèce (revu par Harper et Wolf, 2009).

Un autre organe fortement impliqué dans la réponse au stress est les branchies. Chez la plupart des téléostéens, l'entièreté de la surface du corps n'est pas ou peu impliquée dans les réponses ioniques et osmotiques puisqu'elle est relativement imperméable aux ions et à l'eau. La régulation osmo-ionique est alors assurée par des portions spécifiques du corps, telles que les branchies. Les branchies vont également être impliquées dans la réponse au stress et généralement ciblées pour évaluer ce dernier puisque des biopsies non létales peuvent être effectuées pour des études sur le terrain.

Gènes d'intérêts

Au sein des organes discutés plus haut, différents indicateurs transcriptomiques, tel que les gènes codants pour la réponse au stress, peuvent aider à évaluer la perception d'un stress et la réponse engendrée.

À la suite de nombreuses réactions en chaîne d'origines neurologiques, des glucocorticoïdes ainsi que des minéralocorticoïdes sont libérés dans le sang et se fixent à leurs récepteurs spécifiques afin d'initier leurs actions (Evans, 1988). Les récepteurs aux glucocorticoïdes (GRs) sont retrouvés près de chaque tissu (Moutsatsou *et al.*, 2012) et jouent un rôle clé dans la régulation par rétroaction négative de l'axe HHI (revu par Suarez-Bregua *et al.*, 2018). Ces récepteurs permettent aux glucocorticoïdes de jouer leur rôle dans le dépôt de glycogène dans le foie (Norman et Litwack, 1997), mais surtout dans la glycogénolyse qui permettra la libération de glucose qui sert de substrat à la respiration mitochondriale. Les récepteurs aux minéralocorticoïdes (MRs) sont principalement retrouvés dans les tissus impliqués dans la régulation ionique tels que les branchies et jouent un rôle crucial dans la régulation de l'homéostasie, l'osmo-iono-régulation étant une fonction essentielle chez les poissons (Norman et Litwack, 1997 ; Fuller *et al.*, 2000). Ces récepteurs ont jusqu'à 10 fois plus d'affinité avec le cortisol que ce dernier avec les GRs (Krozowski et Funder,

1983 ; Hellal-Levy *et al.*, 2000). Les variations dans l'expression des gènes codants pour les GRs et les MRs peuvent donc être d'intérêt pour la réponse au stress.

Le stress peut altérer le fonctionnement efficace des cellules et affecter négativement les propriétés biochimiques des protéines qui sont dans un état thermodynamique stable dans des conditions idéales. Dans des environnements stressants, les protéines peuvent se déployer, se replier ou s'agréger, affectant le métabolisme de l'organisme (Iwama *et al.*, 1998). Les protéines de choc thermique (HSPs), tout d'abord associées à des stress thermiques, aident à réparer les dommages infligés aux protéines en contribuant à la restauration cellulaire et jouant un rôle dans la régulation des interactions entre les hormones et leurs récepteurs (Welch, 1993). Ces protéines permettent d'améliorer la survie en protégeant les fonctions cellulaires vitales (Iwama *et al.*, 1998). Les différences de transcription au niveau des HSPs sont alors des marqueurs transcriptomiques d'intérêt pour étudier la réponse au stress.

Parmi celles-ci on note les HSP 47, 70 et 90. Les HSP 47 sont des protéines retrouvées dans le réticulum endoplasmique, là où se déroule la fabrication des protéines et des lipides. Les HSP 47 sont des molécules chaperonnes essentielles au bon repliement post-traductionnel des protéines de collagène (Nagata, 1996), protéines fibrillaires de la matrice extracellulaire (MEC). Lors de l'exposition à un choc thermique, un changement dans l'expression du gène codant pour la protéine « *SERPINH1 (HSP47)* » a été démontré (Wang *et al.*, 2016). L'expression du gène codant pour cette protéine est donc un bon indicateur de stress.

Les HSP 90, retrouvées dans le cytosol, jouent un rôle majeur dans le maintien de l'intégrité structurelle et la bonne régulation d'un ensemble de protéines cytosoliques chez les eucaryotes (Picard, 2002). Ces protéines vont interagir avec les GRs et MRs (Sathiyaa *et al.*, 2001 ; Picard, 2002). La liaison d'HSP 90 à ces récepteurs leur permet de conserver une conformation ainsi qu'une stabilité compétente pour se lier aux glucocorticoïdes (Segnitz et Gehring, 1997).

Les HSP 70 et HSC 70 (*Heat shock cognate*) sont deux membres de la famille des protéines de choc thermique HSP 70. Ces protéines sont d'intérêt puisqu'elles répondent à une multitude d'agents de stress incluant les chocs thermiques. Elles agissent principalement en tant que molécules chaperonnes intracellulaires en participant au repliement et au transport des protéines, ainsi qu'à la régulation de l'apoptose. Essentielle à la croissance et à la survie, l'expression des

gènes codants pour ces protéines est induite dans des conditions de stress, ce qui suggère qu'elles peuvent être utilisées comme indicateurs de la réponse au stress cellulaire.

Autres protéines exprimées lors d'une modification de la température extérieure, les CIRP (*Cold Inducible RNA binding protein*) répondent lors d'un léger choc thermique à des températures plus froides (Nishiyama *et al.*, 1997). Appartenant à la famille des CSPs (*Cold shock-domain family proteins*), leur rôle dans la réponse au stress chez les poissons est encore mal documenté. Retrouvées dans le foie chez les humains et les mammifères, ces protéines joueraient un rôle dans la réponse immunitaire et dans la régulation de l'apoptose sous l'effet d'un stress (revu par Liao *et al.*, 2017). Évaluer leur expression chez les téléostéens serait un bon indicateur de stress.

En plus des récepteurs et des protéines, les enzymes peuvent également être de bons indicateurs de stress. Assurant la conversion de la cortisone (glucocorticoïde inactif) en cortisol (forme active), l'enzyme 11-hydroxystéroïde déshydrogénase de type 1 (*hsd11b1*) régule alors l'activation des GRs dans chacun des tissus (Gathercole *et al.*, 2013). Autre enzyme impliquée dans la réponse au stress, la matrix métalloprotéinase de type 2 (*mmp2*), va quant à elle jouer le rôle inverse aux protéines de choc thermique HSP 47, puisqu'elle va entraîner la dégradation des protéines composant la MEC, tel que le collagène (revu par Itoh *et al.*, 2002).

Lorsqu'il est prolongé, le stress peut affecter la réponse métabolique ainsi que la capacité de faire face aux maladies. Ces changements plus tardifs apparaissent lors de la réponse tertiaire. S'intéresser à l'expression de gènes autres que les gènes de stress, tel que les gènes liés à la fonction immunitaire ou liés à la croissance et au métabolisme pourrait renseigner sur l'intensité et la durée du stress. Ces autres gènes pourraient être également intéressants à prendre en compte.

La puce transcriptomique multi-espèces

Dans l'optique de permettre l'expression d'un large panel de gènes relatifs à l'état de santé général des espèces ayant un intérêt culturel ou commercial au Canada (44 espèces au total), le consortium GEN-FISH (gen-fish.ca) développe actuellement une puce transcriptomique multi-espèces servant d'outil pour mesurer les réponses transcriptomiques face à des combinaisons de facteurs de stress aigus ou chroniques connus. Cette puce devra répondre aux exigences et aux besoins des utilisateurs, nécessitant alors une étape de validation en conditions contrôlées

(laboratoire) et non contrôlées (sur le terrain). Le bar rayé, considéré comme une espèce d'intérêt pour les communautés autochtones et pour la pêche récréative, nécessite des moyens de gestion efficaces pour lesquels la puce pourrait fournir des renseignements utiles. La puce (Stress-response Transcriptional Profiling Chip (STP Chip)) utilisée dans cette étude permet l'expression de 25 gènes d'intérêts parmi une centaine de gènes considérés au total. Ces gènes ont été sélectionnés à la suite d'études menées par les différents collaborateurs de ce projet. De plus, souhaitant prendre en compte un total de 44 espèces phylogénétiquement éloignées, la puce contient plusieurs amorces et sondes non spécifiques permettant d'initier et de quantifier l'amplification des gènes d'intérêt à tester.

LE SUJET D'ÉTUDE

Présentation du bar rayé

Le bar rayé est une espèce anadrome itéropare (Merriman, 1941 ; Setzler-Hamilton et Hall, 1991), grégaire et dont le rythme de vie est dicté par de nombreuses migrations et déplacements au cours des saisons et des différents stades de vie (COSEPAC, 2012). La reproduction, le développement des œufs et le début du stade larvaire ont lieu en eau douce ou légèrement saumâtre de la fin mai à la fin juin. La durée du stade embryonnaire est régie par la température de l'eau (Cooper et Polgar, 1981) et peut prendre de 2 à 3 jours (COSEPAC, 2012). La durée du stade larvaire est influencée par la température, mais également par l'abondance en nourriture. Durant sa première semaine de vie, un sac vitellin permet les apports nécessaires au développement (Cooper et Polgar, 1981). Lorsque les réserves vitellines sont épuisées, la larve se nourrit seule et principalement de zooplancton (Kernehhan *et al.*, 1981). Le stade larvaire dure entre 30 et 50 jours selon les conditions environnementales (COSEPAC, 2012) et le jeune juvénile commence à se déplacer et ainsi explorer les eaux plus salées des estuaires et des milieux côtiers. Au terme de la période de reproduction, les adultes migrent vers les eaux marines afin de s'alimenter le long des côtes tout au long de l'été et de l'automne où ils trouveront une nourriture de qualité et en quantité suffisante (COSEPAC, 2012).

Bain et Bain (1982) affirment qu'une population abondante de bar rayé indique qu'une rivière et son estuaire sont en bon état et que le taux de reproduction est adéquat. Ainsi, la présence du bar rayé dans les eaux du golfe du Saint-Laurent ou bien dans les rivières de frai démontre une certaine qualité de l'environnement. Un bon taux de survie des juvéniles va dépendre fortement de l'abondance en proies, ainsi que de conditions favorables de température et d'oxygène dissous (Cooper et Polgar, 1981). Adulte, le bar rayé est un important prédateur au sein du réseau trophique jouant alors un rôle important dans le maintien de la biodiversité des écosystèmes aquatiques (Walter *et al.*, 2003).

Distribution générale

L'aire de répartition naturelle du bar rayé sur la côte atlantique nord-américaine s'étend du fleuve du Saint-Laurent, au Québec, jusqu'à la rivière St. Johns, en Floride, ainsi que dans le golfe du Mexique, de la rivière Suwannee en Floride, jusqu'au lac Pontchartrain en Louisiane (revu par GSMFC, 2006). Ces dernières années, une expansion de l'espèce a été observée dans les eaux marines de Terre-Neuve-et-Labrador et dans les zones côtières et estuariennes du Labrador (Van Leeuwen *et al.*, 2021). Au Québec, deux populations de bar rayé sont présentes. La population du sud du golfe du Saint-Laurent, répartie majoritairement dans les estuaires et les eaux côtières du golfe du Saint-Laurent, de la pointe nord de l'île du Cap-Breton, en Nouvelle-Écosse, jusque dans l'estuaire du fleuve Saint-Laurent, au Québec, voire la Côte-Nord et le Labrador (Fig 1; Valiquette *et al.* 2018 ; MPO 2022). Sa principale frayère se situe dans la rivière Miramichi Nord-Ouest, au Nouveau-Brunswick (COSEPAC, 2012 ; MPO, 2022). La population du fleuve du Saint-Laurent, se retrouve principalement dans le tronçon reliant Sorel à Rivière-du-Loup, sur la rive sud, et Tadoussac, sur la rive nord. Elle se reproduit dans les secteurs de Montmagny et de la baie de Beauport, à Québec (Valiquette *et al.*, 2018 ; L'Italien *et al.*, 2020).

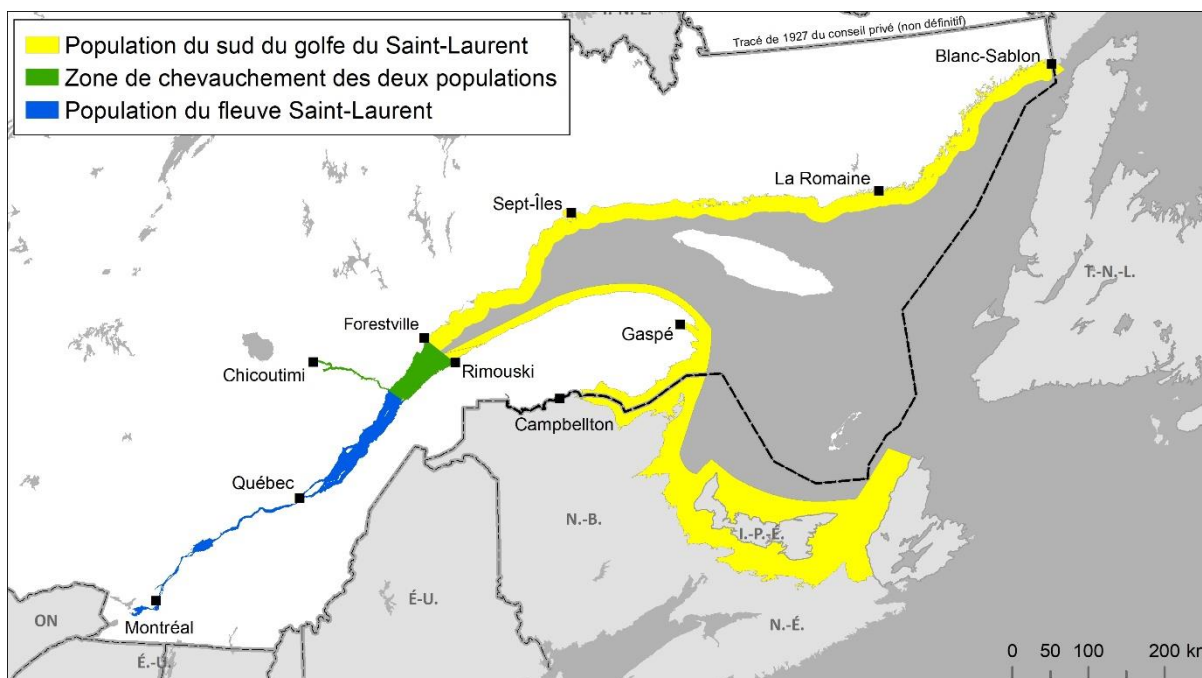


Figure 1 : Aires de répartition principales des populations de bar rayé du fleuve Saint-Laurent et du sud du golfe du Saint-Laurent, au Québec et dans le sud du golfe du Saint-Laurent (MELCCFP, 2023).

Gestion et statuts légaux des populations présentes au Québec

Ces deux populations ne possèdent pas les mêmes statuts légaux. La population du fleuve Saint-Laurent, disparue dans les années 1960s, a fait l'objet d'un programme de réintroduction initié en 2002 par le gouvernement du Québec et dont les derniers ensemencements ont eu lieu en 2018, à partir d'individus provenant de la population du sud du golfe du Saint-Laurent. Depuis 2019, les individus retrouvés dans le fleuve Saint-Laurent ont le statut d'espèce en voie de disparition en vertu de la Loi sur les espèces en péril (LEP) du Canada depuis 2019. Cette désignation interdit toute forme d'exploitation.

Quant à la population du sud du golfe du Saint-Laurent, elle a été évaluée comme étant « préoccupante » par le COSEPAC en 2012 et n'est pas inscrite à l'annexe 1 de la LEP.

La population du sud du golfe du Saint-Laurent

Historiquement, cette population était très prisée par la pêche commerciale, avec un maximum historique de 61 tonnes rapporté en 1917 (Leblanc et Chaput, 1991). Sa forte exploitation, tant par la pêche commerciale que récréative, a drastiquement fait diminuer l'abondance des reproducteurs. L'estimation de leur abondance réalisée dans la rivière Miramichi en 1996 était d'environ 5 000 reproducteurs (Fig. 2 ; MPO, 2023). Pour des raisons de conservation, la pêche commerciale a été fermée en 1996. En 2000, s'en est suivi la fermeture des pêches récréatives ainsi que des pêches alimentaires, sociales et rituelles autochtones. Les allocations de bars rayés à des fins alimentaires, sociales et rituelles ont été rétablies en 2012 et augmentent graduellement depuis (MPO, 2023). C'est en 2013 que la pêche récréative a été permise à la suite de l'atteinte de l'objectif de rétablissement consistant à obtenir une abondance de reproducteurs supérieure à 31 200 adultes pendant 3 années sur 6 années consécutives (MPO, 2018). L'abondance des reproducteurs est estimée chaque année depuis 1994 et en 2022, la médiane de l'abondance estimée était de 471 800 (MPO, 2023).

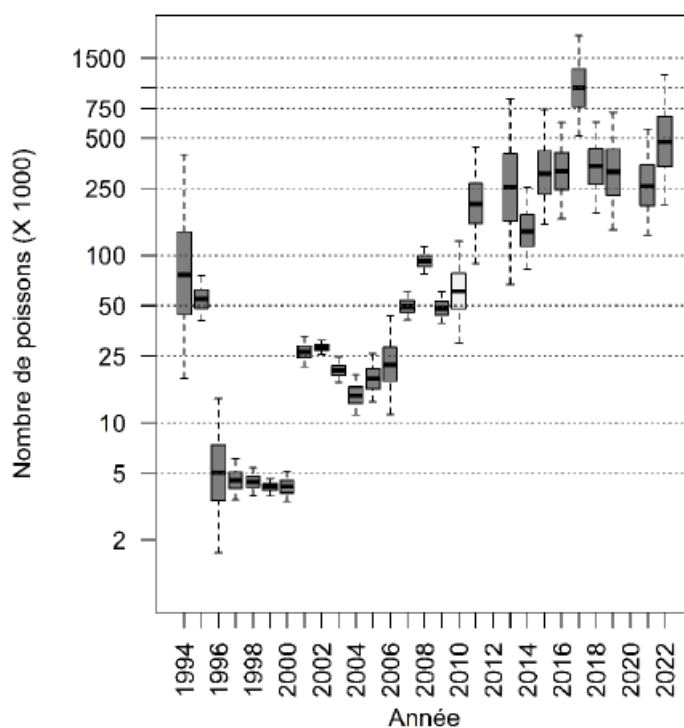


Figure 2 : Estimation de l'abondance de bars rayés reproducteurs adultes dans de la rivière Miramichi Nord-Ouest entre 1994 et 2022. Figure tirée de MPO (2023).

La pêche récréative au bar rayé

La pêche récréative au bar rayé, permise dans les Maritimes et au sud de la péninsule gaspésienne depuis 2013, suscite un fort engouement auprès des pêcheurs du Québec, et même au niveau international. C'est une espèce très prisée des adeptes de pêche récréative de par sa forte combativité (Karas, 2016), mais elle doit également sa popularité à la facilité d'accès des sites de pêche et à l'absence de permis pour la pêche côtière. Réglementée par le gouvernement du Québec dans les eaux québécoises, plusieurs modalités sont à respecter. Par exemple, depuis 2018, la limite de prise quotidienne et de possession mise en place par le ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) est de 3 bars rayés mesurant de 50 à 65 cm, inclusivement.

Cette pêche est marquée par un taux de remise à l'eau extrêmement élevé. Les pêcheurs peuvent pratiquer la remise à l'eau par choix (éthique, conservation, etc.) ou par obligation (capture d'un individu ne correspondant pas à la gamme de taille permise). Selon des enquêtes sur la pêche récréative au bar rayé effectuées en 2014 et 2015 (MELCCFP, données non publiées), le nombre de bars rayés remis à l'eau a été respectivement de 8 456 et 20 797, soit près de 95 % des captures (Fig. 3). Ces données concordent avec celles des captures le long de la côte est des États-Unis, qui affichent un taux de remise à l'eau de 90 % depuis 1990 (ASMFC, 2021). Avec un taux de remise à l'eau aussi élevé, il est estimé que la mortalité occasionnée par la pêche récréative avec remise à l'eau est plus élevée que la récolte (ASMFC, 2021). Une étude menée par Diodati et Richards (1996) a démontré qu'un taux de mortalité de 9 % était associé à la remise à l'eau du bar rayé en eau salée. En appliquant ce taux de mortalité aux données du MELCCFP pour 2014 et 2015, le nombre de bars rayés qui seraient morts à la suite de leur remise à l'eau représenterait environ 60 % de la mortalité totale associée à la pêche récréative (Fig. 3).

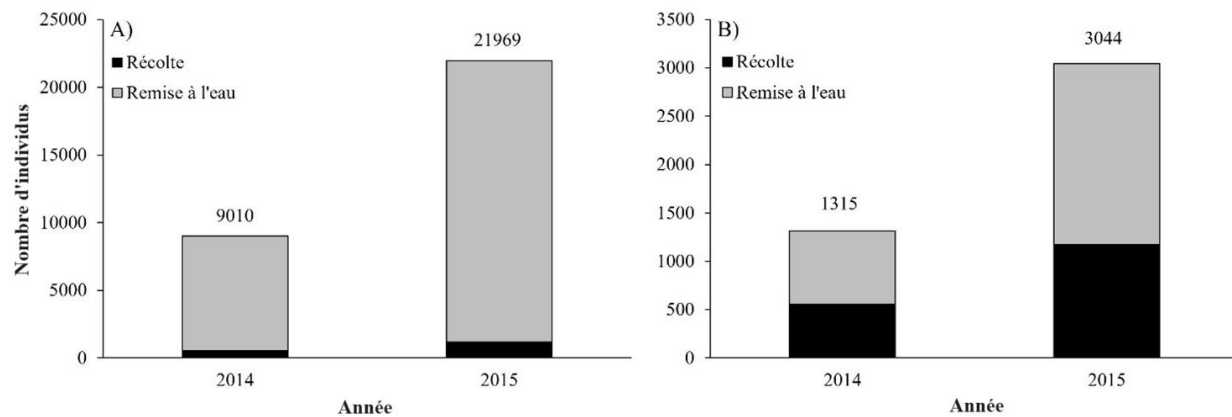


Figure 3 : (A) Nombre de bars rayés récoltés et remis à l'eau dans le cadre de la pêche récréative au bar rayé au sud de la Gaspésie en 2014 et 2015 ; (B) Estimation de la mortalité totale (récolte + 9 % des remises à l'eau) associée à la pêche récréative (MELCCFP, données non publiées.)

OBJECTIF DE L'ÉTUDE

Étant donné le fort taux de remise à l'eau du bar rayé lors de la pêche récréative, il importe d'étudier l'impact de cette pratique sur cette espèce. Dans le cadre de mon projet de maîtrise, je m'intéresse à la détermination du niveau de stress généré chez le bar rayé par la pratique de la pêche récréative avec remise à l'eau ainsi qu'à la détermination de la mortalité à la suite de cette pratique. L'étude s'intègre à un projet plus global qui vise à en apprendre davantage sur la physiologie du bar rayé, mais également à valider des outils transcriptomiques récemment mis au point par le consortium GEN-FISH pour évaluer l'état de stress et de santé des poissons d'eau douce, anadromes et catadromes, tant en milieu naturel qu'en milieu de production. L'objectif principal de ce projet sera d'évaluer les effets directs de la pratique de la pêche récréative avec remise à l'eau sur la santé du bar rayé de la population du sud du golfe du Saint-Laurent permettant ainsi de mieux encadrer cette pratique.

Différents agents potentiels de stress ont été sélectionnés afin d'étudier l'impact engendré chez le bar rayé. Ils correspondent aux différentes informations de pêche récoltées soit directement auprès du pêcheur (expérience, type d'engin utilisé), soit durant l'effort de pêche (durée du combat, temps d'exposition à l'air, lieu d'hameçonnage, saignement). Liées aux différents marqueurs de stress retrouvés chez les téléostéens, ces données vont permettre une amélioration de la compréhension de ces facteurs sur l'individu lors de la pêche récréative et donc de déterminer le

niveau de stress généré par cette activité. Ces informations de pêche seront également couplées aux données de taux de survie afin d'estimer l'impact de cette pratique sur les chances de survie des individus capturés puis relâchés. Les différentes hypothèses suivantes ont été testées :

- ✓ *Hypothèse 1* : Les différents indicateurs de stress et plus particulièrement le cortisol et le glucose plasmatique sont perturbés directement après la capture, à la suite du combat et des manipulations.
- ✓ *Hypothèse 2* : L'expression des gènes de stress et des marqueurs transcriptomiques informant de l'état de santé du poisson sont influencés par la pratique de la pêche récréative avec remise à l'eau.
- ✓ *Hypothèse 3* : La capture et la manipulation du bar rayé lors de la pêche récréative avec remise à l'eau a un faible impact sur la mortalité.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

STRESS GÉNÉRÉ PAR LA PÊCHE AVEC REMISE À L'EAU

Sites d'échantillonnage

L'échantillonnage des bars rayés pour l'évaluation des niveaux de stress générés par la pêche récréative avec remise à l'eau s'est déroulé au courant de l'été 2022, dans la Baie des Chaleurs, en Gaspésie, QC, Canada. Entre le 15 juin et le 17 juillet 2022, un total de 16 pêcheurs.se volontaires ont participé en donnant au minimum une capture tout en imposant un maximum de 2 poissons par pêcheur.se afin d'assurer l'hétérogénéité des données. Vingt-quatre bars rayés ont été pêchés à quatre sites différents le long de la Baie des Chaleurs (Fig. 4) : (1) Carleton-sur-Mer (48.1014497,-66.114087) ; (2) Bonaventure, Banc de l'Est (48.3062198,-65.5717453) ; (3) Sainte-Thérèse-de-Gaspé (48.4177666,-64.3895569) ; (4) Cap-d'Espoir (48.4270801,-64.3275925).

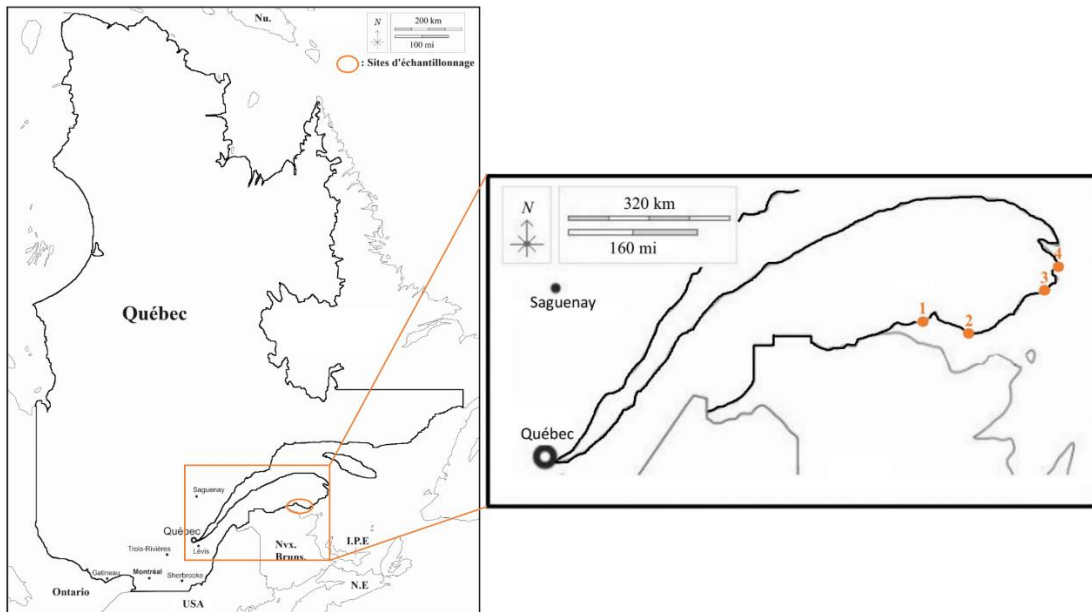


Figure 4 : Localisation des quatre sites d'échantillonnage du bar rayé dans la Baie des Chaleurs en 2022 pour l'étude du stress : (1) Carleton-sur-Mer (2 poissons capturés) ; (2) Bonaventure, Banc de l'Est (16 poissons capturés) ; (3) Sainte-Thérèse-de-Gaspé (4 poissons capturés) ; (4) Cap-d'Espoir (2 poissons capturés).

Récolte des données de pêche et du matériel biologique

Données de pêche

Pour répondre à la problématique de cette étude, différentes données liées aux pêcheurs ainsi qu'à la pêche en elle-même ont été récoltées pour chacun des poissons échantillonnés. Concernant les pêcheurs, leur expérience était évaluée sur un critère à trois niveaux : débutant, intermédiaire ou avancé. En plus de l'expérience, le type de leurre (souple ou rigide, nombre d'hameçons) ainsi que la méthode de pêche (lancer léger, pêche à la mouche) étaient pris en compte. En ce qui concerne la récolte des données liées à la pêche, plusieurs paramètres étaient considérés : la durée du combat (en secondes), la durée d'exposition à l'air (en secondes), le lieu d'hameçonnage et la présence ou non de saignement (Annexe 1). À la fin du combat entre le bar rayé et le pêcheur, ce dernier était invité à décrocher son poisson par lui-même avant de le relâcher (ou le déposer) dans une puise. Le poisson était ensuite transféré à l'aide de la puise à un bac rempli d'eau (20 l).

Matériel biologique

La récupération du matériel biologique sur le poisson implique que celui-ci soit anesthésié pour faciliter la récupération du sang et des données morphologiques (longueur totale maximale et masse). Aussitôt le poisson déposé dans le bac, du MS222 (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) y était ajouté. La dose de MS222 était calculée pour obtenir une concentration de $0,18 \text{ g l}^{-1}$ d'eau. Le bac d'anesthésiant était muni d'un bulleur afin de maintenir une bonne aération.

Une fois le bar rayé anesthésié, la longueur à la fourche ($\text{cm} \pm 1 \text{ mm}$) et la masse ($\text{g} \pm 1 \text{ mg}$) ont été mesurées avant de procéder à la prise de sang. Le sang a été prélevé à l'aide d'une seringue 21 G 1 1/2 préalablement rincée avec de l'héparine d'ammonium (Sigma Aldrich, Saint-Louis, MO, USA) en laboratoire. La ponction a été effectuée en arrière de la nageoire anale, dans la veine caudale et un volume n'excédant pas 1 ml a été prélevé. Le sang prélevé a été déposé dans un tube Eppendorf de 1,5 ml et conservé dans une glacière jusqu'à la centrifugation. Après centrifugation à 6 000 tours / min pendant 5 min, le plasma sanguin a été récolté et réparti en triplicata dans des

Eppendorf de 0,6 ml. Les échantillons de plasma sanguin ont été conservés au congélateur à - 20 °C, jusqu'à leur analyse en laboratoire.

Après avoir récolté le plasma sanguin, le poisson était euthanasié par sectionnement de la colonne vertébrale (CPA-89-22-244). Un morceau de foie d'environ 1 cm³ a été prélevé puis préservé dans un Eppendorf de 1,5 ml contenant 1 ml d'RNALater (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). Des filaments branchiaux ont été prélevés sur le deuxième arc branchial, côté gauche, et placés dans un tube contenant 1 ml d'RNALater. Immédiatement après leur prélèvement, les échantillons de foie et de branchie ont été conservés à température ambiante de 24 à 48 h puis conservés à -20 °C, jusqu'à leur analyse en laboratoire.

Analyse du matériel biologique en laboratoire

Le plasma sanguin a permis d'obtenir la concentration en cortisol (indicateur de la réponse primaire au stress), en chlore et en glucose, ainsi que l'osmolarité (indicateurs de la réponse secondaire au stress). Le foie et les branchies ont permis de quantifier l'expression des gènes liés au stress.

Dosages sur le plasma sanguin

Les échantillons de plasma sanguin ont été décongelés puis gardés sur glace lors des manipulations. Le dosage du cortisol a été réalisé à l'aide d'une trousse de radio-immunologie (¹²⁵I RIA Kit, MP Biomedicals, CA, USA) selon les indications fournies par la compagnie. Le chlore plasmatique a été mesuré à l'aide d'un chloridomètre (Chloride Analyzer 925, Corning, MA, USA) et le glucose a été mesuré par colorimétrie (trousse Quanti Chrom Glucose Assay Kit, BioAssay Systems, CA, USA) selon le protocole fourni par la compagnie. L'osmolarité a été déterminée à l'aide de l'osmomètre Wescor VPO (Vapor Pressure Osmometer, 5520 Vapro, Wescor, Inc., BC, Canada).

Dosage d'expression des gènes dans le foie et les branchies

L'extraction d'ARN a été faite à l'aide du RNeasy Fibrous Tissues Mini Kit (Qiagen, Inc., Mississauga, ON, Canada). Une fois l'ARN extrait, la concentration, la pureté et le ratio 260/280

ont été déterminés par spectrophotométrie (NanoVue Plus, GE Healthcare, Pittsburgh, PA, USA). La qualité de l'ARN a également été vérifiée par migration sur gel d'électrophorèse en utilisant comme colorant le SYBR Safe (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) pour la lecture au Chemidoc (ChemiDoc XRS+ system, Biorad, CA, USA).

Pour les besoins de l'expression génique, l'ARN a été rétro transcrit en ADNc à l'aide de la trousse Quantitect reverse transcription (Qiagen, Inc., Mississauga, ON, Canada). La concentration en ADNc ($\mu\text{g } \mu\text{l}^{-1}$) ainsi que le rapport 260/280 ont été vérifiés et l'ADNc a été conservé à -20°C . L'efficacité de la rétrotranscription (RT) a été testée par une PCR quantitative en Sybergreen (Bio-Rad, Mississauga, ON, Canada) faite à partir d'un mélange d'ADNc non dilué provenant de différents poissons, ainsi que d'une amorce (EF1). Le résultat de l'efficacité a été comparé à une valeur théorique de pente de 3,3 qui reflète une efficacité de 100 %. La valeur de pente obtenue était de 2,998, confirmant la bonne efficacité de la RT.

Des échantillons d'ADNc dilués (concentration entre 100 et 200 $\text{ng } \mu\text{l}^{-1}$) ont été envoyés à l'université de Windsor où l'analyse par puces transcriptomiques (Consortium GEN-FISH) a été réalisée. Cette puce multi-espèce contient des amorces et sondes non spécifiques pour la détection de 3 gènes de référence (*rpl7*; *rps9*; *rpl13a*) et 25 gènes d'intérêt (Tableau 1) dont l'expression a été quantifiée.

Tableau 1 : Gènes d'intérêt présents sur la puce transcriptomique.

Fonction des gènes	Symbole du gène	Nom du gène
Réponse au stress	<i>NR3C1</i> (or <i>gr1</i>)	Récepteur des glucocorticoïdes 1
	<i>NR3C2</i> (or <i>mr</i>)	Récepteur des minéralocorticoïdes
	<i>HSD11B1</i>	11 β -hydroxystéroïde déshydrogénase de type 1
	<i>serpinh1a</i> / <i>serpinh1b</i>	Famille des serpinines H1 (hsp47)
	<i>HSP70a</i> / <i>HSP70b</i>	Protéines de choc thermique 70a / 70b
	<i>HSPA4a</i> / <i>HSPA4b</i>	Heat shock 70 kDa protein 4
	<i>HSPA8</i>	Protéines de choc thermique (hsc70)
	<i>HSP90ba</i> / <i>HSP90bb</i>	Protéine de choc thermique 90
	<i>CIRBPa</i> / <i>CIRBPb</i>	Protéine de liaison de l'ARN inductible au froid
	<i>MMP2</i>	métalloprotéinase matricielle 2
Perturbation endocrinienne	<i>esr1</i>	Récepteur des estrogènes 1
	<i>esr2a</i>	Récepteur des estrogènes 2a
	<i>esr2b</i>	Récepteur des estrogènes 2b
	<i>ar</i>	Récepteur des androgènes
	<i>cyp19a1a</i>	cytochrome P450
Croissance et métabolisme	<i>ghra</i> / <i>ghrb</i>	Récepteur de l'hormone de croissance

	<i>igf1</i>	Facteur de croissance analogue à l'insuline 1
	<i>igf2a/igf2b</i>	Facteur de croissance analogue à l'insuline 2
	<i>cpt1b</i>	Carnitine palmytoltransférase 1B
	<i>CTSD</i>	Cathepsine D
Fonctions immunitaires	<i>CaM/calm</i>	Calmoduline
	<i>MHC-II</i>	Complexe majeur d'histocompatibilité de classe 2
	<i>MHC-I</i>	Complexe majeur d'histocompatibilité de classe 1
	<i>STAT1</i>	Transducteur de signal et activateur de la transcription 1
	<i>TAPBP</i>	Tapasine

Analyses statistiques

Mise en place de la base de données

Les données brutes d'expression génique provenant de l'université de Windsor ont été modifiées et utilisées afin d'évaluer l'efficacité de la PCR pour chaque gène et ainsi exprimer leur concentration initiale (N_0) (Tuomi *et al.*, 2010). L'efficacité de la PCR a été mesurée à l'aide du logiciel LinRegPCR qui utilise les données d'amplification de chaque gène cycle après cycle. Les gènes dont l'efficacité n'a pas été calculée pour faute de non atteinte d'un seuil d'amplification ont été enlevés de la base de données pour la suite de l'analyse. Pour les gènes restants, il a été possible de calculer la concentration initiale par gène (N_0) à l'aide de la formule suivante :

Équation 1 : Détermination de la concentration initiale par gène (N_0)

$$N_0 = Nq/E^{(Cq + C\text{-shift})}$$

Le calcul de N_0 comprend le seuil de quantification de détection (Nq), la valeur d'efficacité de la PCR (E), le nombre de cycles (Cq) et un facteur de correction entre l'efficacité des gènes cibles et des gènes de référence ($C\text{-shift}$). Avant d'être utilisées, les valeurs d'expression des gènes d'intérêt doivent être exprimées en fonction de l'expression des gènes de référence présents sur la puce. Seuls les gènes de référence ne variant pas en fonction des traitements peuvent être utilisés. Le choix du ou des gènes de référence auxquels les gènes cible ont été comparés a donc été effectué après vérification de l'absence d'effet de traitement pour le foie, les gènes *RPL7*, *RPS9* et *RPL13A* ont été retenus comme gènes de référence et les gènes *RPL7*, *RPS9* et *RPL13A* ont été retenus pour les branchies. Une fois les gènes de référence identifiés pour chacun des deux tissus, la moyenne géométrique est calculée afin de créer un seul gène de référence virtuel. La différence d'expression entre les gènes d'intérêt et les gènes de référence (ΔCt) a été calculée de la manière suivante (Tuomi *et al.*, 2010) :

Équation 2 : Détermination du ΔCt

$$\Delta Ct = N_0 \text{ GenCible} / N_0 \text{ GenRef}$$

Pour plusieurs gènes cibles, l'utilisation de cette puce n'a pu déceler la présence d'expression quantifiable, les gènes *F_HSD11B1* ; *F_HSPA8* ; *F_IDF2* ; *F_NR3C1* ; *F_NR3C2* ; *B_esr2b* ; *B_HSD11B1* ; *B_HSPA8* ; *B_igf1* ; *B_igf2* ; *B_NR3C1* ; *B_NR3C2* ont donc été retirés de l'analyse. Les analyses ont donc été réalisées seulement pour les gènes suivants : *F_CTSD* ; *F_ESR2B* ; *F_HSP70* ; *F_igf1* ; *B_CTSD* ; *B_HSP70*, F indiquant une mesure dans le foie et B une mesure dans les branchies.

Impact des paramètres de pêche

Les variables explicatives et les variables dépendantes considérées dans le cadre de cette étude sont indiquées au tableau 2 et les valeurs relatives aux variables explicatives sont présentes en annexe 2.

Tableau 2 : Liste des variables dépendantes et explicatives de cette étude.

Variables dépendantes
Chlore (mmol l ⁻¹)
Osmolarité (mOsm kg ⁻¹)
Glucose (mg dl ⁻¹)
Cortisol (μg dl ⁻¹)
F_CTSD
F_esr2b
F_HSP70
F_IGF1
B_CTSD
B_HSP70

Variables explicatives
Expérience des pêcheurs (débutants, intermédiaires, avancés)
Type de leurre (souple, rigide ou mouche)
Température de l'eau (°C)
Durée du combat (s)
Saignement (oui ou non)
Durée d'exposition à l'air (s)
Taille (cm)
Masse (mg)

Avant d'effectuer les analyses, la normalité (Kolmogorov-Smirnov) et l'homogénéité des variances (Levene) ont été vérifiées pour chacune des variables dépendantes. Selon leur distribution, une ANOVA à 1 facteur ou des analyses de Kruskal-Wallis ont été effectuées (Annexe 3). Lorsque requis, un test *a posteriori* de Tukey a été appliqué pour les ANOVAs ($\alpha = 0,05$). La température et la masse ont été considérées comme covariables.

Importance des paramètres de pêche

Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée en incluant l'ensemble des variables explicatives et dépendantes. À la suite de cette analyse, les variables dépendantes dont la variance n'était pas expliquée (très faible projection) ont été retirées et une deuxième ACP a été réalisée. Cette nouvelle ACP apporte un support visuel à l'importance des variables explicatives sur les variables dépendantes. Des tests de corrélations à l'aide de la fonction *cor.test* (test de corrélation de rang de Spearman), ont été effectués lorsque la variable explicative était continue. Les analyses effectuées ont été réalisées à l'aide du logiciel Statistica de Tibco (Californie, Etats-Unis) et du logiciel R studio (R Core team 2021).

TAUX DE MORTALITÉ LIÉ À LA REMISE À L'EAU

Site d'échantillonnage

L'évaluation du taux de mortalité à la suite de la remise à l'eau s'est déroulée entre le 26 juin et le 14 juillet 2023 et a également été réalisée à Bonaventure, dans la Baie-des-Chaleurs. Trois sites de pêche connus des pêcheurs à gué ont été ciblés pour l'échantillonnage : (1) Banc de l'Est (côté estuaire de la rivière Bonaventure et côté mer ; 48.0357934,-65.4800743), (2) la plage Évangéline (48.0183708,-65.4705798) et (3) la plage Fauvel (48.0055414,-65.4246466) (Fig. 5). Cette fois encore, des pêcheurs bénévoles ont été sollicités pour participer à l'étude. Un total de 27 pêcheurs.euses ont participé à cette étude.

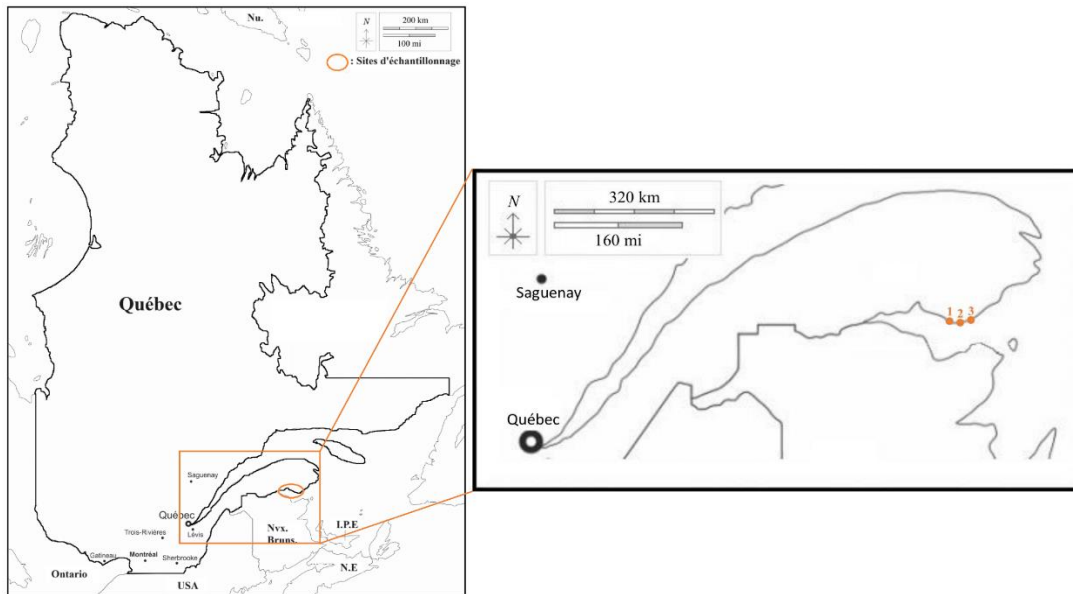


Figure 5 : Localisation des sites d'échantillonnage du bar rayé à Bonaventure dans la Baie des Chaleurs en 2023 pour l'étude de la mortalité : (1) Banc de l'Est; (2) Plage Évangéline; (3) Plage de Fauvel.

Rétention et suivi de la mortalité

Une fois l'hameçon enlevé par le pêcheur, des transpondeurs passifs (PIT-tag ; 12,5 mm, APT12, Biomark, Boise, Idaho) à numéro séquentiel unique ont été insérés dans la chair, sur le dos, du côté gauche vis-à-vis de la nageoire dorsale, permettant d'attribuer à chaque poisson toutes les données récoltées. Les poissons ont ensuite été gardés dans un vivier temporaire, installé près du bord de plage (dimension minimale de 1 x 1 x 1,1 m) pour une durée de 2 h et un maximum de 3 poissons par vivier. Lorsqu'un nombre maximal d'individus était atteint, les bars rayés étaient transférés définitivement dans des cages de rétention par bateau ou à l'aide d'une camionnette lorsque le site de capture n'était pas accessible en bateau. La durée du trajet entre le site de capture et le site de rétention n'excédait pas 30 min et les poissons étaient transportés dans des viviers de 1 m³ avec un maximum de 6 poissons par transport. L'ensemble des captures d'une même journée était placé dans une même cage de rétention sans excéder 25 bars rayés par cage et les bars rayés y étaient gardés en rétention pendant 72 h. Un décompte des mortalités était effectué à chaque 12 h.

Les cages de rétention circulaires d'un volume variant en fonction de la marée, avec une hauteur oscillant entre trois et cinq mètres et un diamètre fixe de deux mètres ont été installées à la marina de Bonaventure. Un total de 5 cages ont été installées afin de continuer à pêcher jour après jour tout en respectant la durée de rétention maximale de 72 h (Lukacovic et Uphoff, 2007), ou d'augmenter la capacité de rétention journalière lorsque des pêches contrôles étaient effectuées.

Les contrôles ont permis de prendre en compte l'effet potentiel des cages sur la survie en supprimant l'impact de la pêche récréative. Les pêches contrôles ont été réalisées à l'aide de filets maillants (1,8 m x 30,5 m, filet en monofilaments avec des mailles de 7,6 cm) déployés le long des côtes. Les filets étaient déployés pendant 20 min avant de vérifier la présence ou non de bars rayés. Compte-tenu de la fréquence de vérification des filets, cette méthode de capture était considérée moins stressante qu'un combat avec un pêcheur. Le lieu d'accroche du filet ainsi que l'état de santé général des bars rayés capturés étaient vérifiés afin de sélectionner uniquement les poissons peu endommagés et avec des grandes chances de survie. Au total, 10 poissons contrôles pêchés le même jour étaient placés dans chacune des cages. En plus de tester l'effet de la cage, les contrôles avaient pour objectif de tester l'impact de l'insertion du PIT-tag. Sur les 10 poissons contrôles placés dans chacune des cages, 5 n'ont pas reçu de PIT-tag. Au total, 50 bars rayés contrôles ont été capturés et 25 ont reçus un PIT-tag.

Au cours des 72 h de rétention, si une mortalité devait survenir, les informations concernant la date et l'heure estimée de mortalité, la taille (longueur à la fourche et longueur totale maximale), la masse, le contenu stomacal et le sexe du poisson devaient être prises en note et les otolithes et quelques écailles étaient prélevés. Après 72 h de rétention, tous les spécimens vivants ont été examinés, mesurés (longueur à la fourche et longueur totale maximale) et remis à l'eau.

Ensemble des données récoltées

Afin d'évaluer la proportion des bars rayés ne survivant pas après la remise à l'eau, un ensemble de données liées aux pêcheurs et à la pêche ont été récoltées. En plus des données de pêche recueillies lors de l'étude du stress généré par la pêche avec remise à l'eau, les informations suivantes ont été récoltées : caractéristiques du ou des crochets des leurres (taille allant de 8 à 25 mm, nombre de crochets par ligne, présence d'ardillon ou non), lieu d'hameçonnage (peu

dommageable ou dommageable), retrait de l'hameçon (facile, intermédiaire, difficile ou impossible). Des données temporelles telles que l'heure de mise en vivier, l'heure de transport et l'heure de mise en cage de rétention ont été récoltées afin de les coupler aux données de température et de salinité de l'eau enregistrées à l'aide de thermographes et d'un CTD (conductivité, température, profondeur) positionnés près des cages de rétention. Ensemble, ces données ont permis de décrire les conditions de rétention et de captivité tout au long du projet.

Analyses statistiques

N'ayant observé aucune mortalité, l'hypothèse de départ selon laquelle la survie post-capture n'est pas affectée par la capture et la manipulation du bar rayé lors de la pêche récréative avec remise à l'eau a été confirmée. L'effet de certaines données de pêche a été évalué sur la durée du combat et de l'exposition à l'air ainsi que sur la profondeur d'hameçonnage.

Afin d'observer l'impact de l'expérience du pêcheur et du type de leurre sur la durée du combat, la normalité (Kolmogorov-Smirnov) et l'homogénéité des variances (Levene) des données relatives à la durée du combat ont été testées. Les données n'étant pas distribuées de façon normale, une analyse non paramétrique de Kruskal-Wallis a été réalisée suivie d'un test a posteriori de Dunn ($\alpha = 0,05$). Afin de déterminer la prédominance des variables explicatives (expérience du pêcheur et type de leurre) dans les variations de la durée du combat, une comparaison de trois modèles basés sur une régression quantile pour le 95^e percentile a été appliquée. Parmi ces modèles, un a pris en compte l'expérience des pêcheurs, un autre le type de leurre utilisé, et le dernier était un modèle nul. La sélection du meilleur modèle s'est faite à l'aide de la fonction *model.test* comprise dans la librairie *MuMIn*. Le modèle avec le plus grand support statistique a été sélectionné pour définir la déviance expliquée.

Afin d'observer l'impact de la longueur du poisson sur la profondeur d'hameçonnage, un modèle binomial basé sur une régression logistique a été utilisé (fonction *glm*). Ce modèle a été comparé à un modèle nul dont la variable explicative (taille du poisson) n'a aucun effet sur la variable dépendante (profondeur d'hameçonnage). La déviance expliquée du modèle dont le support statistique est le plus élevé a ensuite été calculée. Finalement, la probabilité d'hameçonnage profond a été calculé directement à l'aide des données de terrain. L'ensemble des analyses a été effectué à l'aide du logiciel R studio (R Core Team 2021).

RÉSULTATS

LES NIVEAUX DE STRESS

Impact des paramètres de pêche sur les niveaux de stress

L'expérience du pêcheur, le type de leurre utilisé, la durée du combat ou la durée d'exposition à l'air n'ont pas eu d'effets significatifs sur les variables physiologiques ou d'expressions géniques mesurées (Tableau 3). De même, les covariables température et masse n'ont eu aucun effet significatif sur la variation des réponses mesurées ($p > 0,05$). La présence de saignement post-capture n'a eu un effet significatif que sur la concentration de glucose plasmatique (Fig. 6).

Importance des paramètres de pêche

Malgré l'absence d'effet significatif sur les variables individuelles des paramètres de pêche, l'ACP, en y ajoutant la longueur à la fourche et la masse comme variables morphologiques explicatives, permet d'observer certaines tendances. Cependant, étant donné la forte corrélation entre ces deux variables ($r = 0,915$, Annexe 4), la longueur à la fourche a été retirée de l'analyse. De plus, du fait de leur très faible projection (absence d'explication des variances), les variables dépendantes *F_HSP70*, *F_igf1* et *F_esr2b* ont été retirées de l'analyse (Fig. 7).

Tableau 3 : Moyenne \pm écart type pour les différentes variables physiologiques et transcriptomiques mesurées ainsi que les résultats des tests univariés de Kruskal-Wallis (valeurs de p) et de l'ANOVA à 1 facteur (valeur de F, degrés de liberté, valeur de p).

(n = 24)	Moyenne \pm é. t.	Expérience	Leurre	Saignement	Durée du combat	Durée d'exposition à l'air
Chlore (mmolCl l⁻¹)	139 \pm 9	F ₂ = 0,268 p = 0,767	F ₃ = 1,751 p = 0,191	F ₁ = 0,178 p = 0,677	p = 0,559	p = 0,631
Osmolarité (mOsm kg⁻¹)	333 \pm 21	F ₂ = 0,482 p = 0,624	F ₃ = 0,107 p = 0,955	F ₁ = 1,247 p = 0,276	p = 0,347	p = 0,538
Glucose (mg dl⁻¹)	44 \pm 18	F ₂ = 0,027 p = 0,973	F ₃ = 0,04 p = 0,989	F ₁ = 8,64 p = 0,008	p = 0,354	p = 0,593
Cortisol (μg dl⁻¹)	1,8 \pm 3,9	p = 0,885	p = 0,249	p = 0,865	p = 0,375	p = 0,321
F_CTSD	0,06 \pm 0,10	p = 0,885	p = 0,407	p = 0,876	p = 0,393	p = 0,336
F_esr2b	0,06 \pm 0,10	p = 0,843	p = 0,083	p = 0,587	p = 0,390	p = 0,357
F_HSP70	8 \pm 18	p = 0,800	p = 0,239	p = 0,698	p = 0,644	p = 0,323
F_IG1F	0,21 \pm 0,20	p = 0,821	p = 0,060	p = 0,698	p = 0,400	p = 0,332
B_CTSD	0,05 \pm 0,10	p = 0,421	p = 0,432	p = 1,000	p = 1,000	p = 0,302
B_HSP70	12 \pm 29	p = 0,863	p = 0,311	p = 1,000	p = 1,000	p = 0,304

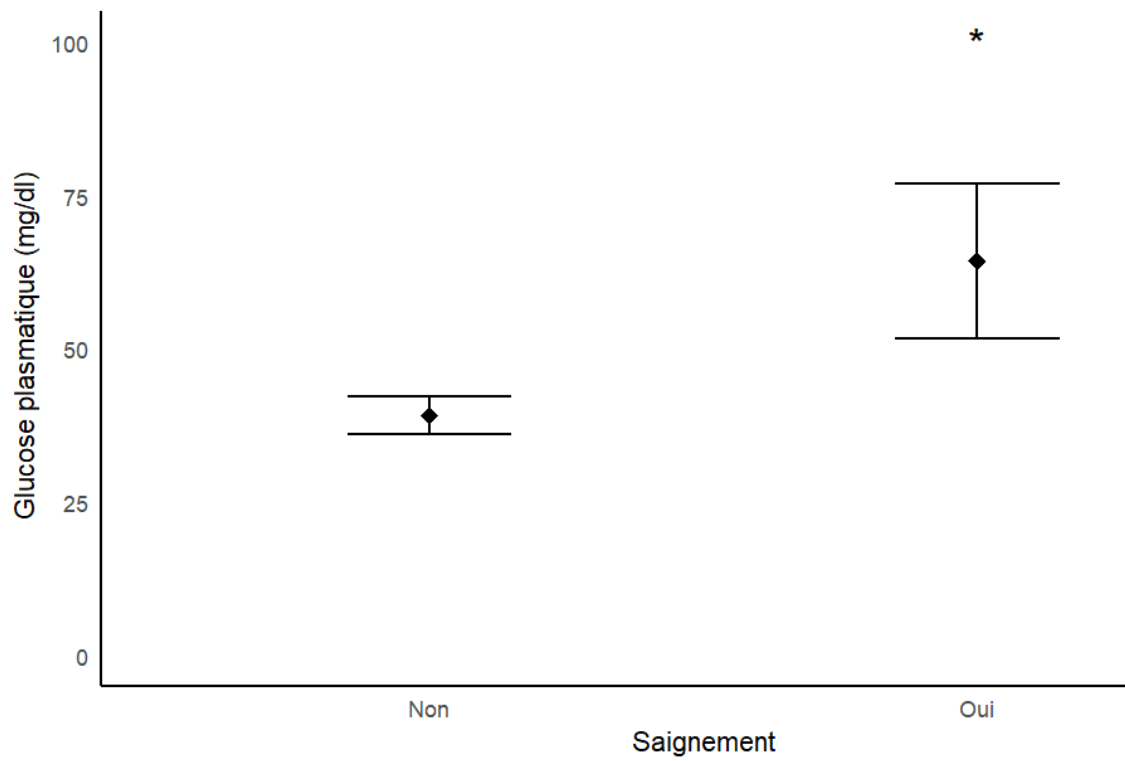


Figure 6 : Variations du glucose plasmatique en fonction de la présence de saignement ou non chez le bar rayé à la suite du décrochage. N = 24 ; Moyenne \pm écart type ; * p < 0,05.

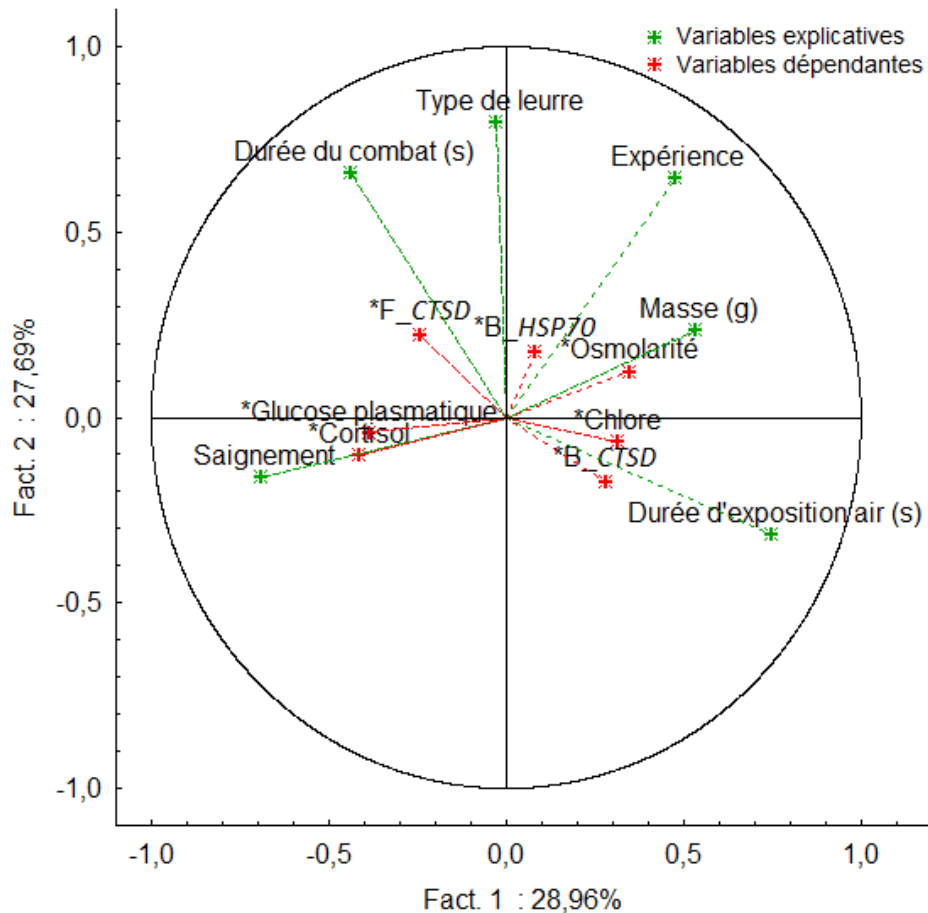


Figure 7: Analyse en composantes principales comprenant les variables explicatives et dépendantes conservées pour l'analyse.

Le premier axe de la composante est principalement associé à des caractéristiques biologiques, soit la masse et le saignement (Annexe 5 ; Fig.7). Le second est majoritairement associé au type de leurre, à la durée du combat et à l'expérience du pêcheur (Annexe 5 ; Fig.7).

Cette ACP a fait ressortir plusieurs tendances. Elle a montré que les concentrations plasmatiques de cortisol et de glucose étaient principalement expliquées par la variable « saignement ». Le chlore plasmatique et l'expression du gène B_CTSD sont associés à la variable « Durée d'exposition », l'osmolarité plasmatique à la variable « masse » et l'expression du gène B_HSP70 aux variables « Expérience » et « Type de leurre ». Finalement, l'expression du gène

F_CTSD était principalement associée à la variable « Durée du combat ». Cependant, aucun des tests de corrélation réalisés n'était significatif (Tableau 4).

Tableau 4 : Résultats des tests de corrélation entre les variables continues explicatives et les variables dépendantes.

	Chlore ~ Durée exposition	B_CTSD ~ Durée exposition	Osmolarité ~ Masse	F_CTSD ~ Durée_combat
Valeur de p	0,32	0,41	0,23	0,64
Coefficient de corrélation (ρ)	0,21	-0,03	0,26	0,10

SUIVI DE LA MORTALITÉ

Sur les 192 poissons capturés à la ligne par 27 pêcheurs différents, aucune mortalité n'a été observée après 72 h de rétention. Les conditions environnementales telles que mesurées dans les cages de rétention sont présentées au tableau 5. Afin de tester l'impact potentiel des cages de rétention sur la survie des poissons, un total de 50 bars contrôles ont été capturés au filet maillant et une seule mortalité a été observée. Sur ces 50, 25 ont reçu une étiquette de type PIT-tag et aucune mortalité liée à cette opération n'a été observée.

Tableau 5 : Conditions environnementales et donnée de rétention.

	Minimum	Moyenne ± é.t.	Maximum
Température (C°)	13,3	18,8 ± 0,7	23,9
Salinité (‰)	3,7	20,8 ± 2,9	39,4
Durée de rétention par poisson (hhmm)	6840	7511 ± 0348	8356
Volume d'eau par poisson (m³)	1	3 ± 0,65	4

Sur les 27 pêcheurs bénévoles qui ont capturé ces poissons, 12 étaient des pêcheurs expérimentés, 10 ont été qualifiés d'expérience « intermédiaire » et 5 étaient des pêcheurs débutants. Des leurres souples étaient principalement utilisés, et en moins grande proportion des leurres rigides et des mouches (Tableau 6).

L'expérience des pêcheurs a eu un impact significatif sur la durée du combat ($p < 0,001$, $\chi^2 = 36,94$; Tableau 7). Étonnamment, la durée de combat était similaire entre pêcheurs débutants et expérimentés, alors que la durée la plus faible était associée aux pêcheurs d'expérience intermédiaire. La durée du combat a également été influencée par le type de leurre utilisé par le pêcheur ($p < 0,001$, $\chi^2 = 59,71$; Tableau 7). L'utilisation de la régression quantile pour le 95^e percentile a montré que le meilleur modèle était celui prenant en compte seulement la variable type de leurre, affichant un support statistique de 100 % (weight = 1). Ce modèle expliquait approximativement 76,2 % des données pour le 95^e percentile. L'expérience des pêcheurs n'a eu aucun impact significatif sur la durée d'exposition à l'air ($p = 0,43$).

Tableau 6 : Nombre de bars rayés capturés en fonction du type de leurre et de l'expérience des pêcheurs.

	Type de leurres			Expérience des pêcheurs								
	Souples	Rigides	Mouches	Débutants			Intermédiaires			Avancés		
	(S)	(R)	(M)	S	R	M	S	R	M	S	R	M
				11			60			121		
				(6 %)			(31 %)			(63 %)		
Nombre de poissons pêchés	91	49	52									
	(47 %)	(26 %)	(27 %)	S	R	M	S	R	M	S	R	M
				4	0	7	53	6	1	34	43	44
			(36 %)	(0 %)	(64 %)	(88 %)	(10 %)	(2 %)	(28 %)	(36 %)	(36 %)	

Tableau 7 : Temps de combat moyen en fonction de l'expérience et du type de leurre utilisé par les pêcheurs (Moyenne \pm ét.). Pour l'expérience des pêcheurs, les catégories possédant des lettres (a ou b) différentes ont un temps de combat moyen significativement différent. Même principe pour le type de leurre.

	Expérience des pêcheurs			Type de leurres		
	Débutants	Intermédiaires	Avancés	Souples	Rigides	Mouches
Temps de combat moyen (s)	65,4 \pm 25,9 a	34,5 \pm 13,1 b	68,6 \pm 51,3 A	37,9 \pm 19,1 a	54,7 \pm 29,0 b	95,5 \pm 61,7 c

La majeure partie des hameçonnages étaient superficiels (maxillaires, mandibules ; 155/192 soit 81 %) et seulement une faible proportion de bars ont été hameçonnés plus profondément (branchies, gorge ; 37/192 soit 19 %). De plus, une majorité (67 %) des bars rayés capturés avaient une taille inférieure à la moyenne (424 mm), avec des longueurs totales maximales comprises entre 323 mm et 745 mm (Fig. 8).

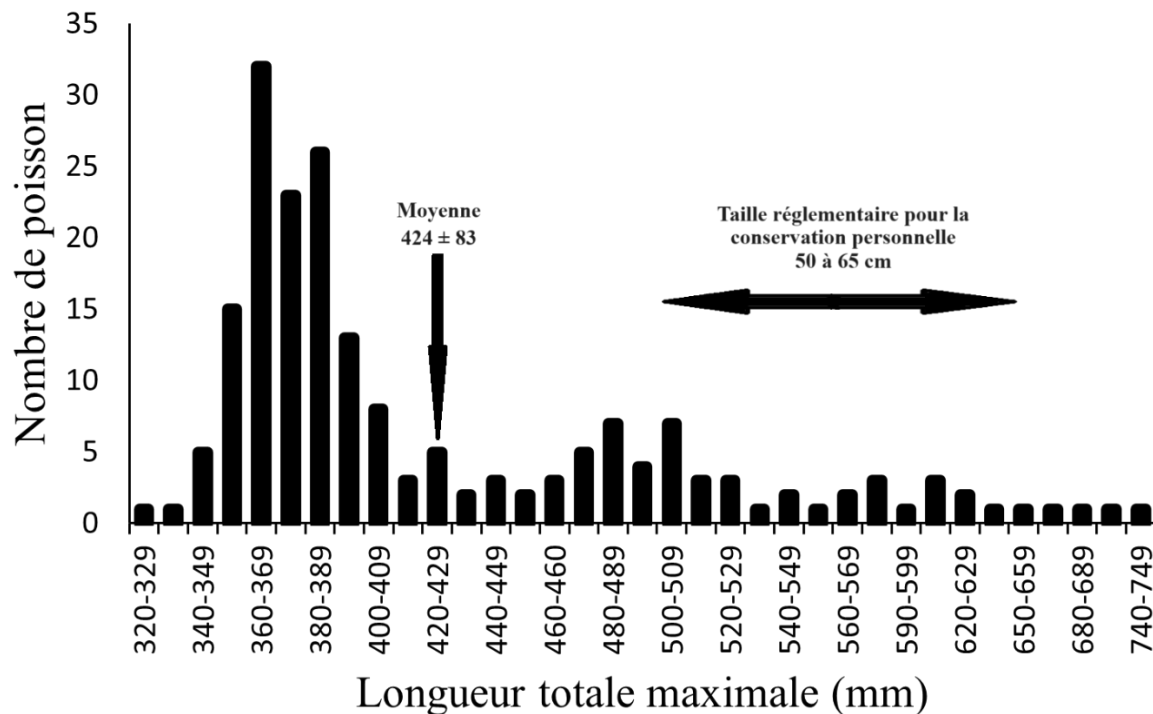


Figure 8 : Nombre de bars rayés par intervalles de taille de 10 mm (n = 192). La longueur totale maximale a été prise en compte.

La taille des poissons a été mise en relation avec la profondeur d’hameçonnage. Les poissons dont l’hameçonnage était superficiel avaient une taille moyenne de 426 ± 87 mm et ceux dont l’hameçonnage était profond avaient une taille moyenne de 415 ± 64 mm. Pour observer l’impact de la longueur du poisson sur la profondeur d’hameçonnage, le modèle prenant en compte la longueur du poisson a été comparé à un modèle nul (Tableau 8).

Tableau 8 : Modèle linéaire généralisé binomial de la profondeur d’hameçonnage en fonction de la longueur totale maximale (LTM) et d’un modèle nul. Les valeurs de support statistique ont été utilisées afin de sélectionner le modèle le plus adéquat.

Modèle	AICc	Delta	Support statistique
PROF ~ LTM	191,7	1,49	0,322
PROF ~ 1	190,2	0,00	0,678

Respectivement, les modèles ont affiché un support statistique de 32,2 % et 67,8 %. Le modèle nul a affiché un support statistique plus fort. La probabilité d’hameçonnage profond en fonction de la taille des poissons n’a donc pas été prédite étant donné que le modèle nul représente l’absence de relation entre la profondeur d’hameçonnage et la taille des poissons. Cette probabilité peut tout de même être calculée en utilisant les données observées : $37/192 = 0,1927083 * 100 = 19,3$ %.

DISCUSSION

Le principal objectif de cette étude était de déterminer l'impact de la pêche récréative avec remise à l'eau sur l'état de santé général du bar rayé en étudiant la réponse au stress aux niveaux physiologiques et transcriptomiques ainsi que la survie. Cette étude a également servi de validation pour le développement d'une puce transcriptomique multi-espèces développée par le consortium GEN-FISH.

Globalement, cette étude a démontré que sous l'étendue des paramètres de pêche évalués, le bar rayé était particulièrement résistant au stress causé par la capture. Seule la présence de saignement lors du retrait de l'hameçon a provoqué l'apparition de légères variations significatives du glucose plasmatique, un indicateur secondaire du stress. Les résultats d'expression de gènes obtenus à l'aide de la puce transcriptomique ont montré qu'il semblait y avoir une forte diversité génétique entre les espèces de l'ordre des Perciformes. Finalement, aucune mortalité n'a été observée sous les conditions de cette étude.

ÉVALUATION DE LA RÉPONSE PHYSIOLOGIQUE AU STRESS

Dans un premier temps, nous avons mesuré les paramètres de stress à la suite de la capture de bars rayés en prélevant du plasma sanguin ainsi que des tissus tels que le foie et les branchies pour analyser les indicateurs de stress. Une de nos hypothèses était que les différents indicateurs de stress allaient être perturbés directement après la capture, et cela en fonction de différents paramètres de pêche (durée du combat, expérience du pêcheur, etc). Nos résultats ont cependant infirmé cette hypothèse, mais confirment les résultats de Tomasso *et al.*, (1996) qui n'observaient aucune augmentation de la concentration en cortisol chez des bars rayés capturés en eau douce lorsque la durée du combat était inférieure à 2,5 min et que la température n'excédait pas 19 °C, ce qui est le cas pour la majorité des poissons capturés dans notre étude. En effet, seulement quatre poissons ont été capturés dans des eaux dont la température était supérieure à 19 °C et la durée du combat était en moyenne de 52,8 s.

Dans notre étude, la plupart des mesures de cortisol plasmatique étaient inférieures à 7 µg dl⁻¹, valeur rapportée comme étant une valeur au repos chez le bar rayé. En effet, dans leur

étude, Tisa *et al.* (1983) ont montré que chez des bars rayés sauvages capturés en eau douce entre 17 et 30 °C, les valeurs de cortisol au repos étaient comprises entre 0 et 12,5 µg dl⁻¹. Pour des bars rayés d'aquaculture, Davis et Parker (1990) ont montré que les concentrations en cortisol au repos variaient entre 0,5 et 14 µg dl⁻¹ en fonction de la température. On peut donc conclure que les valeurs que nous avons mesurées sont restées près des niveaux que l'on peut observer au repos et que le stress subi par les animaux était relativement faible. Cependant, quatre individus avaient une concentration supérieure aux valeurs de repos, ce qui représente tout de même 17 % des captures analysées. Aucune condition particulière n'a pu être reliée à ces niveaux plus élevés.

Au niveau des paramètres de réponses secondaires au stress, on a également noté une absence de réponse sauf pour le glucose. En effet, une augmentation significative de glucose a été observée chez les bars présentant un saignement post-capture. Toutefois, ces valeurs maximales (jusqu'à 104 mg dl⁻¹) correspondent à des concentrations relativement faibles pour le bar rayé. De fait, au repos, chez des bars rayés sauvages, des concentrations entre 44 et 181 mg dl⁻¹ ont été observées (Tisa *et al.*, 1983) et des concentrations similaires ont également été observées chez des bars rayés d'aquaculture (Davis et Parker, 1990). En comparaison, des réponses à des stress de manipulation ou de température élevée ont induit des concentrations en glucose plasmatique supérieures à 300 mg dl⁻¹ (Davis et Parker, 1990). On peut alors se demander si les valeurs de glucose plasmatique plus élevées chez les bars avec saignement seraient le résultat d'une perturbation osmo-ionique. Les valeurs d'osmolarité et d'ions plasmatiques mesurées indiquent que ce n'est pas le cas.

ÉVALUATION DE LA RÉPONSE TRANSCRIPTOMIQUE AU STRESS

Parmi les quatre gènes correctement exprimés sur la puce transcriptomique pour nos échantillons de foie (*ctsd*, *esr2b*, *hsp70* et *igf1*) et les deux dans les branchies (*ctsd* et *hsp70*), l'expression relative de seulement trois (Branchies : *hsp70* et *ctsd* ; Foie : *ctsd*) semblait être expliquée par des paramètres liés à la capture à la suite des analyses en composantes principales, mais aucune corrélation significative n'a pu être démontrée. Les gènes codant pour les protéines HSP70 sont exprimés en présence de stress, ce qui pourrait indiquer un stress potentiel à la suite de leur capture, même si d'autres indicateurs n'ont pu en faire la démonstration.

DePasquale *et al.* (2023) ont également observé une hausse de l'expression des HSP70 branchiales chez le touladi (*Salvelinus namaycush*) à la suite d'un stress de capture. En revanche, il est quand même surprenant de ne pas avoir vu de réponse similaire au niveau du foie. En effet, des études portant sur d'autres facteurs de stress ont montré l'expression de gènes codant pour les protéines HSP tant au niveau du foie que des branchies chez différentes espèces. Geist *et al.* (2007) ont montré cela chez les bars rayés soumis à un stress lié à une exposition prolongée à des toxines et Khansari *et al.* (2018) l'ont montré chez les truites arc-en-ciel (*Oncorhynchus mykiss*) exposées à l'air. Le gène codant pour la cathepsine D a également été exprimé dans le foie et les branchies, résultant probablement d'une augmentation de la capacité métabolique dans ces deux organes. L'expression de ce gène en période de stress a déjà été démontrée chez les poissons. Ainsi, Wiseman *et al.* (2007) ont observé une augmentation de l'expression de la cathepsine D dans le foie de truites arc-en-ciel à la suite de manipulations épuisantes et stressantes pour le poisson. Les gènes codants pour les récepteurs aux estrogènes et pour le facteur de croissance de type insulinique (IGF1) ont été exprimés seulement dans le foie, ce qui n'est sans doute pas relié à notre étude. Il faut rappeler que même si nous avons détecté une expression de ces gènes, celle-ci n'est pas corrélée aux différentes variables mesurées au cours de notre expérience. Notre étude s'étant déroulée durant la période d'alimentation des bars rayés, il n'est pas étonnant d'observer l'expression du gène pour IGF1. Quant aux récepteurs aux estrogènes, ils sont normalement activés en lien avec le développement gonadique et la reproduction.

VALIDATION DE LA PUCE

Dans notre étude, aucune efficacité n'a pu être calculée pour 14 gènes présents sur la puce et, lorsque celle-ci pouvait l'être, des valeurs relativement faibles étaient observées. L'ordre des Perciformes, dont le bar rayé fait partie (Helfman *et al.*, 1997), est un ordre très diversifié regroupant plus de 10 000 espèces dans 160 familles (revu par Nelson *et al.*, 2016). La faible proportion de gènes correctement exprimés (6/25) dans le foie et les branchies de bars rayés pourrait s'expliquer par une forte diversité génétique au sein de l'ordre des perciformes, en rappelant que la puce souhaite prendre en compte un total de 44 espèce phylogénétiquement éloignées.

Parmi ces six gènes, on retrouvait le gène codant pour les HSP70, dans le foie et les branchies, le gène codant pour les récepteurs à estrogène dans le foie, le gène codant pour l'hormone de croissance IGF1 seulement retrouvé dans le foie et le gène codant pour la cathepsine D, une enzyme lysosomale, dont l'expression a été retrouvée dans le foie et les branchies. L'expression de ces gènes était cependant faible, mis à part pour les HSP70, dont l'expression pour le gène codant pour ces protéines était la plus forte. Les trois gènes de référence (*rpl7* ; *rps9* ; *rpl13a*) présents sur la puce ont été exprimés de façon importante, cela venant confirmer leur statut de gène de référence et la pertinence de leur utilisation sur cette puce.

MORTALITÉ

Influence des caractéristiques de pêche

Les résultats obtenus confirment l'hypothèse qu'à la suite de la capture et de la remise à l'eau, selon les caractéristiques de pêches évaluées dans cette étude, la survie n'a pas été affectée. En effet, sur les 192 poissons capturés à la ligne, aucune mortalité n'a été observée contrairement aux résultats obtenus dans de nombreuses autres études menées sur cette espèce. Ces dernières ont en effet montré des mortalités pouvant varier de 3 (Diodati et Richard, 1996) à 94,1 % (Hysmith *et al.*, 1994). Dans notre étude, la majorité des bars rayés ont été capturés par des pêcheurs expérimentés (63 %) ou intermédiaires (31 %) et seulement 6 % par des pêcheurs débutants. Ce niveau d'expérience de pêche pourrait expliquer l'absence de mortalité observée. En effet, Diodati et Richards (1996) ont montré que la mortalité était plus faible lorsque les pêcheurs étaient expérimentés. Cela pourrait s'expliquer par une manipulation plus soignée, une plus grande connaissance et un meilleur respect des bonnes pratiques de pêche, consistant à réduire l'impact de la capture sur le poisson. La diminution du temps de combat ainsi que l'exposition à l'air en sont de bons exemples. Si, dans notre étude, le temps d'exposition à l'air n'a pas été influencé par l'expérience du pêcheur, le temps de combat était lui significativement affecté par l'expérience du pêcheur et le type de leurre utilisé. Nos résultats indiquent qu'il s'agit essentiellement du type de leurre qui fait la différence sur la durée de combat, mais sans que cela n'affecte la mortalité.

La faible proportion d'hameçonnage profond dans notre étude pourrait également expliquer l'absence de mortalité. Au Québec, selon la réglementation en vigueur, il est permis de pêcher le bar rayé à la ligne, avec hameçon ou combinaison d'hameçons, sans appât naturel, dont chaque tige ne comporte qu'un seul crochet, pour un maximum de trois crochets par ligne. De ce fait, aucune capture n'a donc été réalisée à l'aide d'appâts naturels. Plusieurs études menées sur le bar rayé ont montré l'influence significative qu'avait un hameçonnage profond sur la mortalité (Lukacovic et Uphoff Jr, 2007 ; Diodati et Richards, 1996 ; Nelson, 1998), et ce type d'hameçonnage a été mis en relation avec l'utilisation d'appâts naturels vivants (Hysmith *et al.*, 1994 ; Bettoli et Osborne, 1998). De plus, aucune relation significative n'a été observée entre la taille des poissons et la profondeur d'hameçonnage contrairement à l'étude de Lukacovic et Uphoff Jr (2007) qui montrait que les plus gros poissons étaient plus souvent hameçonnés profondément, impactant ainsi négativement leur survie. Une forte proportion de poissons de petite taille dans notre étude indique une forte capacité de survie chez ces derniers, comme déjà observé par Hysmith *et al.*, 1994.

Influence des conditions de rétention

La rétention des bars rayés s'est faite dans un environnement changeant et fortement soumis aux mélanges entre l'eau salée du golfe du Saint-Laurent et l'eau douce de la rivière Bonaventure lors des marées (min : 3,73 ‰; max : 39,4 ‰), avec une salinité moyenne de 20,77 ‰. Les eaux salées et saumâtres retrouvées dans notre étude ont favorisé la survie si on compare aux mortalités observées en eau douce (Harrell, 1988, \approx 17 % ; Hysmith *et al.*, 1994, 8 à 70 %).

Les températures moyenne et maximale de l'eau dans nos cages de rétention étaient de 18,8 °C et 23,9 °C, respectivement. Sans mortalité observée, cette gamme de température ne semble pas nuire à la survie chez le bar rayé. Ce même constat a été observé dans l'étude de Hysmith *et al.* (1994) en eau douce, avec des taux de mortalité plus faibles à faible température entre 5 et 10 °C en hiver (12,5 %) qu'à température plus élevée entre 25 et 30 °C en été (46,5 %).

Finalement, nos poissons étaient maintenus en rétention dans des cages dont le volume d'eau par poisson était suffisant pour leur bien-être (Diodati et Richards, 1996) et aucune perturbation extérieure n'est survenue durant les 72 h de rétention. Cette méthode de rétention pourrait ainsi favoriser la récupération et, au bout du compte les taux de survie obtenus.

PERSPECTIVES

Initialement, ce projet avait également comme objectif d'évaluer l'impact de la remise à l'eau à travers la réponse métabolique. En effet, le stress peut causer une augmentation de la consommation d'oxygène et par conséquent engendrer des perturbations au niveau métabolique, en réduisant le registre aérobie, c'est-à-dire la quantité d'énergie disponible pour les fonctions autres que les fonctions vitales. Ces perturbations métaboliques devaient être enregistrées à l'aide de respiromètres installés de manière *in situ* sur le lieu de capture. Les respiromètres, munis d'une sonde à oxygène, devaient prendre des mesures d'oxygène en continu pendant 24 h de rétention et, à chaque 15 min, l'intégralité de l'eau contenue dans les respiromètres devait être renouvelée à l'aide de pompes afin d'observer des variations dans la consommation d'oxygène au cours du temps. L'hypothèse associée à cet objectif était que les effets du stress de capture devaient durer moins de 24 h et qu'ainsi un retour à la normale de la consommation en oxygène et donc du métabolisme de routine devait être observé en fin d'expérience. Par la suite, les poissons utilisés dans ces respiromètres devaient servir à obtenir des concentrations en cortisol, glucose, osmolarité et ions plasmatiques au repos. Malheureusement, les respiromètres ont brisé sous l'effet des vagues, les rendant inutilisables pour l'ensemble de la période d'étude sur le terrain en 2022. Deux nouveaux respiromètres ont donc été utilisés pour faire l'expérience sous conditions contrôlées en 2023. Laissés à la station aquicole de Pointe-au-Père (Rimouski, Québec), les respiromètres étaient alimentés en continu avec de l'eau provenant du fleuve Saint-Laurent afin de reproduire au mieux le milieu naturel. L'expérience a été menée du 17 au 31 juillet 2023 dans le secteur de Rimouski et un total de 10 poissons ont été capturés et gardés en rétention dans les respiromètres. À la suite des 24 h de rétention, ces mêmes poissons ont été sacrifiés et des prélèvements de matériel biologique similaires à ceux décrits plus haut (plasma sanguin, foie et branchies) ont été réalisés. Comme cette expérience a été réalisée trop tardivement dans mon échéancier de maîtrise, ces échantillons sont actuellement conservés à -80 °C à l'ISMER et pourraient être utilisés pour tester une nouvelle version de la puce développée par GEN-FISH. Les données de respirométrie seront également analysées ultérieurement. Toutes ces données pourront être disponibles pour la rédaction d'un article plus complet.

Finally, this master's project was carried out in close collaboration with the MELCCFP, whose teams participated in the field in 2022 and 2023. The problematique of our study responds to a need of this partner, and this project will allow the MELCCFP to better evaluate the effects of the practice of recreational fishing with release in the water on the population of striped bass in the south of the Gulf of Saint-Laurent. Finally, this evaluation will serve to better frame this practice.

RÉFÉRENCES CITÉES

- Bain, M. B., et Bain, J. L. (1982). Habitat suitability index models: Coastal stocks of striped bass. U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, Washington, D.C. 29 p.
- Barton, B. A., et Iwama, G. K. (1991). Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annual Review of Fish Diseases*, 1, 3-26.
- Barton, B. A. (2002). Stress in fishes: a diversity of responses with particular reference to changes in circulating corticosteroids. *Integrative and Comparative Biology*, 42, 517-525.
- Bentley, P. J. (1998). *Comparative Vertebrate Endocrinology*. Cambridge University Press, 526 p.
- Bernard, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale* (No. 2). Baillière.
- Bettoli, P. W., et Osborne, R. S. (1998). Hooking mortality and behavior of striped bass following catch and release angling. *North American Journal of Fisheries Management*, 18, 609-615.
- Booth, J. H. (1979). The effects of oxygen supply, epinephrine, and acetylcholine on the distribution of blood flow in trout gills. *Journal of Experimental Biology*, 83, 31-39.
- Bruslé, J., et Quignard, J. P. (2004). *Les poissons et leur environnement: écophysiologie et comportements adaptifs*. Editions T. Paris.
- Busacker, G. P., Adelman, I. R., Goolish, E.M. (1990) Physiological and biochemical indices of growth. In: Schreck C, Moyle PB (eds) *Methods for Fish Biology*. American Fisheries Society. Baltimore, Maryland.

- Chrousos, G. P., et Gold, P. W. (1992). The concepts of stress and stress system disorders: overview of physical and behavioral homeostasis. *Jama*, 267, 1244-1252.
- Chrousos, G. P. (1998). Stressors, stress, and neuroendocrine integration of the adaptive response: The 1997 Hans Selye Memorial Lecture. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 851, 311-335.
- Cooper, J. C., et Polgar, T. T. (1981). Recognition of year-class dominance in striped bass management. *Transactions of the American Fisheries Society*, 110, 180-187.
- COSEPAC. (2012). Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur le bar rayé (*Morone saxatilis*) au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. 10, 86 p.
- Davis, K. B., et Parker, N. C. (1990). Physiological stress in striped bass: effect of acclimation temperature. *Aquaculture*, 91, 349-358.
- DePasquale, S. W., Howell, B. E., Navaroli, G., Jeffries, K. M., Cooke, S. J., Wijenayake, S., et Hasler, C. T. (2023). Are the effects of catch-and-release angling evident in changes to mRNA abundances related to metabolism, acid–base regulation and stress in lake trout (*Salvelinus namaycush*) gills? *Conservation Physiology*, (in review).
- Diodati, P. J., et Richards, R. A. (1996). Mortality of striped bass hooked and released in salt water. *Transactions of the American Fisheries Society*, 125, 300-307.
- Evans, R. M. (1988). The steroid and thyroid hormone receptor superfamily. *Science*, 240, 889-895.
- Fuller, P. J., Lim-Tio, S. S., et Brennan, F. E. (2000). Specificity in mineralocorticoid versus glucocorticoid action. *Kidney International*, 57, 1256-1264.

- Gathercole, L. L., Lavery, G. G., Morgan, S. A., Cooper, M. S., Sinclair, A. J., Tomlinson, J. W., et Stewart, P. M. (2013). 11 β -Hydroxysteroid dehydrogenase 1: translational and therapeutic aspects. *Endocrine Reviews*, 34, 525-555.
- Geist, J., Werner, I., Eder, K. J., et Leutenegger, C. M. (2007). Comparisons of tissue-specific transcription of stress response genes with whole animal endpoints of adverse effect in striped bass (*Morone saxatilis*) following treatment with copper and esfenvalerate. *Aquatic Toxicology*, 85, 28-39.
- Harper, C., et Wolf, J. C. (2009). Morphologic effects of the stress response in fish. *ILAR journal*, 50, 387-396.
- Harrell, R. M. (1988). Catch and release mortality of striped bass caught with artificial lures and baits. In *Proceedings of the Annual Conference Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies*, 41, 70-75.
- Heath A. G. (1987) *Water Pollution and Fish Physiology*. 2nd ed. Boca Raton, USA: CRC Press, 384 p.
- Helfman, G. S, Collette, B. B., et Facey, D. E. (1997). *The Diversity of Fishes*. Blackwell Science: Oxford. Cambridge University Press 1, 151-151.
- Hellal-Levy, C., Fagart, J., Souque, A., et Rafestin-Oblin, M. E. (2000). Mechanistic aspects of mineralocorticoid receptor activation. *Kidney International*, 57, 1250-1255.
- Hill, R., Cavanaugh, D., et Anderson, M. (2022). *Animal Physiology (Fifth ed)*. Sinauer Associates. Oxford University Press.
- Hontela, A. (2005). Adrenal toxicology: environmental pollutants and the HPI axis. In *Biochemistry and Molecular Biology of Fishes*, 6, 331-363.

- Hung, S. S., Liu, W., Li, H., Storebakken, T., et Cui, Y. (1997). Effect of starvation on some morphological and biochemical parameters in white sturgeon, *Acipenser transmontanus*, *Aquaculture*, 151, 357-363
- Hysmith, B. T., Moczygamba, J. H., et Wilde, G. R. (1994). Hooking mortality of striped bass in Lake Texoma, Texas-Oklahoma. In *Proceedings of the Annual Conference Southeastern Association of Fish and Wildlife Agencies*, 46, 413-420.
- Itoh, T., Matsuda, H., Tanioka, M., Kuwabara, K., Itohara, S., et Suzuki, R. (2002). The role of matrix metalloproteinase-2 and matrix metalloproteinase-9 in antibody-induced arthritis. *Journal of Immunology*, 169, 2643-2647.
- Iwama, G. K., Thomas, P. T., Forsyth, R. B., et Vijayan, M. M. (1998). Heat shock protein expression in fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 8, 35-56.
- Karas, N. (2016). *The Complete Book of Striped Bass Fishing. A Through Guide to the Baits, Lures, Flies, Tackle, and Techniques for America's Favorite Saltwater Game Fish.* Skyhorse Publishing. 588 p.
- Kernehhan, R. J., Headrick, M. R., et Smith, R. E. (1981). Early life history of striped bass in the Chesapeake and Delaware Canal and vicinity. *Transactions of the American Fisheries Society*, 110, 137-150.
- Khansari, A. R., Balasch, J. C., Vallejos-Vidal, E., Parra, D., Reyes-López, F. E., et Tort, L. (2018). Comparative immune-and stress-related transcript response induced by air exposure and *Vibrio anguillarum* Bacterin in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and gilthead seabream (*Sparus aurata*) mucosal surfaces. *Frontiers in Immunology*, 9, 856.

- Krozowski, Z. S., et Funder, J. W. (1983). Renal mineralocorticoid receptors and hippocampal corticosterone-binding species have identical intrinsic steroid specificity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 80, 6056-6060.
- L'Italien, L. Mainguy, J. et Valiquette, É. 2020. Dynamique et habitats de reproduction de la population réintroduite de bars rayés (*Morone saxatilis*) dans le fleuve Saint-Laurent. Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Québec, 123 p.
- LeBlanc, C. H. et Chaput, G. J. 1991. Landings of estuarine fishes in the Gulf of St. Lawrence 1917 - 1988 1 Debarquements de poissons estuariens dans le golfe du Saint-Laurent 1917 - 1988. *Can. Data Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1Rapp. stat. can. sci. halieut. aquat. 842 ; 101 p.
- Liao, Y., Tong, L., Tang, L., et Wu, S. (2017). The role of cold-inducible RNA binding protein in cell stress response. *International Journal of Cancer*, 141, 2164-2173.
- Lukacovic, R., et Uphoff Jr, J. H. (2007). Recreational catch-and-release mortality of striped bass caught with bait in Chesapeake Bay. Fisheries Technical Report Series, No. 50. Fisheries Service. Annapolis, Maryland. 21 pp.
- Mallatt, J. (1985). Fish gill structural changes induced by toxicants and other irritants: a statistical review. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 42, 630-648.
- Mason, J. W. (1968). "Over-all" hormonal balance as a key to endocrine organization. *Psychosomatic Medicine*, 30, 791-808.
- McClelland, G., Weber, J. M., Zwingelstein, G., et Brichon, G. (1995). Lipid composition of tissue and plasma in two Mediterranean fishes, the gilt-head sea bream (*Chrysophrys auratus*) and the European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 52, 161-170.

- Merriman, D. (1941). Studies on the striped bass (*Roccus saxatilis*). Annals and Magazine of Natural History Series, 11, 55-64.
- Mommsen, T. P., Vijayan, M. M., et Moon, T. W. (1999). Cortisol in teleosts: dynamics, mechanisms of action, and metabolic regulation. Reviews in fish biology and fisheries, 9, 211-268.
- Moutsatsou, P., Kassi, E., et Papavassiliou, A. G. (2012). Glucocorticoid receptor signaling in bone cells. Trends in molecular medicine, 18, 348-359.
- MPO. 2018. Abondance de reproducteurs et caractéristiques biologiques du bar rayé (*Morone saxatilis*) du sud du golfe du Saint-Laurent en 2017. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Rép. des Sci. 2018/016.
- MPO. 2022. Mise à jour de 2021 sur l'abondance des reproducteurs et les caractéristiques biologiques du bar rayé (*Morone saxatilis*) du sud du golfe du Saint-Laurent. Secr. can. des avis sci. du MPO. Rép. des Sci. 2022/024.
- MPO. 2023. Mise à jour sur l'abondance de reproducteurs et les caractéristiques biologiques du bar rayé (*Morone saxatilis*) du sud du golfe du Saint-Laurent. Secr. can. des avis sci. du MPO. Rép. des Sci. 2023/004.
- Nagata, K. (1996). Hsp47: a collagen-specific molecular chaperone. Trends in Biochemical Sciences, 21, 23-26.
- Nakano, T., et Tomlinson, N. (1967). Catecholamine and carbohydrate concentrations in rainbow trout (*Salmo gairdneri*) in relation to physical disturbance. Journal of the Fisheries Board of Canada, 24, 1701-1715.
- Nelson, J. S., Grande, T. C., et Wilson, M. V. (2016). Fishes of the World. John Wiley et Sons. 707 p.

- Nelson, K. L. (1998). Catch-and-release mortality of striped bass in the Roanoke River, North Carolina. *North American Journal of Fisheries Management*, 18, 25-30.
- Nishiyama, H., Itoh, K., Kaneko, Y., Kishishita, M., Yoshida, O., et Fujita, J. (1997). A glycine-rich RNA-binding protein mediating cold-inducible suppression of mammalian cell growth. *Journal of Cell Biology*, 137, 899-908.
- Norman, A. W., et Litwack, G. (1997). Biosynthesis of Steroids. *Hormones*, 2nd edn, Eds Norman AW, Litwack G. San Diego: Academic Press, 65-74.
- Ottaviani, E., et Franceschi, C. (1996). The neuroimmunology of stress from invertebrates to man. *Progress in Neurobiology*, 48, 421-440.
- Pickering, A. D., Pottinger, T. G., Sumpter, J. P., Carragher, J. F., et Le Bail, P. Y. (1991). Effects of acute and chronic stress on the levels of circulating growth hormone in the rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *General and Comparative Endocrinology*, 83, 86-93.
- Picard, D. (2002). Heat-shock protein 90, a chaperone for folding and regulation. *Cellular and Molecular Life Sciences CMLS*, 59, 1640-1648.
- Portz, D. E., Woodley, C. M., et Cech, J. J. (2006). Stress-associated impacts of short-term holding on fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 16, 125-170.
- Randall, D. J., et Perry, S. F. (1992). Catecholamines. In 'Fish Physiology, vol 12B' (Hoar, DJ Randall and AP Farrell., Eds) Academic Press, London.
- Reid, S. G., Bernier, N. J., et Perry, S. F. (1998). The adrenergic stress response in fish: control of catecholamine storage and release. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Pharmacology, Toxicology and Endocrinology*, 120, 1-27.

- Sapolsky, R. M., Romero, L. M., et Munck, A. U. (2000). How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocrine Reviews*, 21, 55-89.
- Sathiyaa, R., Campbell, T. et Vijayan, M. (2001). Cortisol modulates HSP90 mRNA expression in primary cultures of trout hepatocytes. *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 129, 679-685.
- Schreck, C. B., Contreras-Sanchez, W., et Fitzpatrick, M. S. (2001). Effects of stress on fish reproduction, gamete quality, and progeny. In *Reproductive Biotechnology in Finfish Aquaculture*, 3-24.
- Schreck, C. B. (2010). Stress and fish reproduction: the roles of allostasis and hormesis. *General and Comparative Endocrinology*, 165, 549-556.
- Segnitz, B., et Gehring, U. (1997). The function of steroid hormone receptors is inhibited by the hsp90-specific compound geldanamycin. *Journal of Biological Chemistry*, 272, 18694-18701.
- Selye, H. (1946). The general adaptation syndrome and the diseases of adaptation. *The Journal of Clinical Endocrinology*, 6, 117-230.
- Selye, H. (1950). Stress and the general adaptation syndrome. *British Medical Journal*, 1, 1383.
- Setzler-Hamilton E. et Hall L. (1991). Striped bass *Morone saxatilis*. In: S.L. Funderburk, S.J. Jordan, J.A. Mihursky Det D. Riley (eds) *Habitat Requirements for Chesapeake Bay Program Living Resources*, 2nd edn. Solomons, MD: Chesapeake Research Consortium, 13, 13-25.
- Suarez-Bregua, P., Guerreiro, P. M., et Rotllant, J. (2018). Stress, glucocorticoids and bone: a review from mammals and fish. *Frontiers in Endocrinology*, 9, 526.

- Tisa, M. S., Strange, R. J., et Peterson, D. C. (1983). Hematology of striped bass in fresh water. *Progressive Fish-Culturist*, 45, 41-44.
- Tomasso, A. O., Isely, J. J., et Tomasso Jr, J. R. (1996). Physiological responses and mortality of striped bass angled in freshwater. *Transactions of the American Fisheries Society*, 125, 321-325.
- Tuomi, J. M., Voorbraak, F., Jones, D. L., et Ruijter, J. M. (2010). Bias in the Cq value observed with hydrolysis probe based quantitative PCR can be corrected with the estimated PCR efficiency value. *Methods*, 50, 313-322.
- Valiquette, E., Legault, M., Mainguy, J., Bujold, V., et Pelletier, A. M. (2018). Répartition du bar rayé au Québec—mise à jour des connaissances, Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs. Québec, CA, 17p.
- Van Leeuwen, T. E., Cote, D., Pretty, C., Townley, J., Poole, R., Dempson, B., Bird, T. J., Kippenhuck, C., et Morris, C. (2021). Incursions of sea lamprey, *Petromyzon marinus*, and striped bass (*Morone saxatilis*), in Labrador waters: Episodic events or evidence of a northward range expansion? *Journal of Fish Biology*, 99, 2066–2070.
- Walter, B. C. (1934). The Wisdom of the Body. *Nature*, 133, 82 p.
- Walter III, J. F., Overton, A. S., Ferry, K. H., et Mather, M. E. (2003). Atlantic coast feeding habits of striped bass: a synthesis supporting a coast-wide understanding of trophic biology. *Fisheries Management and Ecology*, 10, 349-360.
- Wang, Y., Liu, Z., Li, Z., Shi, H., Kang, Y., Wang, J., et Jiang, L. (2016). Effects of heat stress on respiratory burst, oxidative damage and SERPINH1 (HSP47) mRNA expression in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 42, 701-710.

Welch, W. J. (1993). How cells respond to stress. *Scientific American*, 268, 56-64.

Wiseman, S., Osachoff, H., Bassett, E., Malhotra, J., Bruno, J., VanAggelen, G., et Vijayan, M. M. (2007). Gene expression pattern in the liver during recovery from an acute stressor in rainbow trout. *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 2, 234-244.

RÉFÉRENCES ÉLECTRONIQUES

Atlantic States Marine Fisheries Commission (ASMFC). (2021). Public information document for Amendment 7 to the Interstate Fishery Management Plan For Atlantic Striped Bass. http://asmfc.org/files/PublicInput/StripedBassAm7PID_PublicComment_Feb2021.pdf. Consulté le 5 février 2022.

Genomic Network for Fish Identification, Stress and Health (GEN-FISH). (2023). <https://gen-fish.ca/about-gen-fish/>. Consulté le 17 janvier 2023.

Gulf States Marine Fisheries Commission (GSMFC). (2006). The Striped Bass Fishery of the Gulf of Mexico, United States: A Regional Management Plan. Number 137. <https://www.gsmfc.org/publications/GSMFC%20Number%20137.pdf>. Consulté le 21 juin 2023.

RStudio Team. (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. <http://www.rstudio.com/>. Consulté le 4 avril 2023.

ANNEXES

Annexe 1 : Résumé des paramètres de pêche considérés.

Variables	Type	Catégories
Expérience des pêcheurs	Catégorique	Débutant Intermédiaire Avancé
Type de leurre	Catégorique	Souple Rigide Mouche
Durée du combat	Continue	
Durée d'exposition à l'air	Continue	
Saignement	Catégorique	Oui Non
Taille	Continue	
Masse	Continue	

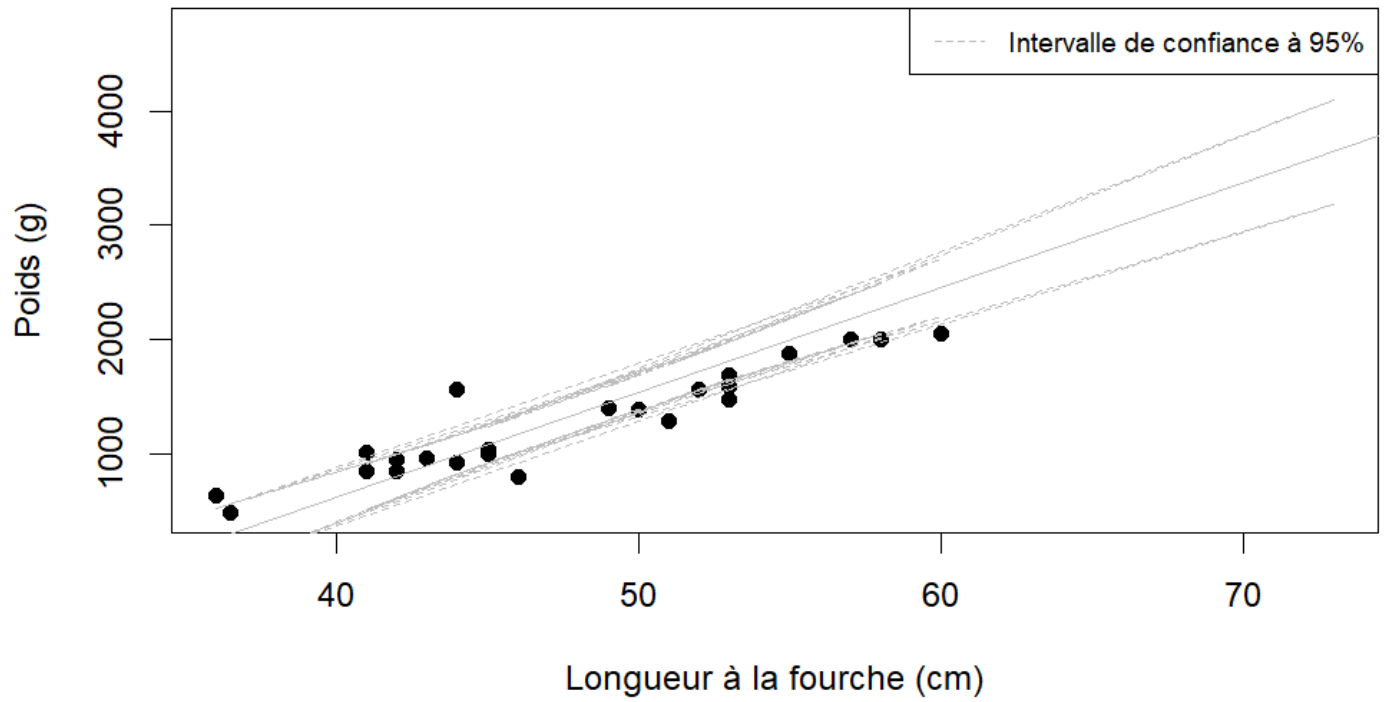
Annexe 2 : Valeurs moyennes des variables explicatives continues ainsi que le nombre de pêcheurs pour les variables explicatives catégoriques (De = débutant, In = Intermédiaire, Av = avancé, So = souple, Ri = rigide, Mo = Mouche). Données relatives aux travaux de terrain à l'été 2022.

	Masse (mg)	Taille (cm)	Durée du combat (s)	Durée d'exposition à l'air (s)	Température de l'eau(°C)	n =	Expérience des pêcheurs						Type de leurre		Saignement	
							De	In	Av	So	Ri	Mo	Oui	Non		
Moyenne ± é.t.	1418 ± 838	49 ± 8	53 ± 33	34 ± 22	16,35 ± 3		6	6	12	15	6	3	4	20		

Annexe 3 : Résultats des tests de normalité et d'homogénéité des variances pour chacune des variables dépendantes testées ainsi que le test statistique univarié sélectionné en fonction du respect ou non des conditions (normalité et homogénéité des variances).

	Homogénéité des variances				Test approprié			Autres variables continues
	Normalité	Expérience	Leurre	Saignement	Expérience	Leurre	Saignement	
Chlore	0,955	0,252	0,188	0,405	ANOVA à 1 facteur	ANOVA à 1 facteur	ANOVA à 1 facteur	Kruskal-Wallis
Osmolarité	0,513	0,479	0,485	0,875	ANOVA à 1 facteur	ANOVA à 1 facteur	ANOVA à 1 facteur	Kruskal-Wallis
Glucose	0,058	0,107	0,904	0,264	ANOVA à 1 facteur	ANOVA à 1 facteur	ANOVA à 1 facteur	Kruskal-Wallis
Cortisol	4,33 x 10 ⁻⁵							
F_CTSD	1,61 x 10 ⁻⁸							
F_esr2b	0,002							
F_HSP70	5,58 x 10 ⁻⁸						Kruskal-Wallis	
F_IGF1	0,018							
B_CTSD	7,86 x 10 ⁻⁹							
B_HSP70	4,08 x 10 ⁻⁸							

Annexe 4 : Corrélation entre la masse (g) et la longueur à la fourche (cm)



Annexe 5 : Contribution en pourcentage de chaque variable dans les composantes principales.

Variables	Fact.1	Fact.2	Fact.3	Fact.4	Fact.5	Fact.6
Expérience	0,148544	0,226689	0,024713	0,403631	0,0049318	0,147106
Type de leurre	0,002408	0,398107	0,017124	0,269423	0,223034	0,089905
Durée du combat (s)	0,098853	0,264688	0,151076	0,042525	0,233256	0,209602
Durée d'exposition (s)	0,282532	0,086476	0,074821	0,201419	0,067760	0,286993
Saignement	0,252905	0,007927	0,282105	0,057136	0,394454	0,005473
Poids (g)	0,214759	0,016114	0,450161	0,025866	0,032177	0,260923

