

Rapport d'étude scientifique et technique

Test du piégeage par leurres acoustiques du gobie à tache noire, *Neogobius melanostomus*

Lucas Voirin



OFB
OFFICE FRANÇAIS
DE LA BIODIVERSITÉ



Travail encadré par Michaël Cagnant - OFB & Vincent Médoc - ENES

28 Février 2022 – 26 Août 2022

Remerciements

Le travail présenté dans ce rapport s'inscrit dans un projet multipartenarial, je souhaite remercier toutes les personnes qui y ont pris part de près ou de loin.

Toute l'équipe de l'ENES, et tout particulièrement Joël Attia et Théophile Turco pour leurs précieux conseils et tout le temps qu'ils m'ont accordé.

L'ensemble des agents et personnels de la direction PACA Corse de l'OFB, et plus spécialement Jean-Michel Foissy, Jean-Charles Brandes et la super équipe de stagiaires, Tina, Titouan, Mohammed et Mohamed (« Nabil ») ...et Solène (quand même).

Un très grand merci à Christian Mahut, dont la présence sur ou au bord de l'eau n'a jamais fait défaut, ainsi qu'au reste de l'équipe de l'AAPPMA d'Oraison : Pietro Arena et François Roman.

Julien Dublon de l'INRAE, grâce à qui l'honneur des rotengles est sauf.

Olivier Bonnefous de la Fédération de pêche du Var.

Ophélie Cussac, Jérémie Talancieux et Cédric Gout, du Syndicat Mixte Asse Bléone.

Anne Ferment, grâce à qui la pluie n'a jamais été un problème, et Nicolas Martinez du PNR du Verdon.

Clémentine Samaille et Nicolas Robin de la Fédération de pêche des Alpes de Haute Provence.

Anne-Marie et Claude, pour leur accueil toujours chaleureux !

Un remerciement tout particulier à Anne Charpentier, qui, depuis deux ans, est toujours à l'écoute et de bon conseil.

Et bien sûr, je tiens à remercier vivement Vincent et Michaël, pour leur présence infaillible malgré les distances et pour tout le soutien qu'ils m'ont apporté.

A l'heure de l'écriture de ces lignes, mon stage n'est pas encore terminé, je sais par avance avoir à compléter ces remerciements avec d'autres noms.

Sommaire

Partie 1 – Missions et contexte du stage.....	I
a. Missions du stage.....	I
Mission principale.....	I
Activités annexes.....	I
b. Contexte professionnel.....	II
Intérêt de l'étude réalisée.....	II
Moyens mis à disposition.....	II
Partie 2 – Rapport d'étude scientifique et technique.....	1
a. Introduction.....	1
b. Matériel & Méthode.....	3
b.1. Modèle biologique.....	3
b.2. Zone d'étude.....	4
b.3. Analyse et synthèse acoustique.....	5
b.4. Conception du dispositif de piégeage acoustique.....	6
b.5. Test du piégeage.....	7
c. Résultats.....	8
c.1. Analyse et synthèse acoustique.....	8
c.2. Dispositif de piégeage acoustique.....	12
c.3. Résultats du piégeage.....	13
d. Discussion.....	15
e. Bibliographie.....	18

Partie 1 – Missions et contexte du stage

a. Missions du stage

Mission principale

La mission principale de ce stage consiste à tester une méthode de piégeage du gobie à tache noire par l'utilisation de leurres acoustiques. Elle représente 95 % du temps de stage. Cette mission se divise en différentes tâches présentées ci-dessous par ordre chronologique :

- Analyse statistique des vocalisations de gobie – Cette analyse préliminaire consiste à documenter la variabilité des paramètres acoustiques de vocalises de gobie en fonction de paramètres morphologiques et ce afin de guider la création des playlists diffusées comme leurres.
- Conception d'enceintes subaquatiques – Cette tâche technique, vise à concevoir, tester et calibrer des dispositifs de diffusion sonore selon les contraintes imposées par les conditions expérimentales (temps de déploiement, température, bruit de fond...).
- Expérimentation du piégeage – Cette tâche regroupe la conception du plan d'échantillonnage et la préparation des sessions de capture (bibliographie, organisation avec les autres partenaires, démarches administratives et réglementaires...), ainsi que la partie opérationnelle de déploiement et de relevé des pièges expérimentaux. Il s'agit de la principale phase de terrain et de collecte de données.
- Exploitation des données – Cette analyse consiste à exploiter les données récoltées lors de la phase de terrain afin d'évaluer l'efficacité du piégeage. Elle regroupe le traitement, l'analyse statistique et la présentation des données.
- Communication avec les acteurs et partenaires du projet – Cette tâche est effectuée tout au long du stage. Elle regroupe la création support de communication, l'animation de réunions avec les partenaires ainsi que la communication des résultats et sur le projet.

En annexe de cette mission, d'autres actions sur la thématique du gobie seront réalisées. Il s'agit notamment de test de suivi acoustique passif et d'étude éthologiques. Ces missions sont destinées à documenter le comportement acoustique du gobie dans le contexte local afin d'apporter des éléments pouvant être utiles à la mise en place du piégeage.

Activités annexes

A côté de la mission principale, d'autres activités pourront être réalisées ponctuellement. Ce sont notamment des suivis naturalistes de terrain (pêche électrique, hurlements provoqués...) réalisés par le service connaissance régionale ou des différents services départementaux. Ces activités annexes sont l'occasion de découvrir la diversité des actions menées à l'Office Français de la Biodiversité (OFB). Elles présentent l'intérêt de découvrir le réseau ainsi que les méthodes de gestion et de suivi de la biodiversité.

b. Contexte professionnel

Le stage est porté par l'Office Français de la Biodiversité et l'Équipe de Neuro-Éthologie Sensorielle (ENES) et financé par l'OFB. Le premier mois de stage s'est déroulé à Saint-Étienne, au sein de l'ENES, la seconde partie est hébergée à Aix-en-Provence, au sein du service connaissance de la direction interrégionale PACA Corse de l'OFB.

L'Office Français de la Biodiversité est l'établissement gouvernemental issu de la fusion au premier janvier 2020 de l'Office Nationale de la Chasse et de la Faune Sauvage et de l'Agence Française pour la Biodiversité. Cet établissement possède des missions de police, d'appui aux territoires et d'améliorations des connaissances sur la biodiversité. Le stage s'inscrit dans la mission du service de production et de valorisation des connaissances sur la biodiversité (Service Connaissance Régional).

L'Équipe de Neuro-Éthologie Sensorielle et une équipe de recherche spécialisée dans l'étude du comportement animal et en bioacoustique. Elle dépend du Centre de Recherches en Neurosciences de Lyon. Le laboratoire possède un axe de recherche orienté sur une vision écosystémique du son, notamment en milieu aquatique.

La mission implique également différents partenaires techniques et financiers, acteurs de la gestion des milieux naturels et aquatiques : le Parc Naturel Régional du Verdon, la fédération de pêche du Var, le Syndicat Mixte de l'Asse et de la Bléone, l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE), et des associations de pêche locales (AAPPMA).

Intérêt de l'étude réalisée

Le gobie à tache noire est une espèce à très fort potentiel invasif et sa récente introduction dans plusieurs plans d'eau du sud de la France suscite des inquiétudes quant à la menace qu'il représente pour les écosystèmes locaux. Face à cette nouvelle problématique, le développement de méthodes de gestion s'avère nécessaire. La nature, la portée, l'efficacité et la coordination des moyens de lutte doivent être définis. Le projet porté par le stage porte l'intérêt d'explorer une méthode de lutte innovante qui pourrait se révéler utile pour la lutte contre les populations de gobies, mais également, par sa dimension multipartenariale, rassembler différents acteurs, institutionnels, académiques et associatifs autour de la problématique. Ce travail commun est un point de départ important pour la suite des travaux sur le gobie à tache noire et pour la coordination de la lutte. Au delà des aspects techniques et de partenariat, le stage apportera de nouvelles connaissances sur le gobie et sa gestion dans le contexte local. L'approche acoustique, déjà testée en Amérique du Nord sera testée pour la première fois en France, cela permettra de développer les connaissances sur cette méthode innovante et explorer ses aspects pratiques.

Moyens mis à disposition

Ce stage bénéficie de l'appui des personnels des moyens techniques de l'OFB et du Laboratoire ENES. L'OFB fourni du matériel et des services informatique (ordinateur portable, logiciels, adresse mail, serveurs) ainsi que des moyens logistiques (véhicules, remorque, stockage).

Par ailleurs, une convention a été établie entre différents partenaires extérieurs afin de mettre à disposition des ressources financières destinées à l'achat de matériel (nasses, acoustique...).

Des moyens mis à disposition par d'autres structures partenaires (INRAE, AAPPMA, PNR, fédération de pêche) permettront également le bon déroulement de la mission. Ces moyens sont à la fois humains, pour apporter une aide sur les différentes tâches sur le terrain mais également matériels, comme la mise à disposition d'embarcations ou d'infrastructures.

Partie 2 – Rapport d'étude scientifique et technique

Test du piégeage par leurres acoustiques du Gobie à Tache Noire

a. Introduction

Le transport et l'introduction d'espèces non indigènes constituent l'une des principales pressions anthropiques sur la biodiversité (Mace et al., 2005). Ces introductions, volontaires ou non, sont parfois à l'origine d'invasions biologiques impactant la structure et la fonctionnalité des écosystèmes envahis, mais également la biodiversité à plus large échelle (Butchart et al., 2010; Crowl et al., 2008; Gutiérrez et al., 2014). Les impacts se manifestent à l'échelle locale, via des phénomènes de compétition ou de prédation avec les espèces natives, aboutissant parfois à des extinctions, notamment pour des espèces endémiques ou occupant des systèmes insulaires (Bellard et al., 2016). À plus large échelle, régionale voire globale, il a été montré une tendance à l'homogénéisation des communautés (Villéger et al., 2015, 2014). À ce coût écologique des impacts s'ajoutent d'importants coûts économiques, liés à la dégradation des services écosystémiques ainsi qu'aux mesures de lutte (Pimentel et al., 2005). Les milieux aquatiques continentaux ne sont pas épargnés par ce phénomène global. Les invasions biologiques représentent l'une des principales menaces pour les espèces aquatiques et viennent s'ajouter à d'autres pressions (Dudgeon, 2019; Strayer, 2010). D'après une récente estimation, en Europe, les deux tiers des espèces de poissons d'eau douce seraient menacés par des espèces invasives, ce qui en fait la troisième menace la plus importante après l'aménagement des cours d'eau et les sécheresses (Costa et al., 2021). L'introduction, puis la propagation, des espèces dulçaquicoles non natives, et notamment des poissons, sont grandement favorisées par les activités récréatives ou industrielles ainsi que par la connectivité des habitats naturels et artificiels (Chapman et al., 2020). D'une manière générale on constate une quantité d'espèces allochtones plus importante dans les zones où l'influence des activités humaines est la plus forte (Early et al., 2016; Leprieur et al., 2008). Les canaux, les bateaux, l'aquariophilie ou la pisciculture sont autant de vecteurs d'espèces, potentiellement invasives, entre bassins versants voire entre continents (e.g. Jude et al., 1992).

Les différents impacts, écologiques et économiques, induits par les espèces exotiques envahissantes ont motivé de nombreux travaux de recherche sur les moyens de gestion (Bampfylde et al., 2010; Blackburn et al., 2011; Richardson and Pyšek, 2008). Cependant, devant l'ampleur du phénomène, la gestion s'avère souvent très coûteuse voire impossible quand les populations sont implantées depuis longtemps (Larson et al., 2011). Bien que la meilleure méthode de lutte contre les espèces invasives consiste à prévenir leur introduction, l'établissement de populations s'avère souvent inévitable. De plus, les mesures de gestion visant à éradiquer les populations exotiques envahissantes, au-delà du coût économique qu'elles engendrent, peuvent se révéler très impactantes pour les espèces locales (Castañeda et al., 2020). La lutte doit idéalement pouvoir être mise en place au plus tôt avant que l'ampleur de l'invasion rende la situation irrémédiable, du moins sans d'importants coûts écologiques et économiques (pour une synthèse, consulter Dudgeon, 2020). Ainsi, les gestionnaires ont besoin de méthodes pouvant être mises en place rapidement, peu coûteuses et dont l'efficacité a été démontrée. Des travaux de recherche sont nécessaires à leur conception, leur développement, leur évaluation et à l'intégration des nouvelles connaissances et technologies (Larson et al., 2011).

Depuis quelques années, le développement de la bioacoustique, discipline originellement axée sur l'étude du comportement des animaux, a fourni des concepts, des méthodologies et des technologies désormais utilisées en écologie (Greenhalgh et al., 2020). Certaines applications, dérivées des expériences de repasse en bioacoustique, consistent à diffuser des signaux sonores afin d'induire, chez les espèces ciblées, des comportements utiles pour la gestion. La conception des méthodes s'appuie souvent sur des études comportementales afin de connaître, *a priori*, les réponses pouvant être induites par la diffusion de différentes productions sonores. Les réponses particulièrement intéressantes à exploiter dans le cadre de méthodes de gestion sont l'attraction et la répulsion. Il est ainsi possible de guider la répartition spatiale et les déplacements des individus ciblés. De nombreux taxons ont fait l'objet de telles applications : des répulsifs sont utilisés pour éloigner les chiroptères des éoliennes (Weaver et al., 2020), ou les dauphins des dispositifs de pêche (Bruno et al., 2021). Les poissons ne font pas exception : des dispositifs répulsifs ont par exemple été utilisés pour cloisonner la migration de poissons invasifs (Putland and Mensinger, 2019). Concernant les leurres acoustiques, ceux-ci ont montré leur efficacité afin de restaurer certains récifs en attirant les poissons grâce à un enrichissement acoustique (Gordon et al., 2019), mais sont aussi utilisés pour améliorer la capture, et ce chez des espèces très différentes, dans le but d'améliorer le suivi (Preble et al., 2021), ou de réduire des populations invasives (Isabella-Valenzi and Higgs, 2016; Muller and Schwarzkopf, 2018).

Le gobie à tache noire, *Neogobius melanostomus* (Pallas, 1814) est un poisson benthique de la famille des *Gobiidae*, dont l'aire de répartition s'est largement étendue depuis quelques décennies (Corkum et al., 2004). Ce gobie possède un fort potentiel invasif et sa prolifération s'accompagne de nombreux changements, notamment trophiques, dans les écosystèmes envahis (Chotkowski and Marsden, 1999; Hirsch et al., 2016; Kornis et al., 2013, 2012; Lutz et al., 2020; van Deurs et al., 2021; van Kessel et al., 2016). Ce modèle biologique a fait l'objet de nombreux travaux de recherche depuis qu'il a été introduit il y a trente ans dans les Grands Lacs d'Amérique du Nord par les eaux de ballast (Charlebois et al., 2001; Jude et al., 1992; Kornis et al., 2012). Plusieurs méthodes de gestion ont été investiguées : la prévention contre l'introduction dans les ballasts des navires transatlantiques (Ellis and Macisaac, 2009), l'éradication par piscicides (Schreier et al., 2008), le piégeage par leurres chimiques ou visuels (Yavno et al., 2010) ainsi que le piégeage par leurres acoustiques (Isabella-Valenzi and Higgs, 2016).

Comme de nombreuses autres espèces de poissons (Amorim, 2006), le gobie à tache noire possède certaines modalités de communication acoustique (Rollo, 2006; Rollo and Higgs, 2005). En période de reproduction, les mâles aménagent et gardent des cavités de ponte et émettent des sons destinés à y attirer les femelles (Higgs and Humphrey, 2020; Isabella-Valenzi and Higgs, 2013; Meunier et al., 2009; Rollo et al., 2007). Ces sons font également l'objet d'une écoute clandestine par des mâles parasites pouvant chercher à s'appropriier les pontes gardées par d'autres mâles voire même des individus non reproducteurs, pouvant être attirés par l'indication de la présence d'œufs à consommer (Isabella-Valenzi and Higgs, 2013). Un autre type de vocalisation, également utilisé par les mâles, jouerait un rôle dans la compétition intra-sexuelle et servirait à repousser d'autres mâles (Isabella-Valenzi and Higgs, 2016, 2013). Lors d'une étude réalisée en Amérique du Nord, où le gobie s'est largement répandu, Isabella-Valenzi et Higgs (2016), ont testé l'utilisation de leurres acoustiques diffusant ces deux types de signaux dans des nasses à l'aide d'enceinte subaquatiques. Leur résultats montrent que les cris d'attraction émis par les mâles permettraient d'améliorer significativement l'efficacité du piégeage en augmentant le nombre d'individus capturés.

Arrivé en France par l'intermédiaire du Danube et de canaux du nord de l'Europe, les premiers individus de gobie à tache noire ont été observés sur le territoire national en 2011 (Manné et al., 2013). Depuis 2017, sa présence est aussi avérée dans deux plans d'eau du sud de la France : le lac de retenue de Sainte-Croix et l'étang de Brunet (Provence-Alpes-Côte d'Azur). Connaissant le potentiel invasif de l'espèce, le gobie représente un risque important pour les écosystèmes locaux, que les gestionnaires cherchent à éviter ou limiter. Les inquiétudes portent notamment sur une espèce de poisson à l'écologie proche du gobie, l'apron du Rhône, *Zingel asper* (Linnaeus, 1758), endémique de quelques cours d'eau du bassin du Rhône et dont les populations sont susceptibles de rentrer en compétition avec celles du gobie. L'introduction du gobie à tache noire en dans le sud de la France étant assez récente, les méthodes de piégeage peuvent encore se révéler utiles, contrairement à la situation dans les grands lacs américains où l'invasion est à un stade trop avancé pour des méthodes de lutte très localisées.

Cette étude vise à tester l'efficacité du piégeage acoustique du gobie à tache noire dans le contexte local, mais également sa faisabilité en tant que pratique de gestion. Ainsi, aux aspects scientifiques destinés à évaluer l'effet des leurres acoustiques sur la capture de gobies, s'ajoutent des aspects techniques, financiers et humains, nécessaires à l'étude de faisabilité. Par ailleurs, la présente étude constitue l'occasion d'acquérir des connaissances sur le gobie à tache noire dans le contexte local. Pour tester la plus-value de cette méthode de piégeage en comparaison à une méthode plus traditionnelle, les leurres acoustiques seront comparés à des appâts alimentaires. Nos hypothèses principales sont que (1) les leurres acoustiques permettent d'améliorer l'efficacité du piégeage (i.e. la quantité de gobies capturés) et que (2) les leurres acoustiques sont plus spécifiques que les appâts (i.e. la quantité d'individus d'espèces non ciblées est moins importante). Concernant l'étude de faisabilité, nous posons l'hypothèse que la méthode peut être mise en place dans le cadre d'une action de gestion, avec les ressources financières, logistiques et humaines de structures gestionnaires du milieu aquatique (associations de pêche, syndicats de rivière, parc naturel régional). La première phase de l'étude consiste en la conception des dispositifs expérimentaux et des leurres acoustiques. L'expérimentation des méthodes de capture sera réalisée en milieu naturel à différentes périodes de la saison de reproduction du gobie, entre juin et juillet 2022, dans deux plans d'eau du sud de la France.

b. Matériel & Méthode

b.1. Modèle biologique

La famille des *Gobiidae* se caractérise par l'absence de vessie natatoire, ce qui force ces espèces à avoir un mode de vie principalement benthique. Les gobies ont une nageoire dorsale scindée en deux parties et leurs nageoires pelviennes sont soudées chez la majorité des espèces, formant ainsi une ventouse. Le gobie à tache noire est reconnaissable à la présence d'une tache noire sur la première nageoire dorsale, qui a inspiré son nom français, ainsi qu'une tête arrondie. Les motifs et couleurs sont variés, mais les mâles peuvent se colorer de noir lors de la période de reproduction (Charlebois et al., 1997; Sa-a and Reyes, n.d.). Parmi les individus adultes, on distingue plusieurs statuts reproducteurs. Les mâles, s'il sont reproducteurs, peuvent adopter deux stratégies différentes : l'une consiste à garder un nid aménagé dans le substrat et y attirer les femelles, l'autre, consiste à essayer de féconder les pontes gardées par un autre mâle. Les différents statuts reproducteurs sont identifiables par des critères morphologiques et peuvent être confirmés par dissection (Charlebois et al., 1997; Isabella-Valenzi and

Higgs, 2013). Les mâles construisant et gardant des nids se distinguent également par un comportement de production vocale en période de reproduction. Ils émettent des séries de pulsations à basse fréquence (quelques dizaines à quelques centaines de Hertz) dans le but d’attirer les femelles gravides (Rollo et al., 2007) (Fig. 1 a). Ce sont des signaux de ce type qui seront utilisés comme leurres acoustiques.

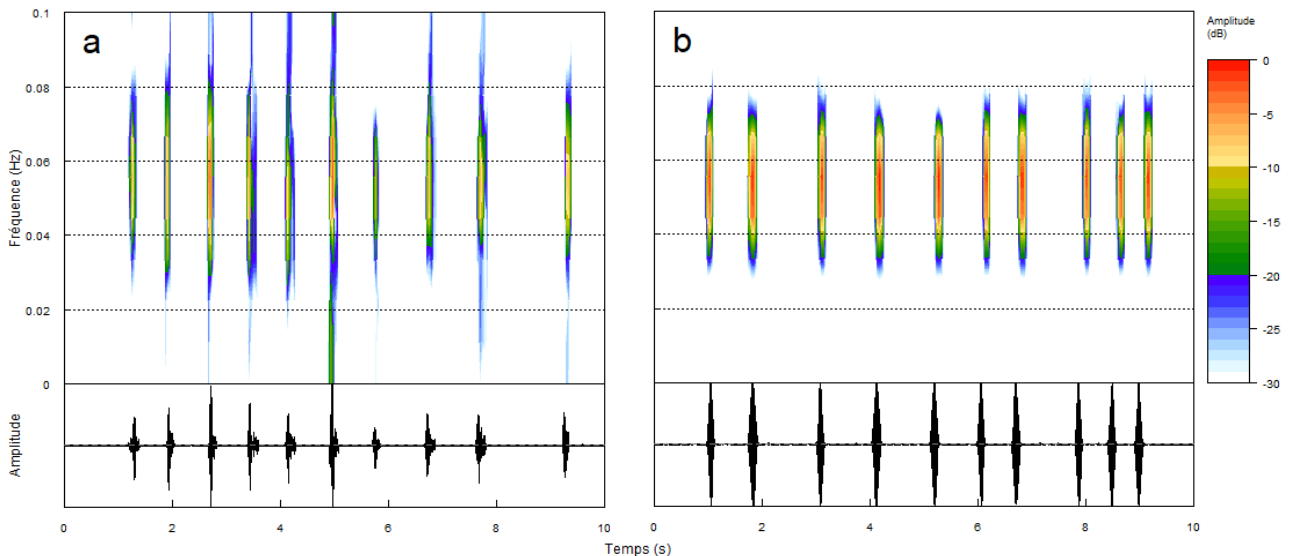


Figure 1: Représentations spectrographiques et oscillographiques d'exemples de vocalises (a) biologique et (b) synthétisée de gobie à tache noire (*Neogobius melanostomus*). Les spectrogrammes ont été calculés à partir d'une fenêtre de Hann de 4096 points et recouvrante de 50 %. La vocalisation biologique est extraite de la base de données issue du travail de Beninati (2019).

Au niveau européen, le gobie à tache noire n’est pas considéré comme invasif en raison de son statut d’espèce native dans une partie de l’aire géographique de la communauté européenne (Commission Européenne, 2017, 2016; Conseil de l’Europe, 2014). En France, pour l’heure, la réglementation ne mentionne pas le gobie à tache noire (Assemblée Nationale, 2019). L’espèce n’est donc pas considérée comme invasive au niveau national (République Française, 2019, 1985). Néanmoins, n’étant pas considérée comme représentée dans les cours d’eau sur le territoire national, son utilisation comme vif ainsi que son introduction est interdite (République Française, 2016, 1985). Au niveau local, dans le département des Alpes de Haute Provence, la réglementation par arrêté préfectoral qui autorise à titre dérogatoire la pratique de la pêche scientifique stipule que la pêche du gobie est autorisée, mais les individus capturés doivent être systématiquement euthanasiés (Préfet des Alpes de Haute Provence, 2019).

b.2. Zone d’étude

L’étude sera menée sur deux plans d’eau aux caractéristiques hydromorphologiques différentes. Le lac de Sainte-Croix est un lac de retenue hydroélectrique positionné sur le cours de la rivière Verdon. Sa superficie est de 22 km². Le lac est située à cheval sur deux départements, les Alpes de Haute Provence et le Var. Les sessions de piégeage s’effectuent dans la baie à l’embouchure de la Maïre, cours d’eau tributaire, au nord-ouest du lac, sur la commune de Moustiers-Sainte-Marie (Alpes de

Haute Provence). Il s'agit d'une réserve d'eau potable et d'irrigation pour les territoires alentours et il fait l'objet d'une très forte fréquentation touristique lors de la saison estivale. La gestion hydrologique est effectuée par la société EDF (Électricité de France).

Le lac de Brunet possède une superficie de 0,02 km² et constitue une retenue collinaire en bordure de la rivière Asse avec laquelle il est connecté par la nappe souterraine. Il est situé sur la commune de Brunet (Alpes de Haute Provence) et constitue la ressource d'eau potable et d'irrigation du village. Contrairement à la retenue de Sainte-Croix, il ne possède pas un intérêt touristique mais est fréquenté par les pêcheurs. La gestion piscicole du site est assurée par l'association locale de pêche et de protection du milieu aquatique.

Le gobie à tache noire a été observé pour la première fois à Brunet en 2016, puis l'année suivante à Sainte-Croix. Bien que sa présence dans ces deux plans d'eau ne soit que de quelques années, son expansion a été très rapide et sa présence est désormais observée sur tout le pourtour des lacs.

b.3. Analyse et synthèse acoustique

Afin de construire les leurres acoustiques, une analyse acoustique préliminaire a été réalisée afin de caractériser les de vocalises de gobies à tache noire. Les paramètres acoustiques des vocalises ont été étudiés à partir d'une base de données réalisée sur une banque d'enregistrements de neuf mâles, réalisés en laboratoire, en réponse à la présentation d'une femelle. Les sons et la base de données acoustiques sont issus d'un précédent travail réalisé lors d'un stage de master à l'université de Windsor, au Canada (Beninati, 2019).

Les fichiers ne comportant qu'une pulsation ont été retirés afin de pouvoir mesurer des variables acoustiques rythmiques. Une analyse de variance (ANOVA), puis un test de Fisher, ont été réalisés sur chaque variable acoustique en fonction des neuf mâles à l'aide la fonction 'anova' de la librairie 'stats' sous R (version 4.1.3, R Core Team, 2022). Les variables étudiées sont le nombre de pulsations par séquence sonore, la durée moyenne inter-pulsations, la durée moyenne des pulsations, l'amplitude moyenne des pulsations, la fréquence moyenne des pulsations, l'amplitude de la première pulsation et la durée de la première pulsation. Les variables obtenant un résultat significatif au test de Fisher (p -value < 0,05) ont été conservées pour la suite des analyses. Les variables extraites à l'aide des ANOVA ont été introduites dans une analyse en composantes principales à laquelle a été ajouté l'indice de masse corporelle (IMC), calculé par le ratio du poids sur la taille au carré des individus.

Afin d'optimiser la qualité du son diffusé, un lure synthétique a été créé d'après les paramètres acoustiques de la base de donnée analysée. La pulsation de gobie a été synthétisée à partir d'une séquence de bonne qualité (ratio signal sur bruit levé, absence de parasites) issue de la banque de son de gobies canadiens. La structure acoustique du signal biologique a été mimée par une sinusoïdale à 50 Hz comportant un crescendo sur la première moitié et un decrescendo sur la seconde moitié. La durée de la pulsation et de l'écart interpulsation ainsi que le nombre de pulsations sont tirés aléatoirement dans la distribution de chaque paramètre, dans l'intervalle délimité par la moyenne, plus ou moins l'écart type. Un bruit blanc de faible amplitude a été généré par dessus les signaux synthétisés afin d'induire un mouvement continu de la membrane du haut parleur diffusant le son et ainsi faciliter la diffusion des pics d'amplitude.

Les spectres de différents signaux (synthétique, biologique et biologique filtré) ont été calculés à partir d'enregistrements faits en conditions naturelles avec un hydrophone (Aquarian Audio H2a),

placé à 1 m de la membrane avant du haut parleur, relié à un enregistreur numérique portable équipé d'une alimentation fantom de 48 V (Zoom H4n pro). Les fichiers audio sont sauvegardés au format .wav à un taux d'échantillonnage de 44100 Hz et un encodage de 16 octets.

La propagation du signal a été mesurée en calculant le ratio signal sur bruit (SNR – Signal to Noise Ratio) à différentes distances du haut parleur (5, 25, 50, 75, 100, 125, 150 cm). Les conditions et les paramètres d'enregistrements sont les mêmes que pour les mesures spectrales. Les SNR ont été calculés à partir des valeurs des moyennes quadratiques du signal et du bruit mesurées plusieurs fois sur des pulsations différentes. L'expression pour le calcul du ratio est la suivante :

$$SNR = 20 \times \log_{10} \left(\frac{|RMS_{signal}|}{RMS_{bruit}} \right)$$

avec

RMS_{signal} la moyenne quadratique de la pulsation

RMS_{bruit} la moyenne quadratique du bruit

L'ensemble des analyses et synthèse acoustiques ont été réalisées avec le logiciel R et le package 'seewave', version 2.2.0 (Sueur, 2018; Sueur et al., 2008).

b.4. Conception du dispositif de piégeage acoustique

Le dispositif expérimental du piégeage acoustique a été conçu afin de répondre à un cahier des charges élaboré dans une optique d'application de la méthode en tant que pratique de gestion ainsi qu'un budget maximal de 4 100,00 €. Le budget provient du financement participatif des différents acteurs du projet, dont les participations s'élèvent de 600,00 € à 1 500,00 €. Les contraintes les plus fortes concernent le système de diffusion audio. Le son doit pouvoir être diffusé de manière continue, fidèle, sous l'eau et durant une durée de plusieurs dizaines d'heures. De tels hauts parleurs n'existant pas sur le marché, une solution originale a dû être utilisée. Les hauts parleurs ont été réalisés à partir de pièces de tuyauterie en PVC et le son est produit par une enceinte vibrante alimentée par une batterie supplémentaire pour assurer l'autonomie nécessaire (Fig. 2).



Figure 2: Composants et assemblage du dispositif de diffusion acoustique subaquatique.

La réponse en fréquence de chaque haut parleur a été mesurée en bassin à 1 mètre devant et 1 mètre derrière l'enceinte. Un bruit blanc a été synthétisé avec le logiciel d'édition audio Audacity (version 3.1.3, Audacity Team, 2021) et diffusé par chaque enceinte à puissance maximale. Le signal a été réenregistré avec un hydrophone (Aquarian Audio H2a), relié à un enregistreur numérique portable équipé d'une alimentation fantom de 48 V (Zoom H4n). Les fichiers audio sont sauvegardés au format .wav à un taux d'échantillonnage de 44100 Hz et un encodage de 16 octets.

Les nasses utilisées sont constituées d'une structure pliable en forme de dôme de 30 cm de hauteur et 95 cm de diamètre et comportent huit manchons d'entrée. Le système de diffusion acoustique est fixé en haut à l'intérieur de la nasse (Fig. 3).



Figure 3: Dispositif expérimental de piégeage. Chaque nasse est équipée d'une enceinte subaquatique diffusant un leurre acoustique ou du silence. Les nasses comportent 8 entrées, mesurent 30 cm de hauteur et 95 cm de diamètre et possèdent un vide de maille de 2,5 mm.

b.5. Test du piégeage

Le test du piégeage consiste à évaluer la plus-value d'un leurre acoustique en comparaison à un appât alimentaire. Quatre traitements sont comparés. Certaines nasses contiennent (1) à la fois un leurre acoustique et un appât alimentaire, d'autres (2) uniquement un leurre acoustique, (3) uniquement un appât ou (4) rien. Le piégeage est expérimenté de juin à août 2022 à raison d'une session par site et par mois. Au total, trois sessions de 4 nuits de piégeage consécutives sont réalisées pour chaque site. Chaque jour les nasses sont disposées par blocs de 4, au alentours de 19h et sont relevées le matin suivant vers 9h. Chaque bloc de 4 nasses comporte une nasse par traitement, toutes positionnées sur une ligne parallèle au bord de l'eau, et espacées d'un mètre avec les autres nasses. Les nasses sont déployées à la main depuis le bord à différentes profondeurs et distances à la berge et la nature du substrat a été relevée. Les 3 blocs déployés sont déplacés chaque jour afin de ne pas piéger deux fois sur un même point au cours d'une même session, la distance minimale entre deux blocs étant de 10 m.

Le leurre acoustique est constitué d'une vocalise synthétique de 10 pulsations (Fig. 1 b) répétée en boucle durant toute la durée de déploiement des nasses. N'ayant pas la possibilité de régler

précisément le volume sonore directement sur l'enceinte, l'amplitude du signal est ajustée sur le fichier audio afin d'être de environ 10 dB au dessus du bruit de fond à 50 Hz à 1 m de l'enceinte en conditions naturelles. Les nasses dont le traitement ne comprend pas de leurre acoustique sont également équipées d'une enceinte mais diffusant du silence (i.e. fichier audio synthétisé, de même durée que le leurre, répété en boucle et dont tous les échantillons ont une amplitude de 0). Les appâts alimentaires sont composés de trois bouillettes « goût gammare » et trois bouillettes « goût moule d'eau douce » (Décathlon Caperlan NaturalSeed 500).

Lors de la relève des nasses, les gobies à tache noire sont systématiquement euthanasiés, leur statut reproducteur est déterminé. Six catégories de statut reproducteur ont été utilisées et identifiées d'après Charlebois et al. (2001) sur critères morphologiques : les mâles parentaux (PM), ayant un comportement de garde des pontes, les mâles parasites (SM), ayant un comportement de parasitage des pontes d'autres mâles, les mâles non reproducteurs (NRM), les femelles reproductrices (RF), les femelles non reproductrices (NRF) et les statuts indéterminés. La longueur totale du corps, la largeur de la tête et le poids sont aussi mesurés. Les autres espèces sont dénombrées, mesurées puis relâchées immédiatement ou euthanasiées si leur statut l'impose réglementairement. L'efficacité du piégeage est définie comme le nombre d'individus de gobie capturé dans une nasse. La spécificité est calculé par le ratio du nombre de gobies sur le nombre total d'individus capturés, toutes espèces confondues. La proportion d'individus reproducteurs de gobie à tache noire est calculée par le ratio du nombre de gobies reproducteurs (PM, SM et RF) sur le nombre total de gobies présents dans chaque nasse.

L'efficacité a été modélisée par un modèle linéaire généralisé avec pour effet fixes en interaction la présence d'un leurre et la présence d'un appât ainsi qu'un effet aléatoire du bloc, niché dans le site. Une fonction de lien logarithmique et une distribution binomiale négative des erreurs a été utilisée pour tenir compte d'une importante sur-dispersion des résidus en zéro même avec une distribution de Poisson. Les calculs ont été réalisés avec la fonction 'glmer.nb' du package 'lme4' (version 1.1-29).

La proportion d'individus reproducteurs ainsi que la spécificité ont été modélisées en tant que variables binomiales par un modèle linéaire généralisé avec pour effets fixes en interaction la présence d'un leurre et la présence d'un appât ainsi qu'un effet aléatoire du bloc, niché dans le site. Une fonction de lien logit et une distribution binomiale des erreurs a été utilisée. Les calculs ont été réalisés avec la fonction 'glmer' du package 'lme4' (version 1.1-29).

c. Résultats

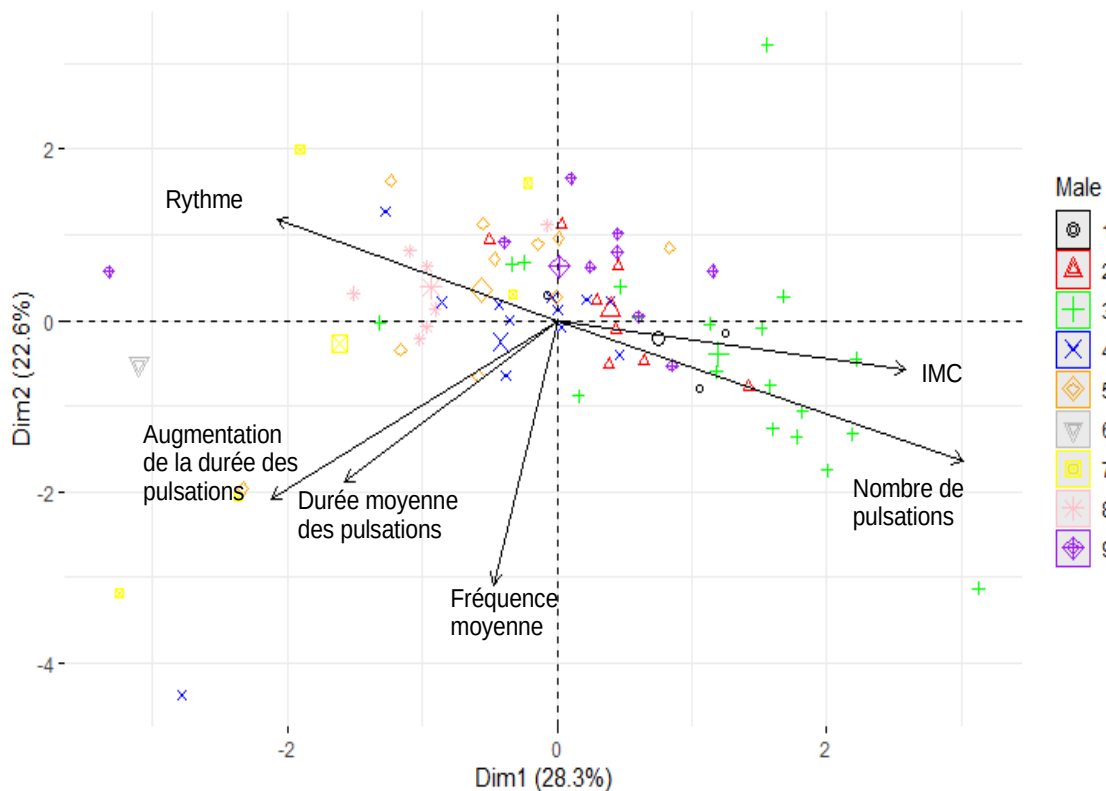
c.1. Analyse et synthèse acoustique

Les vocalises de gobie à tache noire issues de la banque de 215 sons de gobies canadiens sont composées de séries de 1 à 120 pulsations (moyenne = 3,8) dont la fréquence moyenne estimée par croisement de zéro au pic d'amplitude est de 93 Hz.

L'analyse de variance sur les paramètres acoustiques de vocalises de gobies montre un effet significatif du facteur 'mâle' de 5 variables sur les 12 étudiées (Tab. 1). Pour autant, l'analyse en composantes principales ne met pas en évidence de distinction claire entre mâles sur la base de ces variables significatives et de l'IMC (Fig. 4).

Tableau 1: Résultats des analyses de variance et des tests de Fisher pour chacune des variables acoustiques de vocalises de gobies à tache noire (*Neogobius melanostomus*) en fonction du mâle émetteur. Les variables en gras sont considérées comme ayant une variance inter-individuelle significativement plus importante que la variance intra-individuelle sur la base du test de Fisher, au seuil de 5 %.

	Carré moyen du facteur	Carré moyen des erreurs	F-ratio	p-value
Nombre de pulsations	2.704676e+02	8.179205e+01	3.3067714	0.001412312
Durée moyenne inter-pulsations	2.557408e-01	1.687117e-01	1.5158452	0.158421953
Durée moyenne des pulsations	1.732793e-02	7.788696e-03	2.2247530	0.026975512
Rythme	3.379118e+00	1.074683e+00	3.1442935	0.002864760
Modulation de la durée des pulsations	2.879912e-03	9.377925e-04	3.0709480	0.005112533
Modulation de l'amplitude des pulsations	3.627121e+04	4.299939e+04	0.8435285	0.567912747
Modulation du rythme	7.623876e-02	6.355332e-02	1.1996031	0.321697102
Amplitude moyenne	2.486534e+05	5.305649e+05	0.4686578	0.877309549
Fréquence moyenne	2.337103e+03	1.092256e+03	2.1397030	0.033614046
Fréquence de la première pulsation	2.494315e+03	1.887825e+03	1.3212634	0.234419315
Amplitude de la première pulsation	1.706729e+05	5.884093e+05	0.2900581	0.968736277
Durée de la première pulsation	1.640505e-02	9.876402e-03	1.6610348	0.109697526



Les paramètres acoustiques rythmiques de durée inter-pulsation et de durée des pulsations suivent des distributions normales de moyenne de 0,72 s et 0,14 s et d'écart type de 0,41 s et 0,09 s respectivement (Fig. 5).

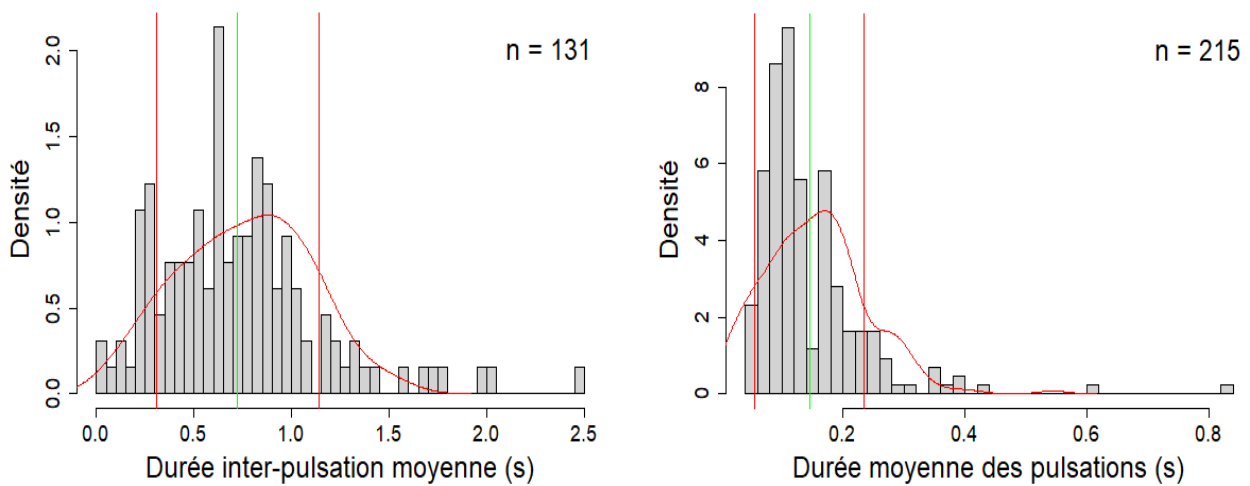


Figure 5: Analyse en composantes principales des variables acoustiques de vocalisations de gobie à tache noire (*Neogobius melanostomus*) dont la variance inter-individuelle est supérieure à la variance intra-individuelle et de l'indice de masse corporelle (IMC). L'IMC a été calculé pour chaque individu par le ratio de la masse sur la longueur élevée au carré. n = 74.

Les spectres des différents signaux acoustiques enregistrés à 1 m du haut-parleur en conditions naturelles montrent des pics de fréquence en fonction du leurre (Fig. 6). Le signal synthétique présente un pic d'amplitude autour de 50 Hz, correspondant au signal diffusé. Le signal biologique filtré présente ce même pic d'amplitude mais contient également d'autres pics sur des fréquences parasites, notamment autour de 100 Hz, 200 Hz et 400 Hz. Le signal biologique non filtré possède un profil similaire à un bruit sans qu'aucun pic de fréquence ne ressorte.

La propagation du signal synthétique a été représentée par l'évolution du ratio signal sur bruit en fonction de la distance à l'enceinte (Fig. 7).

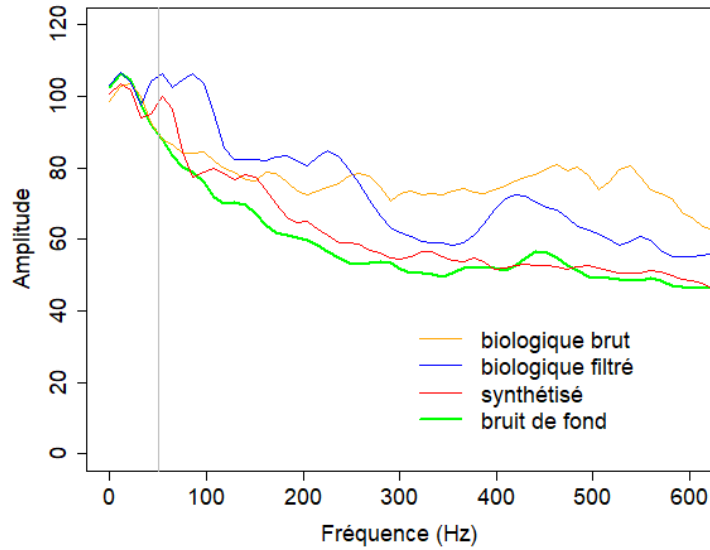


Figure 6: Spectres des leures acoustiques réenregistrés en conditions naturelles. Les leures biologiques sont des enregistrements de gobie à tache noire (*Neogobius melanostomus*) brut, ou filtré avec l'outil de réduction de bruit du logiciel Audacity (Audacity Team, 2019). Le leurre synthétisé est une reproduction d'une vocalise de gobie. La ligne verticale grise indique le pic de fréquence d'intérêt à 50 Hz. Les enregistrements ont été réalisés en conditions naturelles à 1 m de profondeur à l'aide d'un hydrophone (Aquarian Audio H2a) placé à 1 mètre de la membrane de l'enceinte. L'enregistrement a été effectué au format .wav, encodage de 16 bit, fréquence d'échantillonnage de 44100 Hz à l'aide d'un enregistreur numérique portable (Zoom H4n). Les spectres ont été calculés avec une fenêtre d'analyse spectrale de Hann de 1024 points et recouvrante de 50 %.

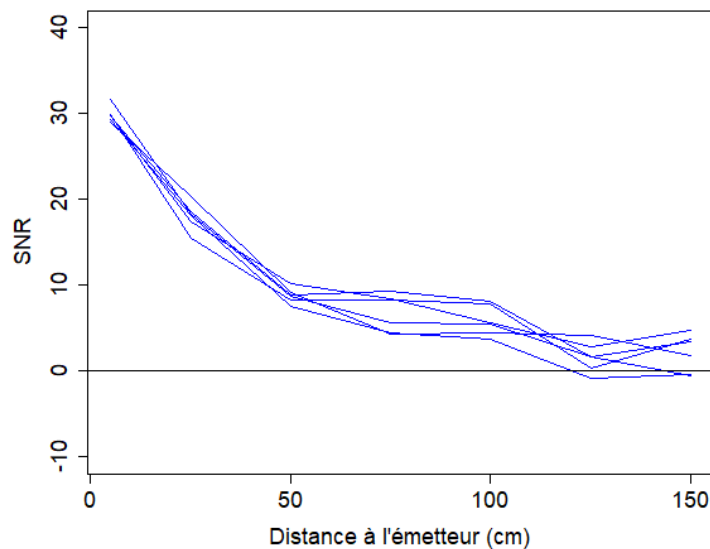


Figure 7: Évolution du ratio signal sur bruit (SNR - Signal to Noise Ratio) du leurre acoustique en fonction de la distance à l'émetteur. Les enregistrements ont été réalisés en conditions naturelles à 1 m de profondeur à l'aide d'un hydrophone (Aquarian Audio H2a) placé à 1 mètre de la membrane de l'enceinte. L'enregistrement a été effectué au format .wav, encodage de 16 bit, fréquence d'échantillonnage de 44100 Hz à l'aide d'un enregistreur numérique portable (Zoom H4n). Les enregistrements ont été effectués à l'aide d'un hydrophone (Aquarian Audio H2a) relié à un enregistreur numérique portable (Zoom H4n).

c.2. Dispositif de piégeage acoustique

Le coût total de l'achat des composants pour la construction de 14 dispositifs de piégeage acoustique s'élève à 1 970,18 € (Tab. 2). À ce prix s'ajoute quelques consommables (colle, papier de verre, graisse à joint) dont le coût est estimé à environ 70,00 € pour 14 nasses, ainsi que la main d'œuvre, nécessaire à l'assemblage des enceintes.

Tableau 2: Bilan financier d'acquisition du matériel pour la fabrication de 14 dispositifs de piégeage avec enceinte subaquatique.

Article	Quantité	Cout global	Cout unitaire
Nasses	14	224,00 €	16,00 €
Manchon PVC	14	50,26 €	3,59 €
Tampons de visite PVC	28	204,40 €	7,30 €
Enceinte vibrante	14	725,00 €	51,79 €
Batteries secondaires (+14 chargeurs USB)	28	702,00 €	25,07 €
Cartes SD 32GB	14	65,52 €	4,68 €
Total		1 971,18 €	108,43 €

Les tests des enceintes diffusant du bruit blanc en conditions contrôlées, malgré des fluctuations d'amplitude en fonction de la fréquence, ne montrent pas de différences spectrales nettes en fonction de la face du haut parleur (Fig. 8).

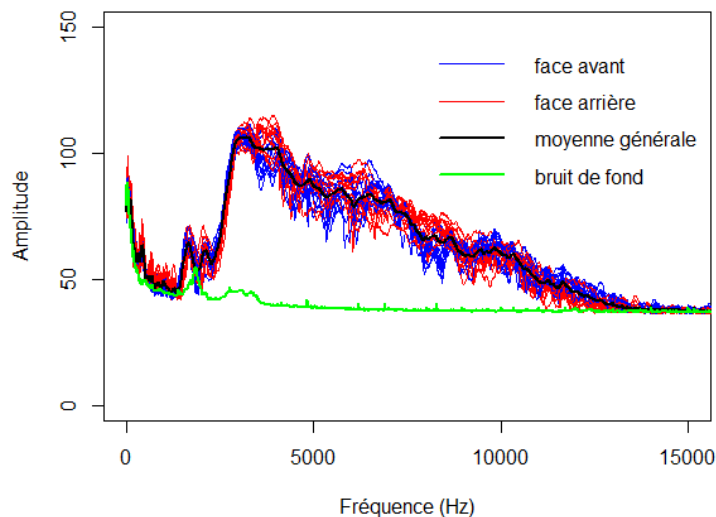


Figure 8: Spectres de réponse fréquentielle des 12 enceintes subaquatiques lors de l'émission d'un bruit blanc. Les enregistrements ont été réalisés en bassin circulaire de 150 cm de diamètre, à l'aide d'un hydrophone (Aquarian Audio H2a) placé à 1 mètre de la membrane de l'enceinte. L'enregistrement a été effectué au format .wav, encodage de 16 bit, fréquence d'échantillonnage de 44100 Hz à l'aide d'un enregistreur numérique portable (Zoom H4n). Les spectres ont été calculés avec une fenêtre d'analyse spectrale de Hann de 1024 points et recouvrante de 50 %.

c.3. Résultats du piégeage

Sur les aspects techniques et logistiques, le piégeage acoustique nécessite de porter une attention toute particulière à l'entretien du matériel. Le faible coût des dispositifs implique une qualité moindre des matériels qui les composent, en particulier des nasses et des enceintes vibrantes. Ce défaut de robustesse du matériel implique un entretien minutieux pour assurer un maintien dans le temps de l'étanchéité et de la fonctionnalité des enceintes et de la durabilité des nasses (structure pliable et filets). Cet entretien est assez coûteux en temps (1 heure pour un opérateur et 12 enceintes) et augmente proportionnellement au nombre de dispositifs déployés.

Concernant les résultats de piégeage, au total, 196 gobies ont été capturés durant les deux premières sessions de piégeage dont 46 à Brunet et 150 à Sainte-Croix (Fig. 9 a).

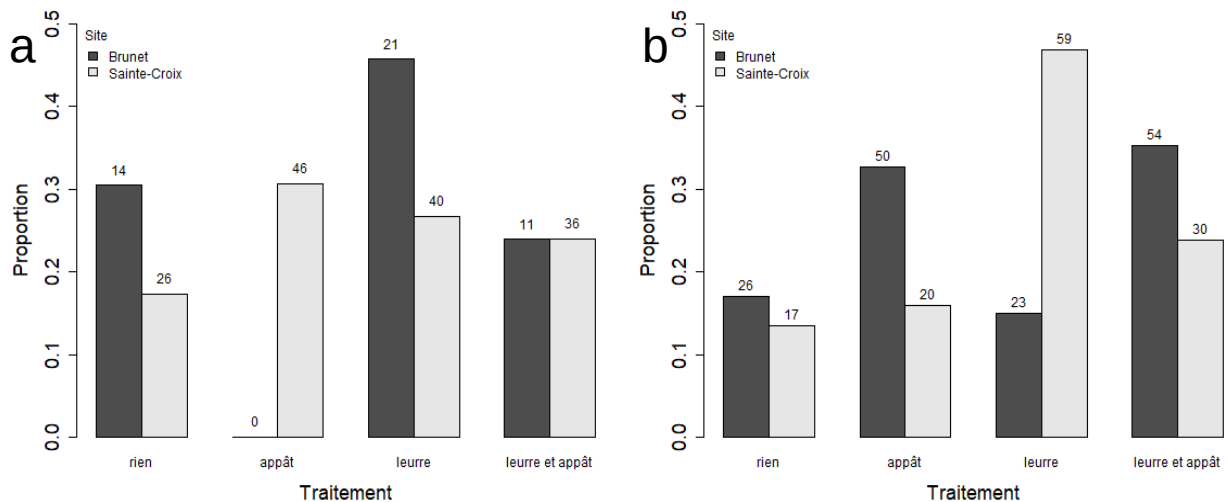


Figure 9: Distributions des quantités de (a) gobies et (b) d'espèces non ciblées capturés par site pour chaque modalité de traitement. Les barres sont en proportions du nombre total d'individus capturés par site, les chiffres indiquent les quantités absolues. Le traitement 'leurre' désigne le leurre acoustique et le traitement 'appât' désigne les appâts alimentaires.

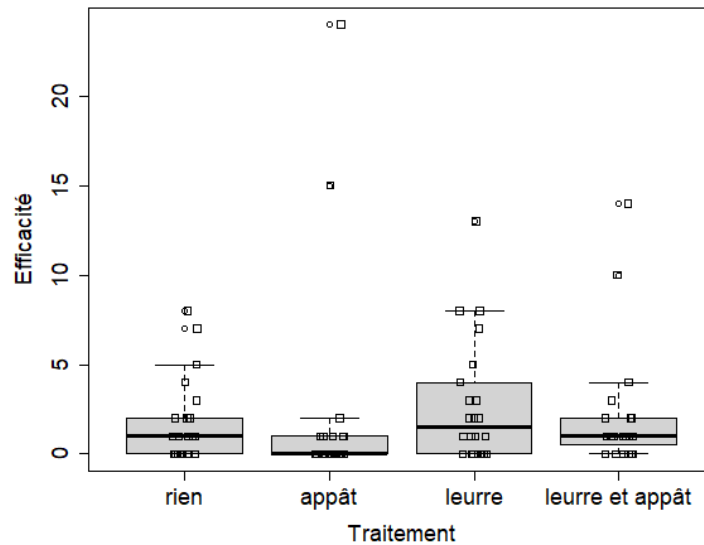


Figure 10: Efficacités du piégeage du gobie à tache noire (*Neogobius melanostomus*) selon quatre modalités de capture. L'efficacité est définie comme le nombre d'individus capturés par nasse. Le traitement 'leurre' désigne le leurre acoustique et le traitement 'appât' désigne les appâts alimentaires. n=92.

Il n'y a pas d'effet significatif des traitements sur l'efficacité du piégeage par rapport au traitement témoin (Fig. 10), ni du leurre acoustique (pente (b) = 0,6218 ; p-value (p) = 0,134 ; glmer), ni de l'appât alimentaire (b = -0,3844 ; p = 0,134 ; glmer), ni de l'interaction des deux (b = -0,2341 ; p = 0,698 ; glmer).

Il y a un effet significatif positif (b = 1,1474 ; p = 0,0264 ; glmer) du leurre acoustique sur la proportions d'individus reproducteurs capturés par rapport au témoin, mais aucun effet significatifs de l'appât (b = 0,6343 ; p = 0,2576 ; glmer) ou de l'interaction des traitements (b = -0,9514 ; p = 0,1754 ; glmer) (Fig.11).

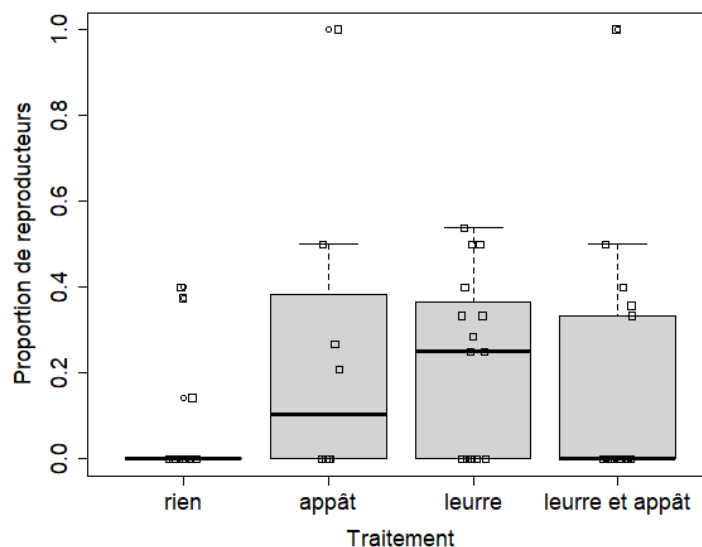


Figure 11: Proportions d'individus reproducteurs de gobies à tache noire (*Neogobius melanostomus*) capturés selon quatre modalités de capture. La proportion d'individus reproducteurs est calculée sur le nombre total de gobies capturés. Le traitement 'leurre' désigne le leurre acoustique et le traitement 'appât' désigne les appâts alimentaires. n=55.

D'autres espèces ont été capturées dans les nasses, sur l'ensemble des deux sessions, les prises accessoires ont été constituées de poissons, *Lepomis gibbosus* (n=141), *Perca fluviatilis* (n=49), *Rutilus rutilus* (n=6), *Scardinius erythrophthalmus* (n=3), *Esox lucius* (n=2) et *Micropterus salmoides* (n=1) et de décapodes, *Procambarus clarkii* (n=149), *Faxonius limosus* (n=6) (Fig. 9 b).

Il y a une tendance négative ($b = -0,8043$; $p = 0,0622$; glmer) de l'appât alimentaire sur la spécificité de la capture, mais aucun effet significatif du leurre ($b = 0,4385$; $p = 0,2616$; glmer), ni de l'interaction des traitements ($b = -0,2180$; $p = 0,6905$; glmer) (Fig. 12).

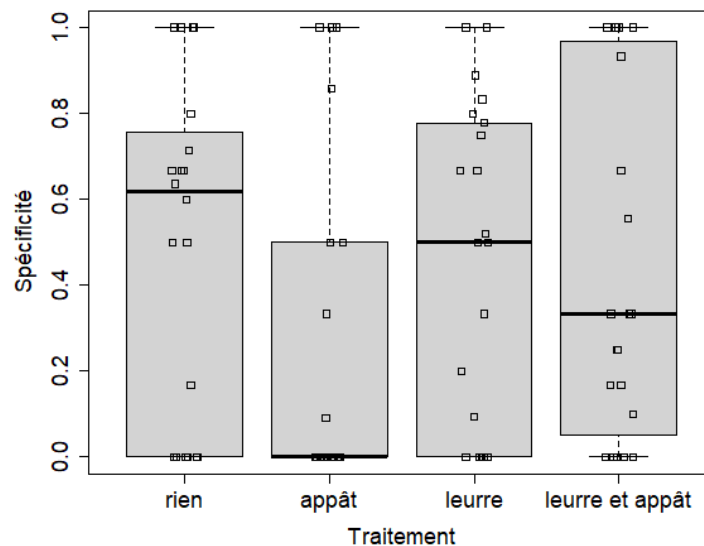


Figure 12: Spécificités du piégeage du gobie à tache noire (*Neogobius melanostomus*) selon quatre modalités de capture. La spécificité est définie comme le ratio de la quantité de gobies capturés sur le nombre total d'individus capturés, toutes espèces confondues. Le traitement 'leurre' désigne le leurre acoustique et le traitement 'appât' désigne les appâts alimentaires. n=85.

d. Discussion

Les résultats de piégeage présentés dans le présent rapport sont préliminaires. Ce rapport étant réalisé avant la fin de l'expérimentation, seul le tiers des données prévues a pu être récolté et analysé à ce jour. Aussi les résultats sont à considérer avec précaution et pourront être précisés avec davantage de données à la fin de cette étude.

Contrairement à notre hypothèse de départ, nous n'avons pas trouvé d'effet significatif de la méthode de piégeage (i.e. du traitement utilisé) sur la quantité de gobies capturés. Néanmoins, le leurre acoustique permet d'augmenter significativement la proportion d'individus reproducteurs capturés par rapport aux nasses vides. Ce résultat est conforme à nos prédictions sur l'attractivité des signaux pour les individus reproducteurs. Les signaux diffusés étant des vocalises émises par les mâles dans un contexte de reproduction, pour l'attraction de partenaires (Rollo et al., 2007), il est cohérent que les femelles reproductrices soient attirées, mais aussi que les mâles parasites et les mâles parentaux le soient. Ces deux derniers statuts reproducteurs peuvent être attirés par l'indication de pontes à parasiter ou de concurrent à proximité (Isabella-Valenzi and Higgs, 2013; Rollo et al., 2007). Bien qu'il soit pour l'instant préliminaire, ce constat est particulièrement intéressant. Le gobie étant une espèce ayant une reproduction importante et fréquente (stratégie démographique de type 'r') la

suppression des individus reproducteurs peut s'avérer être une solution de régulation efficace (Charlebois et al., 1997). À l'inverse, l'expérience de piégeage par leurre acoustique menée au Canada par Isabella-Valenzi et Higgs (2016) avait conduit à la capture majoritaire d'individus non reproducteurs. Leurs résultats avaient été expliqués par une écoute clandestine pour localiser la ressource alimentaire que constituent les œufs. Quoi qu'il en soit, lors de leur étude, Isabella-Valenzi et Higgs (2016) avaient constaté des variations de l'efficacité du piégeage en fonction du mois. Ce constat pourrait aussi se présenter dans la suite de notre étude.

Les appâts alimentaires, quant à eux, ont tendance à diminuer la spécificité du piégeage. Cela va dans le sens de notre hypothèse de départ. Les appâts alimentaires sont également appétants pour d'autres espèces que le gobie.

N'ayant pas à disposition d'enregistrements acoustiques de gobies locaux, la base du travail des leures acoustiques a été réalisé avec une banque de sons de gobies canadiens (Beninati, 2019). L'analyse de cette base de données a permis de documenter la variabilité des paramètres acoustiques des vocalises de gobies. Bien que certains travaux aient pu montrer une certaine honnêteté (i.e. information acoustique fiable représentant l'état morphologique ou physiologique de l'individu émetteur) des signaux de gobies par rapport à des caractéristiques morphologiques (e.g. Donovan, 2015), nous n'avons pas pu identifier de distinctions acoustiques claires entre les différents mâles enregistrés. Ainsi, en l'absence d'*a priori* robuste sur les différences d'attractivité selon les paramètres acoustiques ou morphologiques, le leurre a été construit avec des paramètres acoustiques moyens. Cependant, on peut se questionner sur la représentativité des signaux de la banque de sons de gobies canadiens. Seuls 9 mâles ont été enregistrés et leurs réponses n'ont été provoquées qu'à la présentation de deux femelles. Aussi il convient de rester méfiants en extrapolant ces paramètres à plus large échelle. Cette précaution se justifie également sur le fait que les deux populations de gobies (celle dont proviennent les gobies enregistrés et celle ciblée par le piégeage) sont très distantes et peuvent ne pas partager les mêmes caractéristiques, d'autant plus que sur des populations issues d'un faible nombre d'individus pionniers, des phénomènes de goulot d'étranglement peuvent se produire (Blackburn et al., 2015). Ces phénomènes induisent une sélection génétique dont les conséquences sur la production et l'utilisation des sons pour la communication interindividuelle ne sont pas connues *a priori*.

Le choix de la nature du leurre s'appuie sur les tests de diffusion en conditions naturelles. Le leurre synthétique permet de limiter fortement les fréquences et bruits parasites sur le son diffusé et par conséquent, sur le son émis. Par ailleurs, l'amplitude des sons synthétiques est plus facilement adaptable au niveau de bruit de fond, en comparaison des nombreuses variations temporelles et spectrales d'amplitude des sons biologiques enregistrés qui, même après normalisation provoquent des effets de saturation. Considérant la simplicité des vocalises de gobies, le leurre synthétique constitue une reproduction relativement fiable des sons biologiques. Néanmoins, pour ajouter de la robustesse à la démarche d'analyse des signaux et de construction du leurre acoustique, une étape préliminaire de tests comportementaux serait pertinente. Ces tests pourraient prendre la forme d'expériences de playback où différents signaux pourraient être diffusés successivement et l'attraction des gobies en fonction du signal mesurée à l'aide de dispositifs de capture vidéo.

Malgré des résultats non significatifs, deux constats sont surprenants, et seront inspectés avec attention lorsque davantage de données auront été collectées. Le premier est que, contrairement à nos attentes, la spécificité du traitement acoustique seul ne semble pas différer de la spécificité des autres méthodes. Ce constat peut être expliqué également par un comportement d'écoute clandestine des vocalises de gobie afin de localiser et consommer les pontes. Ce comportement a été évoqué chez le gobie à tache noire lui-même (Isabella-Valenzi and Higgs, 2016; Yavno et al., 2011) mais pourrait être présent entre espèces, tel que cela a déjà été montré (Lea et al., 2008).

Le second constat est que, toujours contrairement à nos attentes, la combinaison du leurre acoustique et de l'appât alimentaire n'augmente pas significativement la capture totale de gobies et que aucun gobie n'a été capturé à Brunet avec les appâts alimentaires seuls. Cette observation attire notre attention sur un possible effet de la présence d'autres espèces sur la capture du gobie. La capture de gobies pourrait être diminuée en présence d'autres espèces, notamment carnassières telles que les écrevisses, très présentes à Brunet. Cette hypothèse pourra être testée par un test de corrélation.

Une variable supplémentaire pertinente à prendre en compte pour modéliser l'efficacité du piégeage serait l'abondance de gobies à l'endroit de pose du piège. La quantité de gobies capturés semble en effet liée à la densité de la population (comm. pers.), ce qui pourrait être une piste d'explication concernant le nombre de gobies capturés bien moins important sur le site de Brunet que sur Sainte-Croix, où les gobies semblent beaucoup plus nombreux. Cet effet de l'abondance sur l'efficacité du piégeage a déjà été mis en évidence sur d'autres espèces (Morson et al., 2018; Trenkel and Skaug, 2005). Cette réflexion amène la question de la pertinence de la méthode pour un stade d'invasion précoce, qui constitue le stade où le succès des méthodes de lutte contre l'invasion est généralement le plus faisable (DiTomaso et al., 2017). Si l'efficacité du piégeage s'avère moins importante dans le cas de populations peu denses, la méthode n'est peut être pas pertinente pour les premiers stades d'invasion. Il serait intéressant d'évaluer le piégeage en proportion d'individus capturés sur l'effectif total de la population. Il faudrait pour cela pouvoir évaluer l'abondance, ce qui se présente compliqué.

Le test du piégeage acoustique dans des conditions proches de celles pouvant être rencontrées dans le cadre d'actions de gestion a montré que ce était possible de mettre en place la méthode à moindre coût et logiquement réaliste. Pour environ 100 € par dispositif, nous avons pu concevoir un système fonctionnel de piégeage acoustique. La diffusion sonore en continu est possible durant une période minimale de 15 heures ce qui permet un déploiement des nasses une nuit entière. Les systèmes sont entièrement autonomes et ne nécessitent pas d'apport de courant externe, ce qui facilite le déploiement en milieu naturel. Enfin, le coût du dispositif acoustique est bien moins élevé que le matériel que l'on peut trouver sur le marché (e.g. UW30 Underwater Speaker, Lubell Labs) pouvant atteindre plusieurs centaines d'euros sans le système d'alimentation et de lecture du son. Néanmoins, si le volume d'émission sonore de notre dispositif a été suffisant pour notre étude, il pourrait s'avérer insuffisant pour d'autres applications. La réponse en fréquence lors de la diffusion d'un bruit blanc montre des amplitudes variables (Fig. 8). Néanmoins cette forme de spectre peut être due au haut parleur lui-même, mais également au reste de la chaîne de transmission (milieu, hydrophone, enregistreur). L'enregistreur numérique en particulier peut présenter une balance des fréquences adaptée à son utilisation originale (i.e. l'enregistrement de musique).

Cette étude a permis de tester en conditions réelles l'efficacité et la faisabilité d'une méthode de piégeage acoustique du gobie à tache noire. Cette expérimentation est la première de ce type dans le sud de la France, où la présence du gobie a été reportée récemment. Au delà de l'aspect scientifique et technique de la démarche, le projet a permis de faire travailler différents acteurs (associatifs, académiques, institutionnels) sur un projet commun à propos de la thématique du gobie. Ce premier projet multipartenarial aura permis d'initier une communication ainsi que la coopération sur la problématique et ainsi préparé le terrain afin d'accélérer les futures prises de décisions quant à la prévention et à la gestion de la propagation du gobie dans la région. Ces aspects, pourtant très importants dans la lutte contre les espèces invasives sont souvent sous estimés (DiTomaso et al., 2017).

Nous avons pu montrer des résultats préliminaires mettant en évidence des différences entre les méthodes de capture. Néanmoins, nous nous sommes concentrés sur l'efficacité du piégeage lui même sans évaluer son effet écologique. Pour que le piégeage soit efficace écologiquement, il faudrait probablement qu'une grande proportion d'individus de la population, ou d'une catégorie d'individus, soient capturés. Dans le cadre d'une application en gestion, l'effet écologique devrait également être comparé aux coûts économiques impliqués. Ces coûts regroupent à la fois le coût du matériel, mais également le temps de travail nécessaire au déploiement et à la relève des nasses. Ces aspects sont des pistes intéressantes à développer dans une future étude, et permettraient d'apporter des éléments complémentaires afin de guider les mesures de gestion.

e. Bibliographie

- Amorim, M.C., 2006. Diversity of sound production in fish, in: *Communication in Fishes*. pp. 71–105.
- Assemblée Nationale, 2019. Réponse à la question N° 17205 de M. Jean-Luc Warsmann (UDI, Agir et Indépendants - Ardennes).
- Bampfylde, C.J., Peters, J.A., Bobeldyk, A.M., 2010. A literature analysis of freshwater invasive species research: are empiricists, theoreticians, and economists working together? *Biol Invasions* 12, 1207–1219. <https://doi.org/10.1007/s10530-009-9540-2>
- Bellard, C., Cassey, P., Blackburn, T.M., 2016. Alien species as a driver of recent extinctions. *Biol. Lett.* 12, 20150623. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2015.0623>
- Beninati, V., 2019. Inter individual differences in the acoustic production of round goby males (*Neogobius melanostomus*).
- Blackburn, T.M., Lockwood, J.L., Cassey, P., 2015. The influence of numbers on invasion success. *Mol Ecol* 24, 1942–1953. <https://doi.org/10.1111/mec.13075>
- Blackburn, T.M., Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, J.T., Duncan, R.P., Jarošík, V., Wilson, J.R.U., Richardson, D.M., 2011. A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution* 26, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.03.023>
- Bruno, C., Caserta, V., Salzeri, P., Ferraro, G.B., Pecoraro, F., Lucchetti, A., Boitani, L., Blasi, M.F., 2021. Acoustic deterrent devices as mitigation tool to prevent dolphin-fishery interactions in the Aeolian Archipelago (Southern Tyrrhenian Sea, Italy). *Mediterranean Marine Science* 22, 408–421. <https://doi.org/10.12681/mms.23129>
- Butchart, S.H.M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J.P.W., Almond, R.E.A., Baillie, J.E.M., Bomhard, B., Brown, C., Bruno, J., Carpenter, K.E., Carr, G.M., Chanson, J., Chenery, A.M., Csirke, J., Davidson, N.C., Dentener, F., Foster, M., Galli, A., Galloway, J.N., Genovesi, P., Gregory, R.D., Hockings, M., Kapos, V., Lamarque, J.-F., Leverington, F., Loh,

- J., McGeoch, M.A., McRae, L., Minasyan, A., Morcillo, M.H., Oldfield, T.E.E., Pauly, D., Quader, S., Revenga, C., Sauer, J.R., Skolnik, B., Spear, D., Stanwell-Smith, D., Stuart, S.N., Symes, A., Tierney, M., Tyrrell, T.D., Vié, J.-C., Watson, R., 2010. Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines. *Science* 328, 1164–1168. <https://doi.org/10.1126/science.1187512>
- Castañeda, R.A., Mandrak, N.E., Barrow, S., Weyl, O.L.F., 2020. Occupancy dynamics of rare cyprinids after invasive fish eradication. *Aquatic Conserv: Mar Freshw Ecosyst* 30, 1424–1436. <https://doi.org/10.1002/aqc.3364>
- Chapman, D.S., Gunn, I.D.M., Pringle, H.E.K., Siriwardena, G.M., Taylor, P., Thackeray, S.J., Willby, N.J., Carvalho, L., 2020. Invasion of freshwater ecosystems is promoted by network connectivity to hotspots of human activity. *Global Ecol Biogeogr* 29, 645–655. <https://doi.org/10.1111/geb.13051>
- Charlebois, P.M., Corkum, L.D., Jude, D.J., Knight, C.T., 2001. The Round Goby (*Neogobius melanostomus*) Invasion: Current Research and Future Needs. *J Great Lakes Res* 27, 263–266. [https://doi.org/10.1016/s0380-1330\(01\)70641-7](https://doi.org/10.1016/s0380-1330(01)70641-7)
- Charlebois, P.M., Marsden, J.E., Goettel, R.G., Wolfe, R.K., Jude, D.J., Rudnika, S., 1997. The round goby, *Neogobius melanostomus* (Pallas) : a review of European and North American literature. Illinois-Indiana Sea Grant Program and Illinois Natural History Survey.
- Chotkowski, M.A., Marsden, J.E., 1999. Round Goby and Mottled Sculpin Predation on Lake Trout Eggs and Fry: Field Predictions from Laboratory Experiments. *Journal of Great Lakes Research* 25, 26–35. [https://doi.org/10.1016/s0380-1330\(99\)70714-8](https://doi.org/10.1016/s0380-1330(99)70714-8)
- Commission Européenne, 2017. Règlement d'exécution (ue) 2017/1263 de la commission du 12 juillet 2017 portant mise à jour de la liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'union établie par le règlement d'exécution (ue) 2016/1141 conformément au règlement (ue) no 1143/2014 du parlement européen et du conseil.
- Commission Européenne, 2016. Règlement d'exécution (UE) 2016/1141 de la Commission du 13 juillet 2016 adoptant une liste des espèces exotiques envahissantes préoccupantes pour l'Union conformément au règlement (UE) n° 1143/2014 du Parlement européen et du Conseil.
- Conseil de l'Europe, 2014. Règlement (ue) n o 1143/2014 du parlement européen et du conseil du 22 octobre 2014 relatif à la prévention et à la gestion de l'introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes.
- Corkum, L.D., Sapota, M.R., Skora, K.E., 2004. The Round Goby, *Neogobius melanostomus*, a Fish Invader on both sides of the Atlantic Ocean. *Biological Invasions* 6, 173–181. <https://doi.org/10.1023/B:BINV.0000022136.43502.db>
- Costa, M.J., Duarte, G., Segurado, P., Branco, P., 2021. Major threats to European freshwater fish species. *Science of The Total Environment* 797, 149105. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149105>
- Crowl, T.A., Crist, T.O., Parmenter, R.R., Belovsky, G., Lugo, A.E., 2008. The spread of invasive species and infectious disease as drivers of ecosystem change. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6, 238–246. <https://doi.org/10.1890/070151>
- DiTomaso, J.M., Van Steenwyk, R.A., Nowierski, R.M., Vollmer, J.L., Lane, E., Chilton, E., Burch, P.L., Cowan, P.E., Zimmerman, K., Dionigi, C.P., 2017. Enhancing the effectiveness of biological control programs of invasive species through a more comprehensive pest management approach: Enhancing biological control programs with a more comprehensive IPM approach. *Pest. Manag. Sci.* 73, 9–13. <https://doi.org/10.1002/ps.4347>
- Donovan, M., 2015. The roles of individual variation and female choice in round goby (*Neogobius melanostomus*) acoustic signalling.
- Dudgeon, D., 2020. *Freshwater Biodiversity: Status, Threats and Conservation*, 1st ed. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781139032759>
- Dudgeon, D., 2019. Multiple threats imperil freshwater biodiversity in the Anthropocene. *Current Biology* 29, R960–R967. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.08.002>

- Early, R., Bradley, B.A., Dukes, J.S., Lawler, J.J., Olden, J.D., Blumenthal, D.M., Gonzalez, P., Grosholz, E.D., Ibañez, I., Miller, L.P., Sorte, C.J.B., Tatem, A.J., 2016. Global threats from invasive alien species in the twenty-first century and national response capacities. *Nat Commun* 7, 12485. <https://doi.org/10.1038/ncomms12485>
- Ellis, S., Macisaac, H.J., 2009. Salinity tolerance of Great Lakes invaders. *Freshwater Biology* 54, 77–89. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02098.x>
- Gordon, T.A.C., Radford, A.N., Davidson, I.K., Barnes, K., McCloskey, K., Nedelec, S.L., Meekan, M.G., McCormick, M.I., Simpson, S.D., 2019. Acoustic enrichment can enhance fish community development on degraded coral reef habitat. *Nat Commun* 10, 5414. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-13186-2>
- Greenhalgh, J., Genner, M.J., Jones, G., Desjonquères, C., 2020. The role of freshwater bioacoustics in ecological research. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water* 7. <https://doi.org/10.1002/wat2.1416>
- Gutiérrez, J.L., Jones, C.G., Sousa, R., 2014. Toward an integrated ecosystem perspective of invasive species impacts. *Acta Oecologica* 54, 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2013.10.003>
- Higgs, D.M., Humphrey, S.R., 2020. Passive acoustic monitoring shows no effect of anthropogenic noise on acoustic communication in the invasive round goby (*Neogobius melanostomus*). *Freshw Biol* 65, 66–74. <https://doi.org/10.1111/fwb.13392>
- Hirsch, P.E., N'Guyen, A., Adrian-Kalchhauser, I., Burkhardt-Holm, P., 2016. What do we really know about the impacts of one of the 100 worst invaders in Europe? A reality check. *Ambio* 45, 267–279. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0718-9>
- Isabella-Valenzi, L., Higgs, D.M., 2016. Development of an acoustic trap for potential round goby (*Neogobius melanostomus*) management. *J Great Lakes Res* 42, 904–909. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2016.05.004>
- Isabella-Valenzi, L., Higgs, D.M., 2013. Sex- and state-dependent attraction of round gobies, *Neogobius melanostomus*, to conspecific calls. *Behav* 150, 1509–1530. <https://doi.org/10.1163/1568539X-00003107>
- Jude, D.J., Reider, R.H., Smith, G.R., 1992. Establishment of gobiidae in the great lakes basin. *Can J Fish Aquat Sci* 49, 416–421. <https://doi.org/10.1139/f92-047>
- Kornis, M.S., Mercado-Silva, N., Vander Zanden, M.J., 2012. Twenty years of invasion: a review of round goby *Neogobius melanostomus* biology, spread and ecological implications. *J Fish Biol* 80, 235–285. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.03157.x>
- Kornis, M.S., Sharma, S., Zanden, M.J.V., 2013. Invasion success and impact of an invasive fish, round goby, in Great Lakes tributaries. *Diversity and Distributions* 19, 184–198. <https://doi.org/10.1111/ddi.12001>
- Larson, D.L., Phillips-Mao, L., Quiram, G., Sharpe, L., Stark, R., Sugita, S., Weiler, A., 2011. A framework for sustainable invasive species management: Environmental, social, and economic objectives. *Journal of Environmental Management* 92, 14–22. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.025>
- Lea, A.J., Barrera, J.P., Tom, L.M., Blumstein, D.T., 2008. Heterospecific eavesdropping in a nonsocial species. *Behavioral Ecology* 19, 1041–1046. <https://doi.org/10.1093/beheco/arn064>
- Leprieur, F., Beauchard, O., Blanchet, S., Oberdorff, T., Brosse, S., 2008. Fish Invasions in the World's River Systems: When Natural Processes Are Blurred by Human Activities. *PLoS Biol* 6, e28. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0060028>
- Lutz, E., Hirsch, P.E., Bussmann, K., Wiegler, J., Jermann, H., Muller, R., Burkhardt-Holm, P., Adrian-Kalchhauser, I., 2020. Predation on native fish eggs by invasive round goby revealed by species-specific gut content DNA analyses. *Aquatic Conservation-marine and Freshwater Ecosystems* 30, 1566–1577. <https://doi.org/10.1002/aqc.3409>
- Mace, G., Masundire, H., Baillie, J., 2005. Biodiversity, in: Hassan, R.M., Scholes, R., Ash, N. (Eds.), *Ecosystems and Human Well-Being: Current State and Trends*. Island Press, Washington, DC.

- Manné, S., Poulet, N., Dembski, S., 2013. Colonisation of the Rhine basin by non-native gobiids: an update of the situation in France. *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.* 02. <https://doi.org/10.1051/kmae/2013069>
- Meunier, B., Yavno, S., Ahmed, S., Corkum, L.D., 2009. First documentation of spawning and nest guarding in the laboratory by the invasive fish, the round goby (*Neogobius melanostomus*). *J Great Lakes Res* 35, 608–612. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2009.08.012>
- Morson, J.M., Munroe, D.M., Ashton-Alcox, K.A., Powell, E.N., Bushek, D., Gius, J., 2018. Density-dependent capture efficiency of a survey dredge and its influence on the stock assessment of eastern oysters (*Crassostrea virginica*) in Delaware Bay. *Fisheries Research* 205, 115–121. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2018.04.012>
- Muller, B.J., Schwarzkopf, L., 2018. Relative effectiveness of trapping and hand-capture for controlling invasive cane toads (*Rhinella marina*). *International Journal of Pest Management* 64, 185–192. <https://doi.org/10.1080/09670874.2017.1363443>
- Pimentel, D., Zuniga, R., Morrison, D., 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics* 52, 273–288. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.10.002>
- Preble, J.H., Vincenot, C.E., Hill, D.A., Ohte, N., 2021. Capturing endangered endemic Okinawan bats with acoustic lures. *Journal for Nature Conservation* 64, 126074. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2021.126074>
- Préfet des Alpes de Haute Provence, 2019. Arrêté préfectoral n° 2019-1m- mil autorisant la direction interrégionale provence alpes côte d’azur et corse de l’agence française pour la biodiversité à aix-en-provence (13547) à réaliser des pêches à des fins sanitaires, scientifiques et écologiques (capture et transport) dans les cours d’eau, canaux et plans d’eau du département des alpes de haute-provence, de 2019 à 2023.
- Putland, R.L., Mensinger, A.F., 2019. Acoustic deterrents to manage fish populations. *Rev Fish Biol Fisheries* 29, 789–807. <https://doi.org/10.1007/s11160-019-09583-x>
- République Française, 2019. Sous-section 2 : Prévention de l’introduction et de la propagation des espèces exotiques envahissantes (Articles L411-5 à L411-7) - Légifrance, in: Code de l’environnement.
- République Française, 2016. Section 4 : Contrôle des peuplements (Articles L432-10 à L432-12) - Légifrance, in: Code de l’environnement.
- République Française, 1985. Arrêté du 17 décembre 1985 fixant la liste des espèces de poissons, de crustacés et de grenouilles représentées dans les eaux visées à l’article 413 du code rural.
- Richardson, D.M., Pyšek, P., 2008. Fifty years of invasion ecology - the legacy of Charles Elton: The legacy of Charles Elton. *Diversity and Distributions* 14, 161–168. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2007.00464.x>
- Rollo, A., Andraso, G., Janssen, J., Higgs, D., 2007. Attraction and localization of round goby (*Neogobius melanostomus*) to conspecific calls. *Behav* 144, 1–21. <https://doi.org/10.1163/156853907779947391>
- Rollo, A.K., 2006. Sound localization and auditory response capabilities in the round goby (*Neogobius melanostomus*). *Library and Archives Canada = Bibliothéque et Archives Canada, Ottawa.*
- Rollo, A.K., Higgs, D.M., 2005. Sound localization and auditory response capabilities in round goby (*Neogobius melanostomus*), in: *The Journal of the Acoustical Society of America.* pp. 2467–2467. <https://doi.org/10.1121/1.4787401>
- Sa-a, P., Reyes, R., n.d. *Neogobius melanostomus*, Round goby : fisheries, aquarium, bait [WWW Document]. *FishBase.* URL <https://www.fishbase.se/summary/Neogobius-melanostomus.html> (accessed 5.11.22).
- Schreier, T.M., Dawson, V.K., Larson, W., 2008. Effectiveness of Piscicides for Controlling Round Gobies (*Neogobius melanostomus*). *Journal of Great Lakes Research* 34, 253–264. [https://doi.org/10.3394/0380-1330\(2008\)34\[253:EOPFCR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3394/0380-1330(2008)34[253:EOPFCR]2.0.CO;2)

- Strayer, D.L., 2010. Alien species in fresh waters: ecological effects, interactions with other stressors, and prospects for the future. *Freshwater Biology* 55, 152–174. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02380.x>
- Sueur, J., 2018. *Sound Analysis and Synthesis with R, Use R!* Springer International Publishing, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77647-7>
- Sueur, J., Aubin, T., Simonis, C., 2008. Seewave, a free modular tool for sound analysis and synthesis. *Bioacoustics* 18, 213–226. <https://doi.org/10.1080/09524622.2008.9753600>
- Trenkel, V.M., Skaug, H.J., 2005. Disentangling the effects of capture efficiency and population abundance on catch data using random effects models. *ICES Journal of Marine Science* 62, 1543–1555. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2005.05.010>
- van Deurs, M., Nicholas P. Moran, Moran, N.P., Plet-Hansen, K.S., Dinesen, G.E., Azour, F., Carl, H., Møller, P.R., Behrens, J., 2021. Impacts of the invasive round goby (*Neogobius melanostomus*) on benthic invertebrate fauna: a case study from the Baltic Sea. *NeoBiota* 68, 19–30. <https://doi.org/10.3897/neobiota.68.67340>
- van Kessel, N., Dorenbosch, M., Kranenbarg, J., van der Velde, G., Leuven, R., 2016. Invasive Ponto-Caspian gobies rapidly reduce the abundance of protected native bullhead. *AI* 11, 179–188. <https://doi.org/10.3391/ai.2016.11.2.07>
- Villéger, S., Blanchet, S., Beauchard, O., Oberdorff, T., Brosse, S., 2015. From current distinctiveness to future homogenization of the world's freshwater fish faunas. *Diversity Distrib.* 21, 223–235. <https://doi.org/10.1111/ddi.12242>
- Villéger, S., Grenouillet, G., Brosse, S., 2014. Functional homogenization exceeds taxonomic homogenization among European fish assemblages. *Global Ecology and Biogeography* 23, 1450–1460. <https://doi.org/10.1111/geb.12226>
- Weaver, S.P., Hein, C.D., Simpson, T.R., Evans, J.W., Castro-Arellano, I., 2020. Ultrasonic acoustic deterrents significantly reduce bat fatalities at wind turbines. *Global Ecology and Conservation* 24, e01099. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01099>
- Yavno, S., S. Yavno, Corkum, L.D., 2011. Round goby *Neogobius melanostomus* attraction to conspecific and heterospecific egg odours. *J Fish Biol* 78, 1944–1953. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2011.02964.x>
- Yavno, S., Stan Yavno, Corkum, L.D., 2010. Reproductive female round gobies (*Neogobius melanostomus*) are attracted to visual male models at a nest rather than to olfactory stimuli in urine of reproductive males. *Behaviour* 147, 121–132. <https://doi.org/10.1163/000579509x12512765640529>
-

Résumé

Les espèces invasives sont l'une des principales pressions sur la biodiversité. Face à cette problématique, des méthodes de gestion sont nécessaires afin de contrôler les populations invasives tout en limitant l'impact sur les populations locales. Le gobie à tache noire est une espèce de poisson benthique originaire du bassin ponto-caspien dont l'aire de répartition s'est largement étendue ces dernières décennies. Son introduction et sa prolifération dans les milieux aquatiques d'eau douce ou saumâtre s'accompagne d'impacts importants sur les espèces locales. Comme de nombreuses espèces de poissons, le gobie à tache noire possède des modalités de communication acoustique. En période de reproduction certains mâles émettent des sons afin d'attirer les femelles dans des cavités de ponte. Ces sons attirent également des mâles parasites cherchant à féconder les pontes gardées par les mâles émettant les vocalises. Lors de cette étude, nous avons testé l'efficacité (i.e. la quantité de gobies capturés) et la spécificité (i.e. la proportion de gobies capturés par rapport aux autres espèces) de l'utilisation d'un leurre acoustique sur le piégeage du gobie. Nous avons comparé cette méthode acoustique à une méthode traditionnelle avec des appâts alimentaires. Nos résultats montrent que le leurre acoustique, sans améliorer l'efficacité du piégeage, augmente significativement la proportions d'individus reproducteurs capturés. Les appâts alimentaires quant à eux ont tendance à diminuer la spécificité du piégeage. Ces résultats préliminaires préfigurent d'une plus-value des leurres acoustiques sur les appâts alimentaires pour le contrôle des populations de gobie à tache noire. Cette étude vise à explorer la méthode de piégeage acoustique afin d'apporter des éléments à la définition de son champ d'application.

Gobie à tache noire ; espèces invasives ; méthode de gestion ; bioacoustique ; piégeage ; synthèse acoustique

Abstract

Invasive species are one of the main pressures on biodiversity. Management methods are needed to control invasive populations while limiting the impact on local populations. The round goby is a species of benthic fish native from the Ponto-Caspian Basin. Its range has expanded greatly in recent decades. Its introduction and proliferation in freshwater and brackish water environments is accompanied by significant impacts on local species. Like many fish species, the round goby has acoustic communication modalities. During the breeding season, some males emit sounds to attract females to spawning cavities. These sounds also attract parasitic males seeking to fertilize spawning sites guarded by males emitting vocalizations. In this study, we tested the efficiency (i.e. the quantity of gobies captured) and specificity (i.e. the proportion of gobies captured compared to other species) of the use of an acoustic lure on goby trapping. We compared this acoustic method to a traditional method with food baits. Our results show that the acoustic lure, without improving the trapping efficiency, significantly increases the proportion of reproductive individuals captured. Food baits tend to decrease the specificity of trapping. These preliminary results suggest that acoustic lures may be more effective than food baits in controlling populations of round goby. This study aims to explore the acoustic trapping method in order to provide elements to define its scope of application.

Round goby ; invasive species ; management method ; bioacoustics ; trapping ; acoustic synthesis

Nombre de mots

Introduction : 1600

Matériel & Méthode : 2200

Résultats : 710

Discussion : 1600

Résumé français : 270

Résumé anglais : 230