



HAL
open science

Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* - Bilan scientifique et technique 2022

Philippe Jatteau

► To cite this version:

Philippe Jatteau. Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* - Bilan scientifique et technique 2022. INRAE EABX. 2023. hal-04149918

HAL Id: hal-04149918

<https://hal.inrae.fr/hal-04149918v1>

Submitted on 4 Jul 2023

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

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



© Ph Jatteau - INRAE



Centre
Nouvelle-Aquitaine Bordeaux

INRAE



Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio*

BILAN SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE 2022
Philippe Jatteau (Coordonnateur)
Juin 2023

Ce projet a été cofinancé par l'agence de l'Eau Adour Garonne et le Conseil Général de la Gironde, avec le soutien de la DREAL Aquitaine. Il s'inscrit dans le cadre du Plan National d'Actions en faveur de l'esturgeon européen.

Référence à mentionner :

Pour l'ensemble du document :

Jatteau Ph. Coord., 2023. Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* - Bilan scientifique et technique 2022. INRAE Nouvelle Aquitaine Bordeaux, 123 p.

Pour les citations partielles :

Jatteau Ph., 2023. Faits marquants de l'année 2022, p.11-15. In Jatteau Ph. Coord. Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* - Bilan scientifique et technique 2022. INRAE Nouvelle Aquitaine Bordeaux.

Bons S., Jatteau Ph., Pierre M., Chèvre P., Bois A., Lalanne F., 2023. Qualité des mâles en 2022, p.17-42. In Jatteau Ph. Coord. Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* - Bilan scientifique et technique 2022. INRAE Nouvelle Aquitaine Bordeaux.

Bois A., Lalanne F., Vétillard F., Chèvre P., 2023. Essais d'incubation et d'élevage des premiers stades larvaires dans le système ZebTec, p.43-46. In Jatteau Ph. Coord. Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* - Bilan scientifique et technique 2022. INRAE Nouvelle Aquitaine Bordeaux.

Ely C., Davail B., Chèvre P., Vétillard F., Polèse F., Bois A., Lalanne F., Robinson C., Pierre M., Cachot J., Rochard E., 2023. Effets de l'exposition d'embryons d'esturgeon à 2 fongicides : Boscalid et Imazalil, p.47-60. In Jatteau Ph. Coord. Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* - Bilan scientifique et technique 2022. INRAE Nouvelle Aquitaine Bordeaux.

Charbonnel A., Acolas M.L., 2023. Identification des habitats marins de l'esturgeon européen, *Acipenser sturio*, p.61-73. In Jatteau Ph. Coord. Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* - Bilan scientifique et technique 2022. INRAE Nouvelle Aquitaine Bordeaux

Acolas M.L., Charbonnel A., Quinton E., 2023. Suivi de la population d'esturgeons européens en milieu naturel – Synthèse et analyses des résultats d'observations accidentelles en 2022, p.75-83. In Jatteau Ph. Coord. Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* - Bilan scientifique et technique 2022. INRAE Nouvelle Aquitaine Bordeaux.

Acolas M.L., Lamour M., François B., Quinton E., Gazeau C., Jatteau Ph., Rochard E., 2023. Suivi de la population d'esturgeons européens en milieu naturel – Synthèse et analyses des résultats d'échantillonnages scientifiques en 2022, p.85-90. In Jatteau Ph. Coord. Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* - Bilan scientifique et technique 2022. INRAE Nouvelle Aquitaine Bordeaux.

Acolas M.L., François B., Bons S., 2023. Veille sur la reproduction naturelle de l'esturgeon européen, p.91-94. In Jatteau Ph. Coord. Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* - Bilan scientifique et technique 2022. INRAE Nouvelle Aquitaine Bordeaux.

Jatteau Ph., 2023. Action de communication en 2022 dans le cadre du Plan National d'Actions pour l'esturgeon européen *Acipenser sturio*, p.95-109. In Jatteau Ph. Coord. Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* Bilan scientifique et technique 2022. INRAE Nouvelle Aquitaine Bordeaux.

Résumé

Ce rapport présente le bilan scientifique et technique des actions de recherche et de conservation menées par l'INRAE dans le cadre du Plan National d'Actions en faveur de l'esturgeon européen. Ces travaux ont été financés par l'Agence de l'Eau Adour Garonne et le Conseil Général de la Gironde avec le soutien de la DREAL Aquitaine. Ce document présente une synthèse sur la qualité des gamètes mâles ; les premiers résultats d'incubation dans le système ZebTec ; les effets de fongicides sur le développement embryonnaire ; un travail sur l'identification des habitats marins ; le suivi de la population en milieu naturel ; une synthèse des actions de communication.

La saison a débuté les 11 et 12 avril avec les pré-sélections des géniteurs. A partir des échographies, 6 femelles et 14 mâles ont été sélectionnés et transférés dans Sturio 1. Les poissons sont principalement issus des cohortes 2007 et 2008 (sauf 2 mâles cohortes 2009 et 2011). Deux séquences de reproduction ont été tentées, la seconde sans succès.

La première séquence a permis d'obtenir des ovocytes d'une femelle. Plusieurs croisements ont été effectués, dont un avec du sperme congelé du mâle Mariette (cohorte 1988).

Treize mâles différents ont donné de la semence, dont 2 ont pu être congelées.

Le succès de cette reproduction a permis de relâcher en Dordogne et Garonne environ 360 juvéniles de 4-5 mois, et de conserver un stock pour les partenaires (Allemagne, Pays-Bas et Espagne). Seuls les individus issus de la fécondation avec le mâle Mariette sont conservés dans le stock captif.

La saison 2022 a donc marqué une avancée considérable pour le PNA, avec la première reproduction à partir de géniteurs nés en captivité et l'obtention de larves issues d'une fécondation avec du sperme congelé qui a permis d'accroître la diversité génétique du stock conservé.

Le suivi en milieu naturel est organisé à partir du recueil des captures accidentelles et de campagnes de chalutage dans l'estuaire de la Gironde (STURAT). Ces échantillonnages scientifiques ont permis de capturer 10 individus de taille comprise entre 140 et 181 cm. Les premières campagnes d'analyse d'ADN environnemental ont été réalisées. Elles visent à détecter la survenue d'une reproduction naturelle. Les résultats ont été négatifs

Abstract

This report presents the assessment of scientific and technical research and conservation actions by INRAE in the framework of the National Action Plan for the European sturgeon. These works were funded by the Adour Garonne Water Agency and the General Council of the Gironde with the support of Dreal Aquitaine. This document presents a summary of the quality of male gametes; the initial results of incubation in the ZebTec system; the effects of fungicides on embryonic development; work on the identification of marine habitats; monitoring of the population in the natural environment; a summary of communication actions.

The reproductive period started on 11 and 12 April with the pre-selection of spawners. Based on ultrasound scans, 6 females and 16 males were selected and transferred to Sturio 1. The fish were mainly from the 2007 and 2008 cohorts (except for 2 males from the 2009 and 2011 cohorts). Two breeding sequences were attempted, the second without success.

The first sequence produced oocytes from one female. Several genetic crossings were made, including one with frozen sperm from the male Mariette (1988 cohort).

Thirteen different males gave semen, 2 of which were frozen.

The success of this reproduction allowed the release of around 360 juveniles aged 4-5 months in the Dordogne and Garonne, and a stock was kept for partners (Germany, Netherlands and Spain). Individuals resulting from fertilisation with the male Mariette were kept in the captive stock.

The 2022 season was therefore a major step forward for the PNA, with the first reproduction from captive-born broodstock and the production of larvae from fertilization with frozen sperm, which allow increasing the genetic diversity of the conserved stock.

Monitoring in the natural environment is based on the collection of accidental catches and trawling campaigns in the Gironde estuary (STURAT). These scientific samplings allowed capturing 10 individuals between 140 and 181 cm in length. The first environmental DNA analysis campaigns have been carried out. The aim was to detect the occurrence of natural reproduction. The results were negative

Sommaire

RESUME	5
ABSTRACT	5
INTRODUCTION	9
CHAPITRE I : FAITS MARQUANTS DE L'ANNEE 2022.....	11
I.1 BILAN DES REPRODUCTIONS	11
I.2 ANIMATION ET VISITE	12
1.3 INVESTISSEMENT	14
CHAPITRE II : QUALITE DES SPERMES DES MALES EN 2022 - (ACTION 14).....	17
II.1 INTRODUCTION	17
II.2 MATERIELS ET METHODES.....	17
II.3 RESULTATS ET DISCUSSION	20
II.3.1 Prélèvements du 19 mai 2022	21
II.3.2 Prélèvements du 2 juin 2022	26
II.4 RESULTATS ET DISCUSSION	31
II.5 CONGELATION DE SEMENCES	33
II.6 ANALYSE DE LA SEMENCE PAR LE SYSTEME CASA (COMPUTER AIDED SEMEN ANALYSIS)	37
II.6.1 Présentation du CASA.....	37
II.6.2 Comparaison CASA/Bürker.....	37
II.6 CONCLUSION	42
CHAPITRE III : ESSAIS D'INCUBATION ET D'ELEVAGE DES PREMIERS STADES LARVAIRES DANS LE SYSTEME ZEBTEC	43
III.1 INTRODUCTION	43
III.2 OBJECTIF	43
III.3 MATERIEL ET METHODES	43
III.3.1 Présentation du Zebtech.....	43
III.3.2 Les croisements	43
III.3.3 Procédure expérimentale	44
III.4 RESULTATS.....	44
III.5 CONCLUSION	46
CHAPITRE IV : EFFET DE L'EXPOSITION D'EMBRYONS D'ESTURGEON A DEUX FONGICIDES : BOSCALID ET IMAZALIL.....	47
IV.1 CONTEXTE	47
IV.2 OBJECTIFS.....	47
IV.3 MATERIELS ET METHODES.....	48
IV.3.1 Substances chimiques utilisées.....	48
IV.3.2 Dispositif expérimental.....	49
IV.3.3 Embryons utilisés.....	50
IV.3.4 Observations réalisées.....	50
IV.3.5 Analyses génétiques	51
IV.3.6 Analyse histologique	52
IV.4 RESULTATS.....	52
IV.4.1 Concentrations effectives.....	52
IV.4.2 Taux de mortalité	53
IV.4.3 Cinétique d'éclosion	54
IV.4.4 Activité cardiaque.....	55
IV.4.5 Analyse biométrique.....	56
IV.4.6 Analyse comportementale	56
IV.4.7 Analyses génétiques	57
IV.5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	59
CHAPITRE V : IDENTIFICATION DES HABITATS MARINS DE L'ESTURGEON EUROPEEN ACIPENSER STURIO.....	61

V.1 OBJECTIFS DE L'ETUDE.....	61
V.2 MATERIEL ET METHODES.....	61
V.3 RESULTATS - DISCUSSION.....	66
V.4 CONCLUSIONS – PERSPECTIVES.....	72
CHAPITRE VI : SUIVI DE LA POPULATION D'ESTURGEONS EUROPEENS EN MILIEU NATUREL – SYNTHÈSE ET ANALYSE DES RESULTATS D'OBSERVATIONS ACCIDENTELLES EN 2022 (ACTION 6).....	75
VI.1 METHODES.....	75
VI.2 RESULTATS DISCUSSIONS.....	76
VI.2.1 Détails des observations <i>A. sturio</i> de 2022 (Figure 45) :.....	78
VI.2.2 Observations d'esturgeons exotiques en 2021.....	81
VI.3 CONCLUSION-PERSPECTIVES.....	83
CHAPITRE VII : SUIVI DE LA POPULATION D'ESTURGEONS EUROPEENS EN MILIEU NATUREL – SYNTHÈSE ET ANALYSE DES RESULTATS D'ÉCHANTILLONNAGES SCIENTIFIQUES EN 2022 (ACTION 8).....	85
VII.1 METHODES.....	85
VII.2 RESULTATS-DISCUSSIONS.....	86
VII.2.1 Caractéristiques des individus échantillonnés en 2022 :.....	86
VII.2.2 Observations d'esturgeons exotiques en 2022 :.....	88
VII.3 CONCLUSIONS-PERSPECTIVES.....	89
CHAPITRE VIII : VEILLE SUR LA REPRODUCTION NATURELLE DE L'ESTURGEON EUROPEEN.....	91
VIII.1 METHODE.....	91
VIII.2 RESULTATS ET DISCUSSION.....	94
VIII.3 CONCLUSIONS-PERSPECTIVES.....	94
CHAPITRE IX : ACTIONS DE COMMUNICATION EN 2022 DANS LE CADRE DU PLAN NATIONAL D' ACTIONS.....	95
IX.1 ACTIONS DE COMMUNICATION GRAND PUBLIC – PRESENCE DANS LES MEDIAS.....	95
IX.1.1 Presse format papier.....	95
IX. 1.2 Actualités WEB.....	102
IX. 1.3 Actualités radio - TV.....	103
IX.2 ACTIONS DE COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES.....	103
IX. 2.1 Colloque.....	103
IX.2.2 Actions de coopération internationales (Action 18).....	106
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	111
ANNEXE 1.....	118
ANNEXE 2.....	120
ANNEXE 3.....	121

Introduction

L'esturgeon européen, espèce emblématique de grands bassins européens comme la Gironde, l'Elbe ou le Guadalquivir, est classé en danger critique d'extinction selon les critères de l'IUCN, et un plan d'actions pour la protection et la restauration de l'espèce a été rédigé sous l'égide de la Convention de Berne (Rosenthal *et al.*, 2007). Les principales directives ont été reprises et déclinées dans 2 plan nationaux d'actions, en France (Dreal, 2011; 2020) et en Allemagne (Gessner *et al.*, 2010). La dernière population est issue du bassin de la Gironde et la dernière reproduction naturelle date de 1994. Depuis cette date un stock ex situ a été constitué afin de préserver des spécimens dans l'optique de soutenir la population naturelle (Williot *et al.*, 1997). Grâce aux reproductions assistées réalisées à partir du stock de géniteurs captifs, des alevinages réguliers ont été réalisés entre 2007 et 2014 (Rouault *et al.*, 2008; Rochard, 2009; 2011; Acolas, 2012; 2013; Jatteau, 2014; 2015; 2016). Au total plus de 1 790 000 individus, larves ou juvéniles, ont été relâchés entre 1995 et 2014 dans le bassin de la Gironde pour soutenir la population.

Depuis 2012, l'association Migado (Migrateurs Garonne Dordogne) a en charge la gestion du stock captif et les opérations de lâcher. En 2017, le transfert de compétence à Migado, concernant les reproductions s'est poursuivi, avec la formation aux échographies et à la stabulation des géniteurs.

Les actions présentées dans ce rapport sont pour partie numérotées selon les actions proposées dans le PNA 2020-2029 ; d'autres sont des actions émergentes mais nécessaires dans le cadre de l'évolution du contexte. Ce rapport présente (1) une synthèse des faits marquants de l'année 2022, (2) la qualité de semences récoltées et les congélations réalisées, (3) les essais d'incubation dans les système ZebTec, (4) les effets de 2 fongicides sur le développement embryonnaire d'un esturgeon modèle, (5) l'identification des habitats marins, le suivi de la population en milieu naturel via (6) l'analyse des déclarations de captures accidentelles, (7) le suivi de la population en estuaire via les campagnes d'échantillonnage « Sturat », (8) la détection d'une reproduction naturelle via l'analyse de l'ADNe, et (9) une synthèse des actions de communication.

Chapitre I : Faits marquants de l'année 2022

Jatteau Ph.

I.1 Bilan des reproductions

La saison 2022 a permis de réaliser la première reproduction assistée depuis 2014, qui plus est, à partir de géniteurs nés en captivité.

Le stock de géniteurs est de 30 individus dont de 2 femelles et 3 mâles issus du stock « vieux géniteurs » (cohortes avant 2007).

Au total, 102 poissons ont été échographiés par MIGADO (géniteurs et sub-adultes) les 10 et 11 avril 2022.

Au final, 6 femelles des cohortes 2007 et 2008 ont été sélectionnées et 14 mâles principalement issus des cohortes 2007 et 2008, avec 1 mâle de 2009 et 1 de 2011 ont été sélectionnés.

Deux séquences de reproduction ont été tentées (19 mai et 1^{er} juin).

Sur les 3 femelles stimulées le 19 mai, une seule a donné une ponte de qualité suffisante pour réaliser des fécondations. Les 2 autres injectée avec une nouvelle hormone (Ovaprim) sont mortes.

Treize mâles ont donné de la semence et 2 avaient une qualité suffisante pour réaliser des congélations (voir chapitre 2).

Même si la ponte obtenue était de faible quantité, le succès de cette saison est indéniable. Les conditions de stabulation, même si elles sont perfectibles, sont suffisamment bonnes pour permettre la maturation et la production de gamètes de qualité. Cette ponte a également permis d'obtenir les premières larves issues du croisement entre une femelle de cohorte récente (2007) et d'un mâle ancien (cohorte 1988) grâce à l'utilisation du sperme congelé. Seules ces larves seront conservées dans le stock captif.

En accord avec une décision du Comité Technique du COPIL les poissons issus d'une reproduction entre F1 ne sont pas conservés dans le stock captif. Les autres individus ont donc été relâchés en milieu naturel au stade juvénile, ou seront transférés dans le cadre d'accord de partenariat.

I.2 Animation et visite

Dans le cadre d'une réunion du PNA sur le site de St Seurin, Dominique Tesseyre de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne a effectué le 6 mai 2022 une visite des installations et des moyens expérimentaux (**Figure 1**).



Figure 1 : Visite de l' AEAG (© Ph. Jatteau - INRAE)

Le Collège de Direction de l'INRAE est venu sur le site de la station d'expérimentations le 14 septembre. Il a effectué une visite des installations sous la direction de Patrick Chèvre et Vanessa Lauronce (Migado) Une délégation de la Mairie de St Seurin et du Centre INRAE de Bordeaux étaient également présentes (**Figure 2**).

Une présentation générale des travaux réalisés sur l'esturgeon mais aussi plus largement sur les expérimentations menées sur site, a été réalisée par le Directeur de l'Unité, Henrique Cabral (**Figure 3**) .



Figure 2 : Visite du Collège de Direction de l'INRAE (© INRAE)



Figure 3 : Présentation des activités (© INRAE)

Le 29 septembre, l'Unité Expérimentale Forêt Bois de Pierroton est venu visiter les installations (**Figure 4**).



Figure 4 : Visite de l'UE Forêt Bois (© F Vétillard - INRAE)

1.3 Investissement

Le forage profond permet d'alimenter la station en eau douce de qualité constante. C'est l'une des 3 sources d'alimentation en eau de la station. Des capteurs de niveaux placés dans le château d'eau et la réserve permettent de contrôler finement le niveau d'eau dans ces réserves et supprimer les surverses. Cette automatisation du fonctionnement de la pompe asservie à la demande, permet de maîtriser les consommations d'eau de la nappe profonde et d'électricité (**Figure 5**).



Figure 5 : Intervention pour l'asservissement du forage (© F Vétillard - INRAE)



Figure 6 : Le Chiller pour DanioVision

La station s'est dotée en 2021 d'un système DanioVision pour l'observation et l'analyse du comportement de petits individus.

Un refroidisseur complète cet investissement. Il permet de maintenir une température constante dans le système d'observation (**Figure 6**)

Chapitre II : Qualité des spermés des mâles en 2022 - (Action 14)

Bons S., Jatteau Ph., Pierre M., Chèvre P., Bois A., Lalanne F.

II.1 Introduction

La vérification de la qualité des semences fraîches pour tous les mâles d'esturgeon européen a pour objectif de sélectionner les mâles qui participeront à la reproduction.

Un travail important est engagé pour évaluer la qualité des semences avec l'utilisation de nouvelles approches offertes par le logiciel CASA. Après la nécessaire mise au point et les adaptations au cas du sturio, les premiers résultats concernent la mesure de la concentration. Les aspects motilité seront traités en 2023.

Le travail se focalise sur l'estimation visuelle de la qualité des semences, pour le choix des mâles pouvant participer à la reproduction et la congélation des semences de bonne qualité pour compléter la banque de spermés.

II.2 Matériels et méthodes

La pré-sélection des géniteurs a été réalisée les 11 et 12 avril 2022, environ un mois et demi avant la période de reproduction, généralement de fin mai à juillet (Williot *et al.*, 1997). Le choix des mâles se fait par échographie. L'échographie permet de déterminer le stade de maturation. Les échographies ont permis de sélectionner 14 mâles, dont 8 issus de la cohorte 2007, 4 de la cohorte 2008, un de la cohorte 2009 et un de la cohorte 2011.

Ils ont été répartis le 6 mai dans le bâtiment Sturio 1, pour la préparation à la phase finale de maturation (montée en température, passage en eau douce).

La veille du prélèvement, les poissons reçoivent une injection d'hormone, la LHRH éthylamide acétate hydrate (Luteinising Hormone-Releasing Hormone), à une dose de 30 µg/kg, dans le but de déclencher la spermiation. L'injection est faite dorsalement juste en arrière de la tête dans les muscles pour que l'hormone agisse plus rapidement au niveau du cerveau. Cette hormone stimule l'activité de frai chez les poissons.

Vingt-quatre heures après l'injection, la semence est collectée à l'aide d'un tube en silicone (5 mm de diamètre) désinfecté et sec pour éviter d'activer la semence, que l'on a inséré dans l'orifice urogénital (**Figure 7**). La semence est récoltée par gravité ou par un léger massage abdominal dans un bécher gradué, sec et propre pour les mêmes raisons que précédemment.



Figure 7 : Prélèvement de sperme chez *A. sturio* (© Ph Jatteau - ML. Acolas, INRAE)

Une fois la semence prélevée, il faut juger de sa qualité selon deux critères : la motilité selon l'échelle de motilité de Sanchez-Rodriguez et Billard (1977) établie pour la truite arc-en-ciel (**Tableau 1**) et la survie en pourcentage pendant 4 min. Pour cela, la semence a été activée avec un activateur permettant d'optimiser la motilité en gardant une méthode simple, rapide et peu coûteuse et présentant le risque d'erreur le plus faible. C'est pour ces raisons que l'eau a été utilisée.

Tableau 1 : Echelle de motilité d'après Sanchez-Rodriguez & Billard (1977)

0	Spermatozoïdes tous immobiles
1	Agitation sur place de nombreux spermatozoïdes
1+	Agitation sur place de nombreux spermatozoïdes. Quelques-uns se déplacent rapidement
2	Quelques-uns se déplacent rapidement (20%).La plupart présentent soit des mouvements progressifs lents soit une agitation sur place.
2+	Plus de 20% des spermatozoïdes se déplacent activement
3	Spermatozoïdes à mouvements progressifs rapides ou lents (50%) et des mouvements oscillatoires sans déplacement (50%)
3+	Spermatozoïdes à mouvements progressifs rapides ou lents supérieurs à 50%
4	Déplacements progressifs de la plupart des spermatozoïdes (80%).Certains restent visibles car déplacements lents
4+	Seuls quelques spermatozoïdes présentent des déplacements lents
5	Tous les spermatozoïdes se déplacent vigoureusement. Impossible de fixer la vue sur aucun d'entre eux



Figure 8 : Observation de la qualité des semences chez *A. sturio* (© Ph Jatteau, INRAE)

Matériel nécessaire à l'observation de la semence fraîche :

- pipette 0-10 μ L + embouts
- pipette 20-200 μ L + embouts
- Lames
- Lamelles
- Microscope optique

Méthode d'observation (**Figure 8**) :

- Mélanger la semence et prélever 1 μ L. Déposer sur une lamelle et vérifier la motilité spontanée.
- Ajouter 50 μ L eau de forage (activateur) en déclenchant le chronomètre (homogénéiser avec l'embout de la pipette. Mettre une lamelle et observer à un grossissement X400.
- Relever la survie et la motilité toutes les 30 secondes et pendant 4 min.
- Ajuster s'il le faut les quantités et l'objectif pour observer environ 100 spermatozoïdes (si trop concentré utiliser 0,5 μ L de semence, si pas assez concentré regarder avec un objectif plus petit). Ne pas diminuer la quantité d'activateur pour ne pas sous-estimer la motilité.

Changer les embouts des pipettes entre chaque prélèvement

Les paramètres de motilité et de survie permettent de classer les semences fraîches en 4 catégories (**Tableau 2**).

Tableau 2 : Critères pour le classement des semences en 4 catégories

Motilité initiale	Taux de Survie initial (%)	Motilité 60s	Taux de Survie 60s (%)	Temps survie 5% (s)	Qualité de la semence
5	95-100	5	80	> 210	Très Bonne
5	90-100	3-4	≤80	≥ 150	Bonne
4-5	90-100	3-4	50-60	150-180	Moyenne
≤ 5	≤95-100	≤ 3	≤ 60	≤ 150	Mauvaise à très Mauvaise

II.3 Résultats et Discussion

Le groupe des 14 mâles transféré le 6 mai dans Sturio 1 (**Tableau 3**), a subi une descente progressive en salinité pour être stabulé en eau douce en prévision de prélèvements de semence pour réaliser d'éventuelles cryoconservations.

Tableau 3 : Pré-sélection des mâles en 2022

Lot	Nom des mâles	Cohorte	Bassin Sturio 1
1	3219921	2007	BR2
	3219689	2007	
	3261542	2007	
	3207482	2008	
	3260410	2008	
	3220207	2007	
	3336363	2009	
	3420159	2011	
2	3254337	2008	BR4
	3257643	2007	
	3423185	2007	
	3261241	2008	
	3255052	2008	
	3219650	2007	

Tableau 4 : Sélection des différents mâles en 2022

Date	Nom des mâles
19/05/22	3219921, 3219689, 3261542, 3207482, 3260410, 3220207, 3336363, 3420159
02/06/22	3254337, 3257643, 3423185, 3261241, 3255052, 3219650, 3261542

II.3.1 Prélèvements du 19 mai 2022

Tous les mâles sélectionnés (**Tableau 4**) ont été injectés le 18 mai 2022 au matin. Au cours de la matinée du 19 mai, ces 8 mâles ont été prélevés (**Tableau 5**).

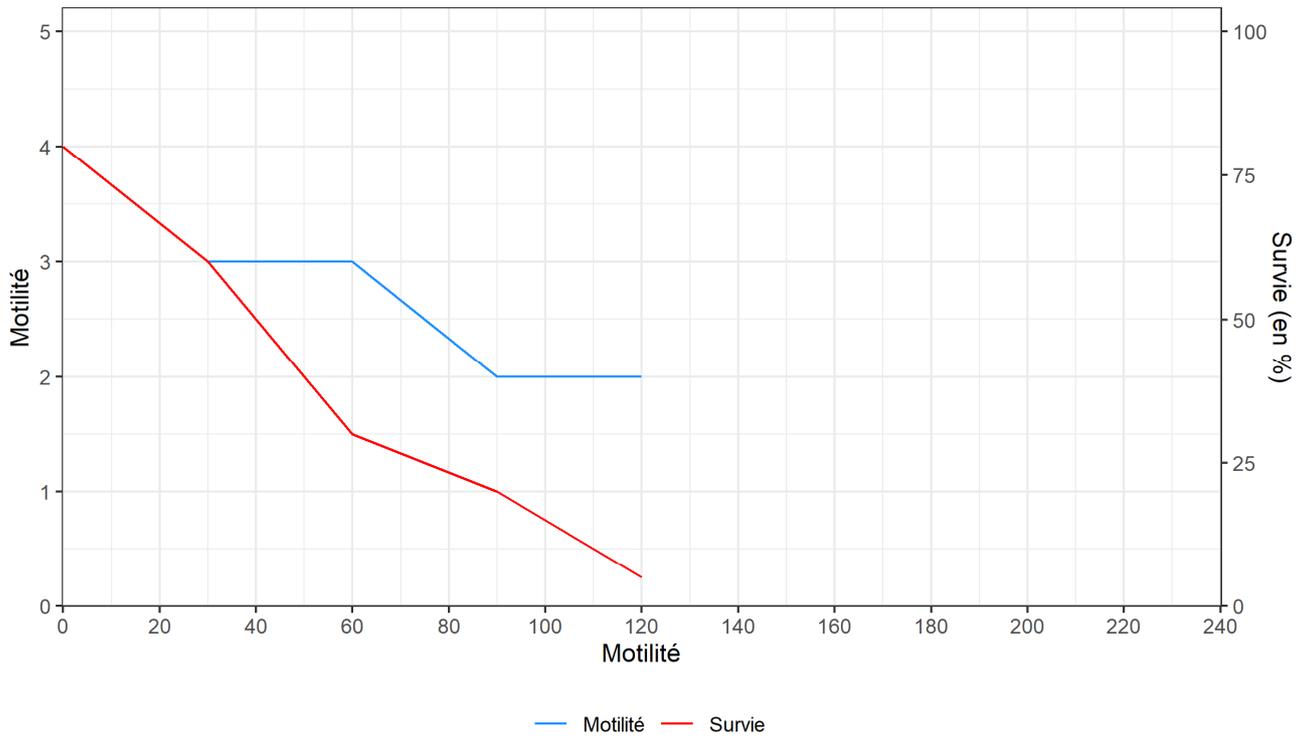
Tableau 5: Données du sperme collecté pour chaque mâle le 19 mai 2022

Nom mâle	Aspect	Motilité spontanée
3219921	Normal, jaunâtre	0
3219689	normal	0
3261542	concentré	0
3207482	concentré	0
3260410	Concentré, sang	0
3220207	clair	0
3336363	clair	+

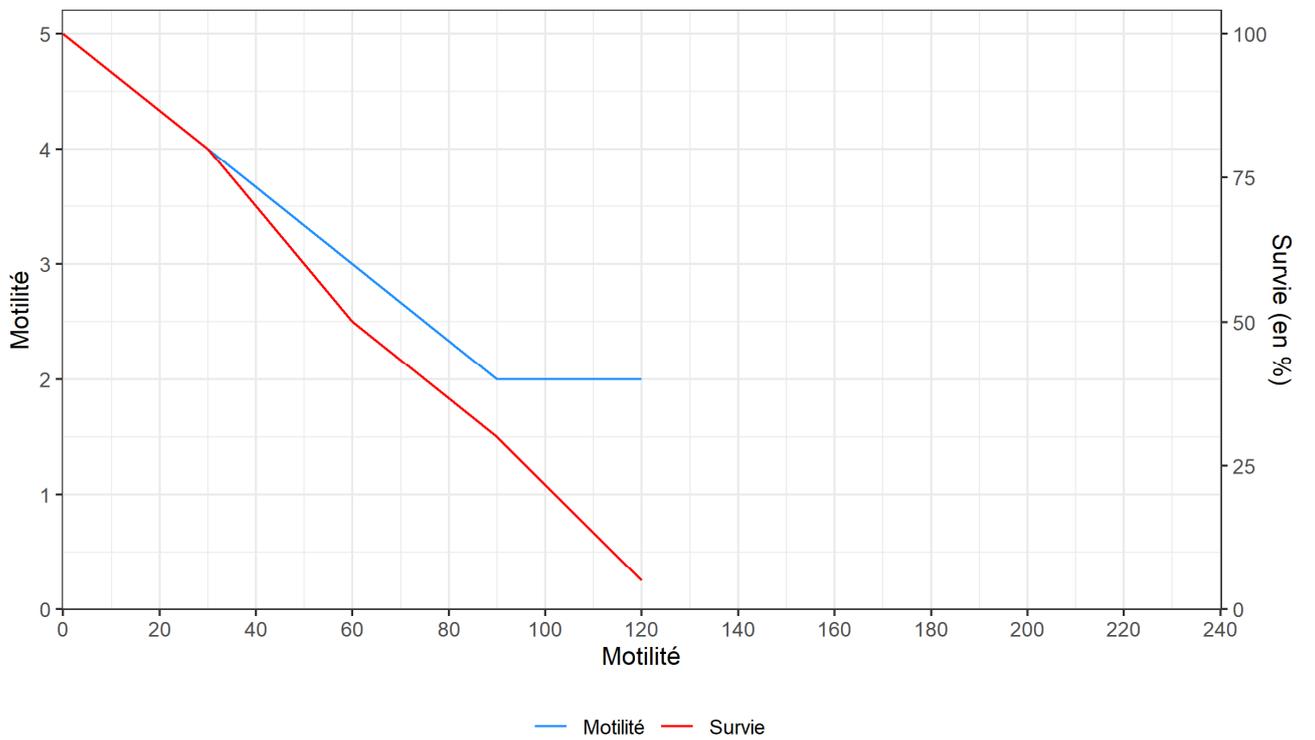
Sept semences prélevées ont été analysées. Le prélèvement du 3420159 ne contenait pas de spermatozoïdes et n'a donc pas été observé.

Les résultats des observations microscopiques sont les suivants (**Figure 9** et **Figure 10**).

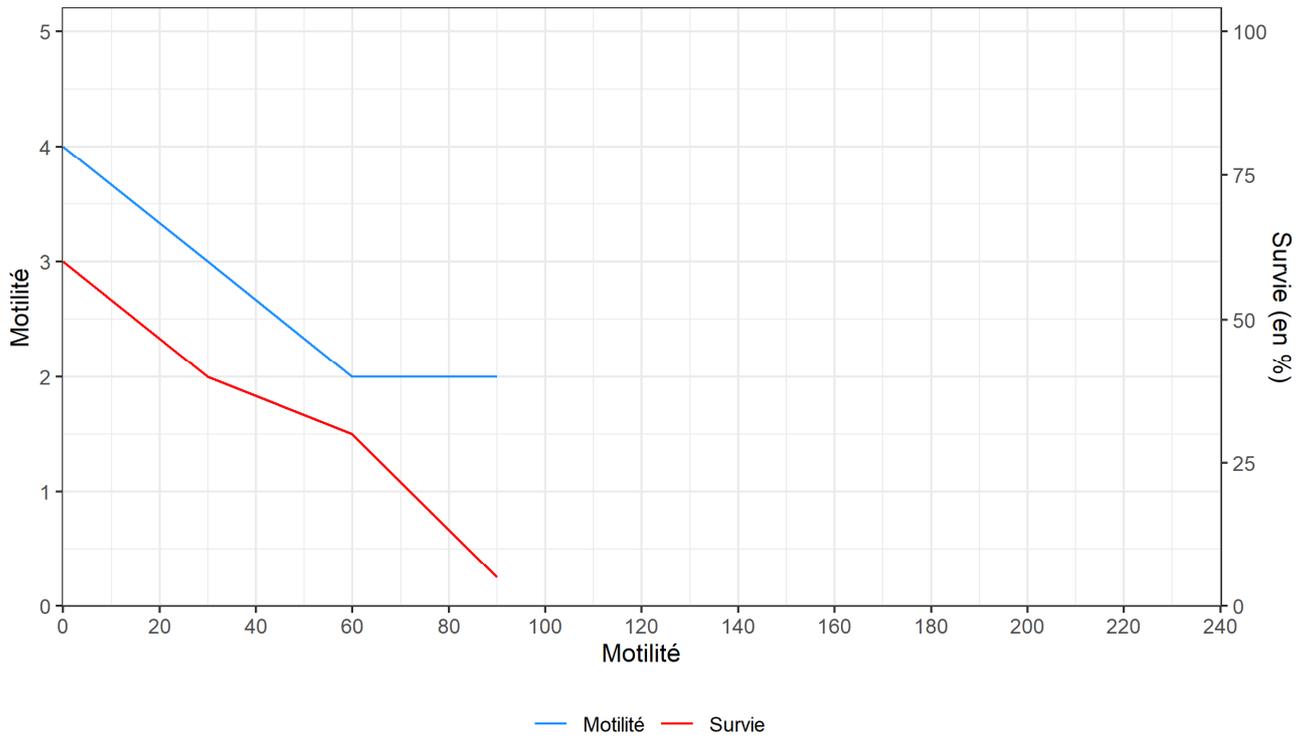
Mâle 3219921 le 19/05/2022



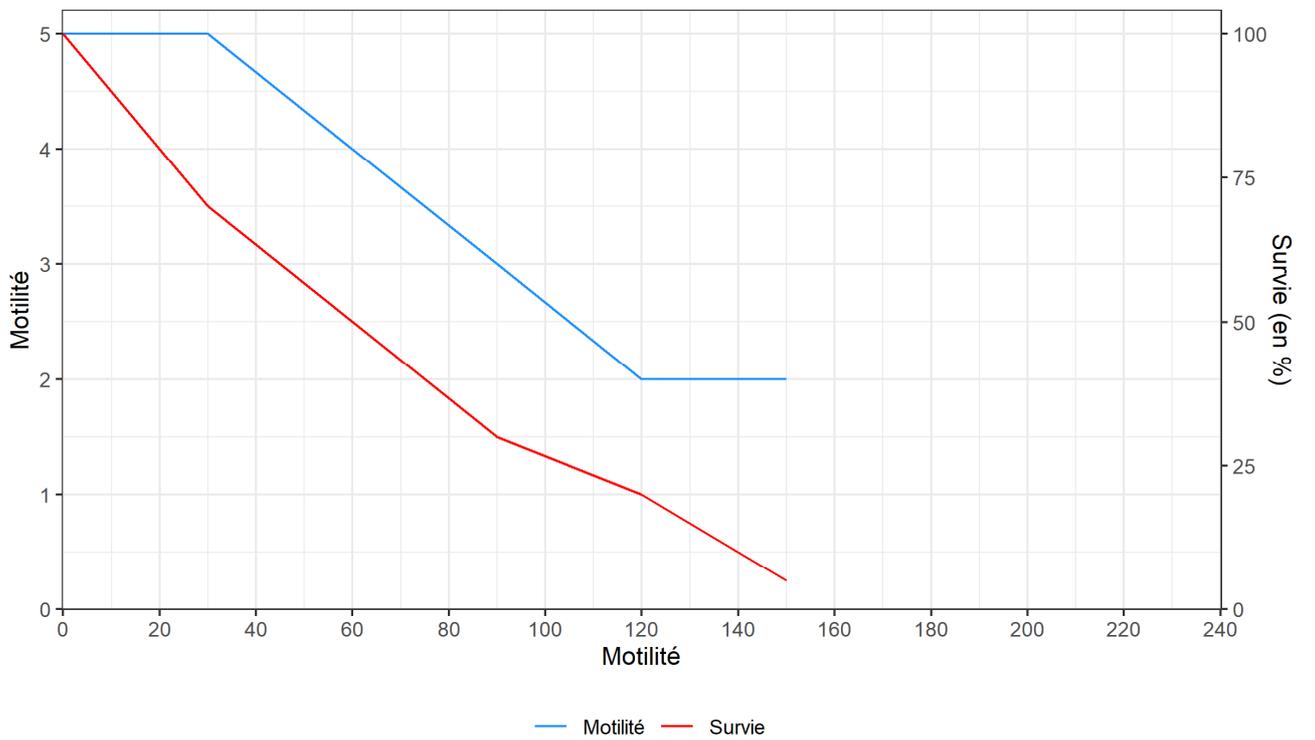
Mâle 3219689 le 19/05/2022



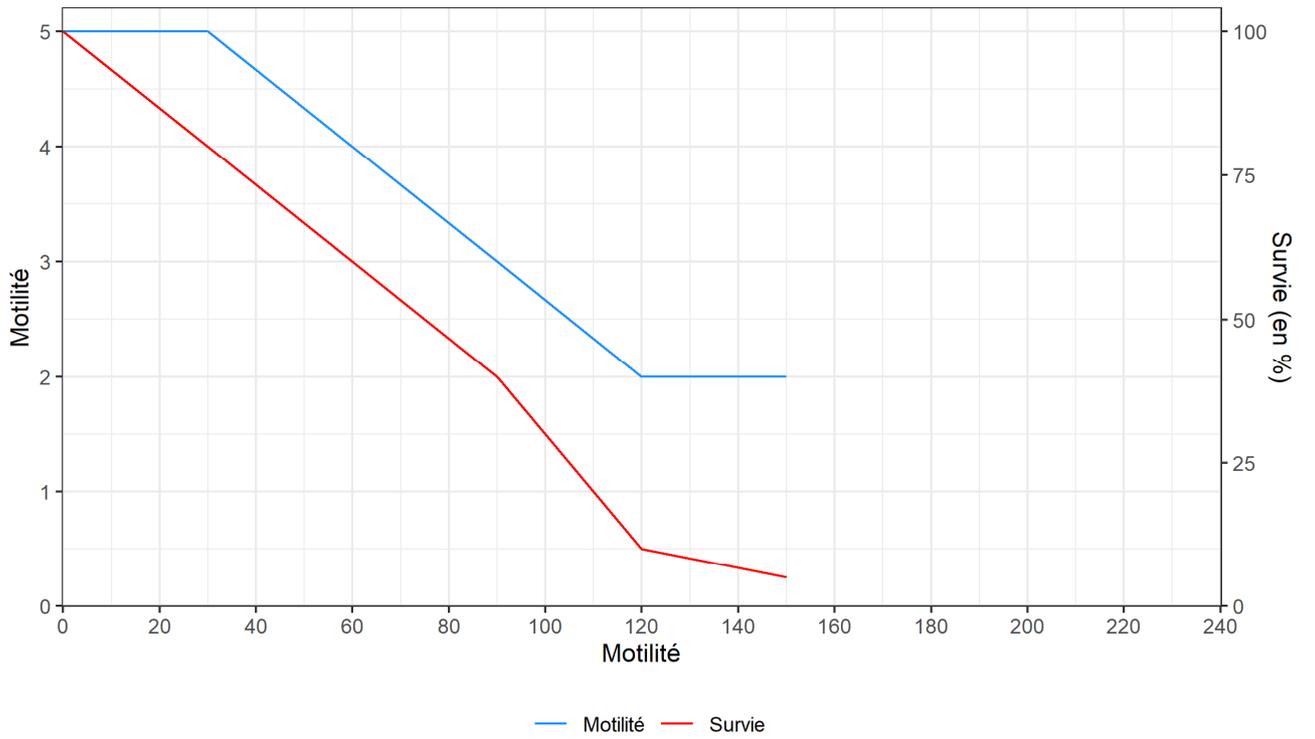
Mâle 3261542 le 19/05/2022



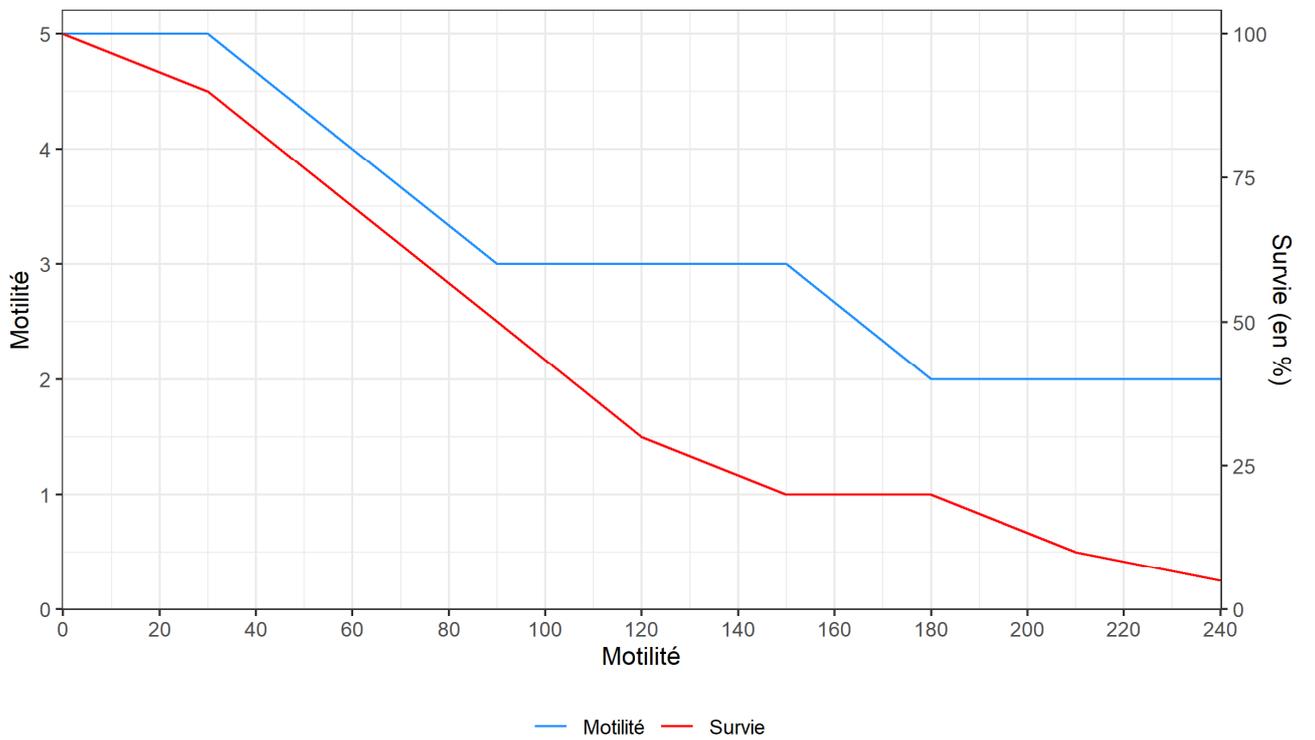
Mâle 3207482 le 19/05/2022



Mâle 3260410 le 19/05/2022



Mâle 3220207 le 19/05/2022



Mâle 3336363 le 19/05/2022

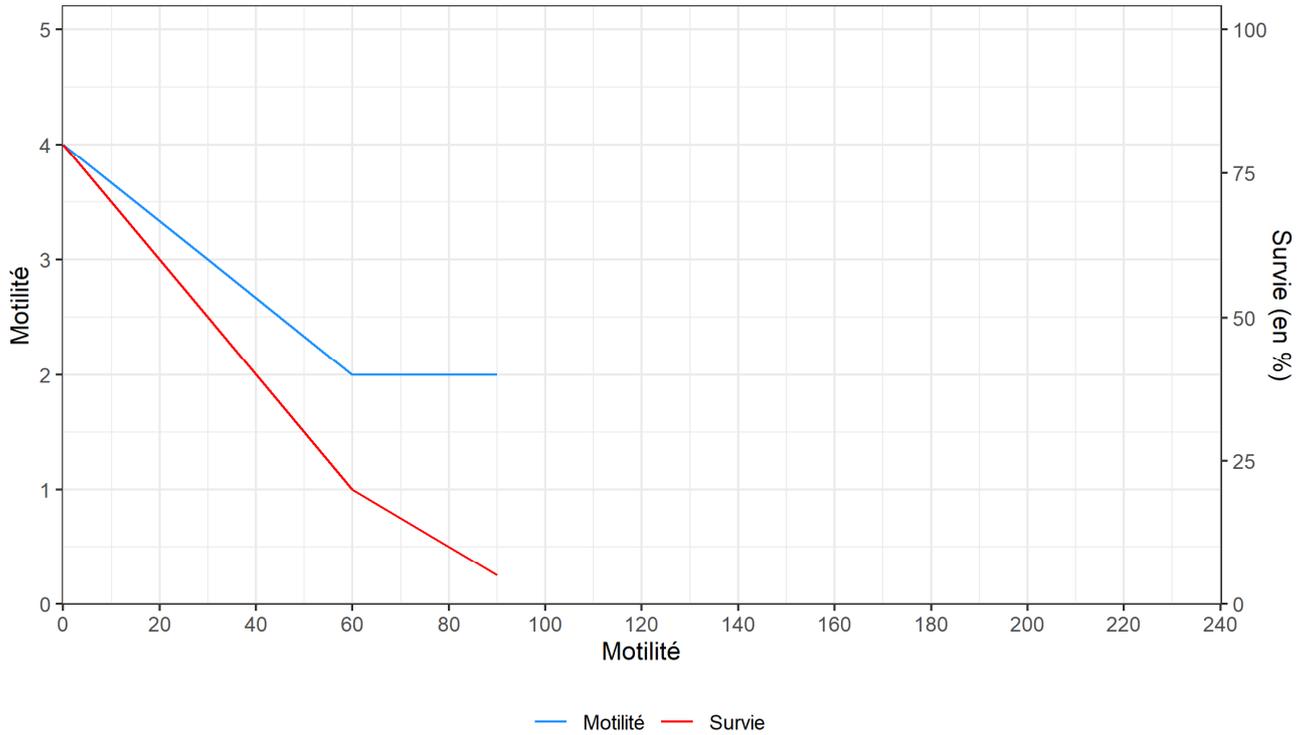


Figure 9 : Résultats des motilités et des taux de survie des spermatozoïdes des mâles prélevés le 19 mai 2022. La motilité est indiquée en bleu et la survie en rouge.

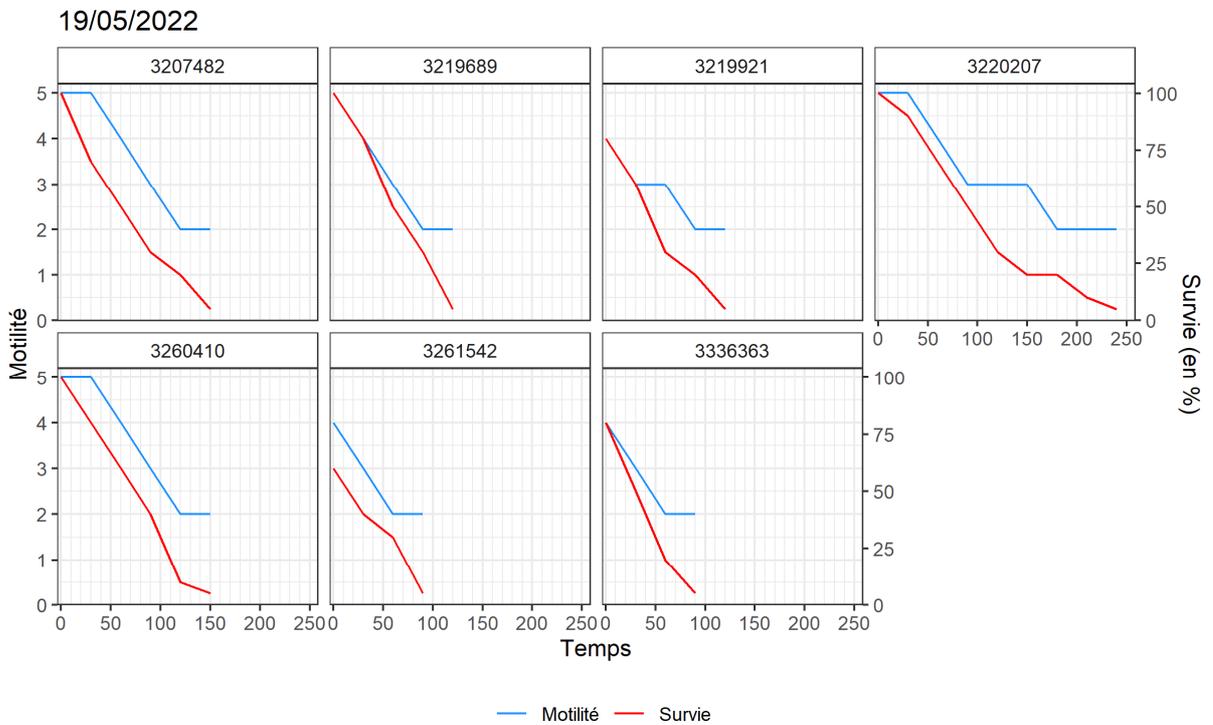


Figure 10 : Synthèse des données de motilité et de survie des spermatozoïdes pour la séquence du 19 mai 2022

Les résultats d'évaluation de la qualité des semences de ces 7 mâles sont synthétisés dans le (Tableau 6).

Tableau 6 : Evaluation de la qualité des semences du 19 mai 2022

Nom	A T ₀		A 60 s		Final			Qualité
	Motilité	Survie	Motilité	Survie	Motilité	Survie	Temps	
3219921	4	80	3	30	2	5	120	Mauvaise
3219689	5	100	3	50	2	5	120	Mauvaise
3261542	4	60	2	30	2	5	90	Mauvaise
3207482	5	100	4	50	2	5	150	Moyenne
3260410	5	100	4	60	2	5	150	Moyenne
3220207	5	100	4	70	2	5	240	Bonne
3336363	4	80	2	20	2	5	90	Mauvaise

Sur les 8 mâles, nous avons donc collecté la semence de 7 mâles. Le dernier mâle (3420159) n'avait pas de semence (seulement un liquide limpide dépourvu de spermatozoïdes).

On a donc prélevé une semence de bonne qualité (3220207), 2 semences de qualité moyenne et 4 semences de mauvaise qualité.

Cette année nous avons réussi à récolter des ovocytes d'une femelle et la semence fraîche de 2 mâles a été utilisées (3261542 et 3260410). Le choix des semences a été fait en privilégiant le croisement génétique optimal au dépend de la qualité de la semence.

II.3.2 Prélèvements du 2 juin 2022

Tous les mâles sélectionnés ont été injectés le 1^{er} juin 2022 au matin. Au cours de la matinée du 02 juin, ces 7 mâles ont été prélevés (Tableau 7).

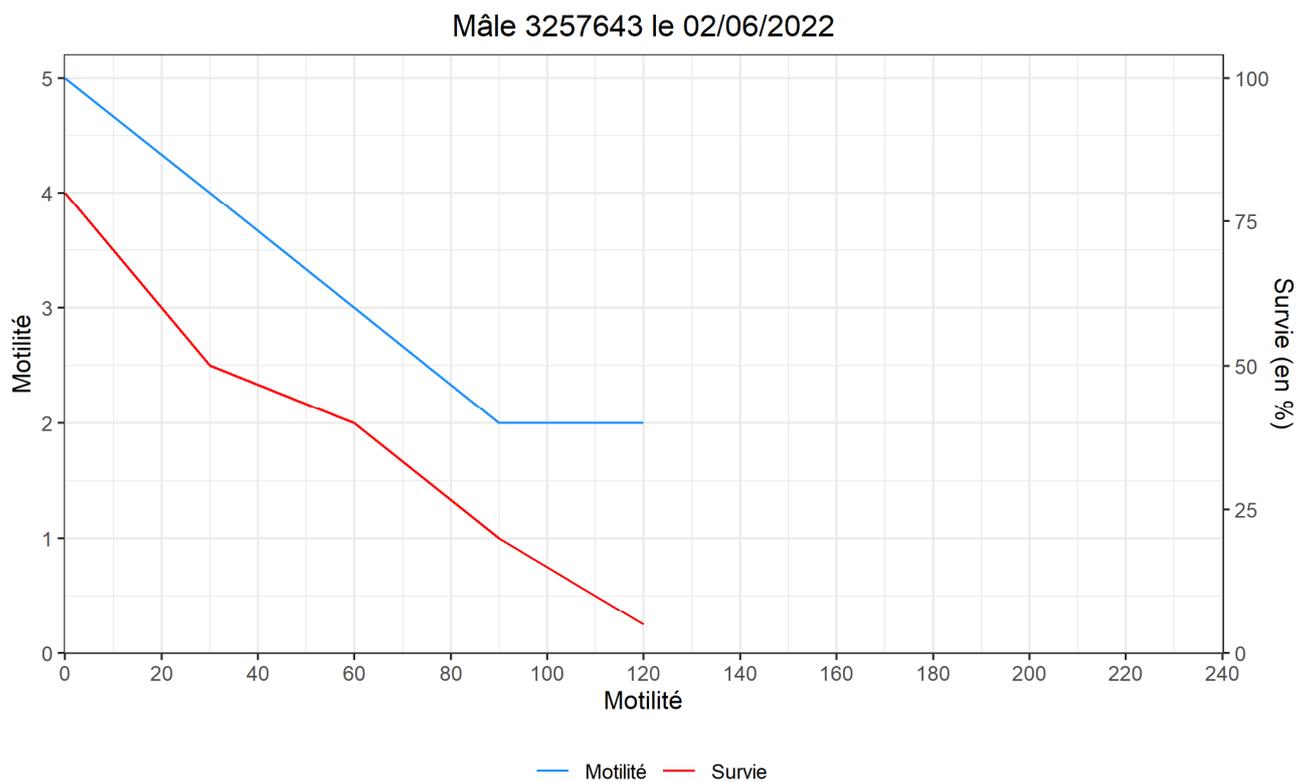
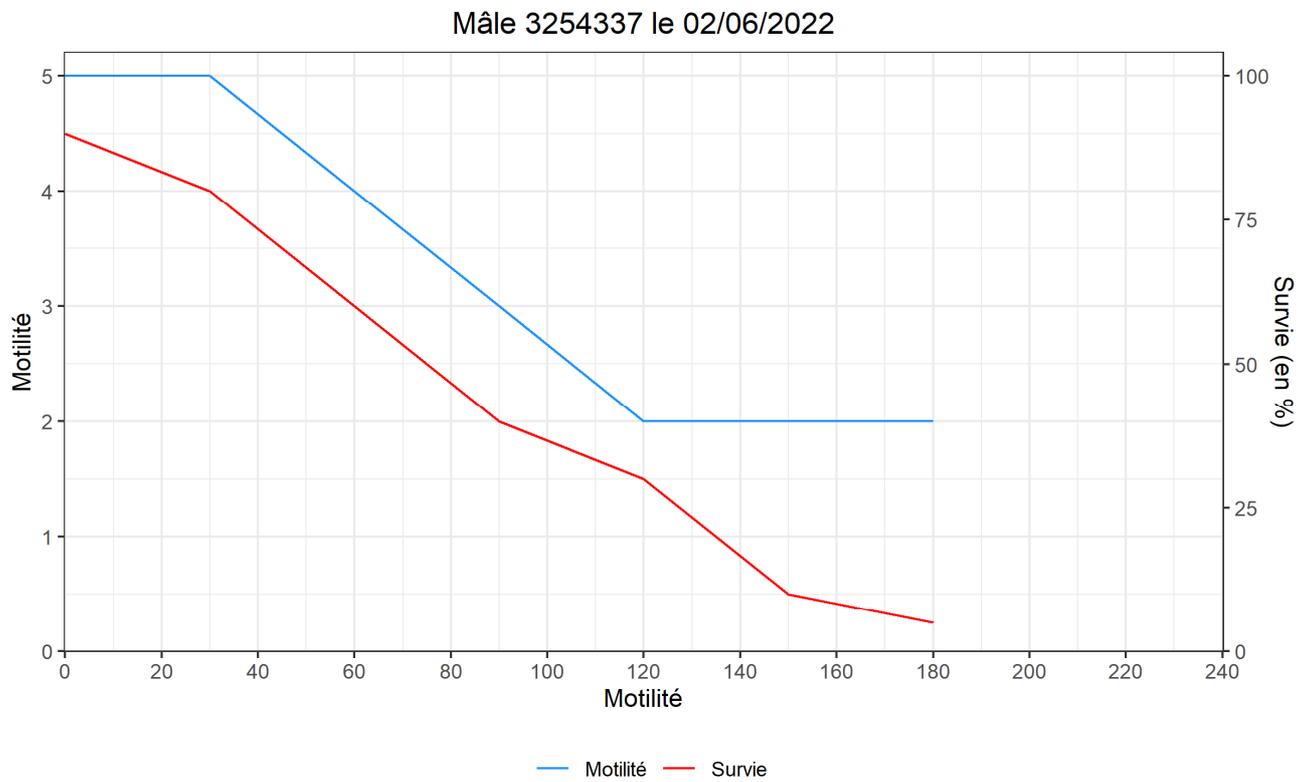
A noter que le mâle 3261542 avait déjà été stimulé et prélevé lors de la précédente séquence.

Tableau 7 : Données du sperme collecté pour chaque mâle le 2 juin 2022

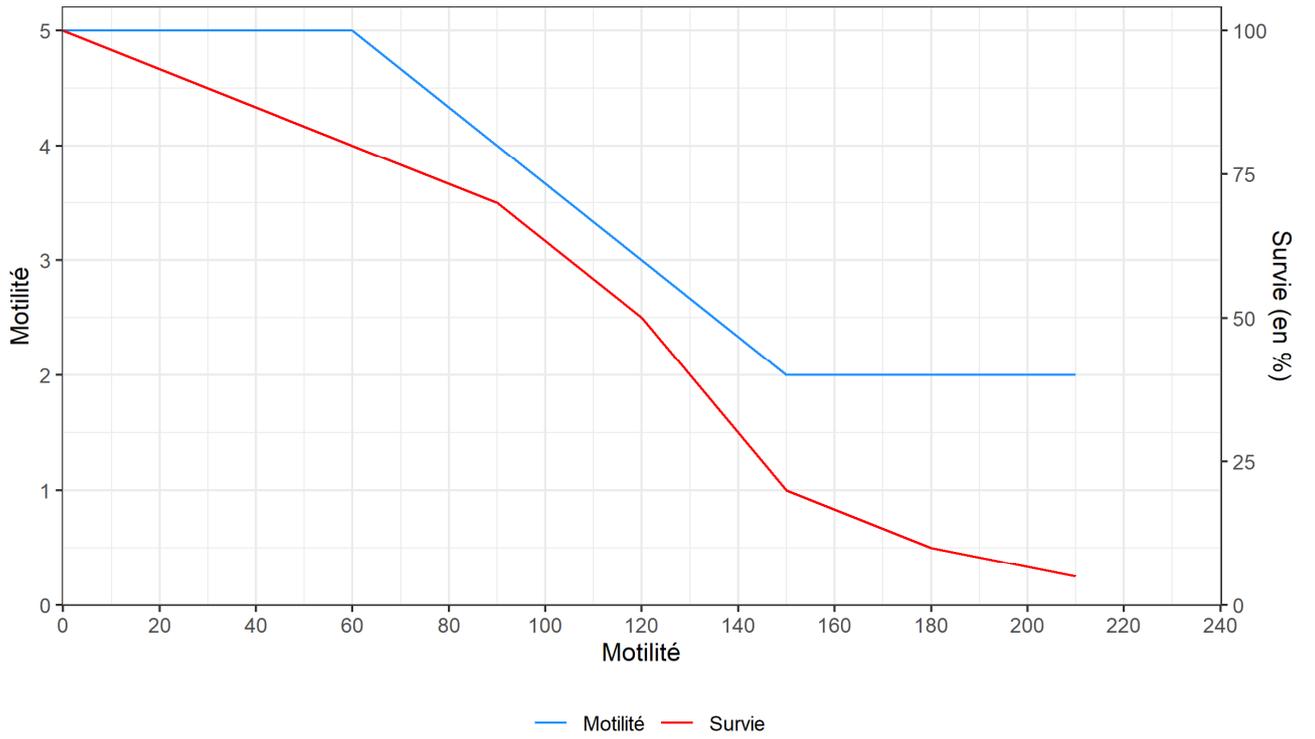
Nom mâle	Aspect	Motilité spontanée
3254337	clair	0
3257643	clair	0
3423185	clair	0
3261241	normal	0
3255052	clair	0
3219650	concentré	0
3261542	-	-

Six semences ont pu être analysées, l'autre prélèvement de semence pour 3261542 ne contenait pas ou très peu de spermatozoïdes.

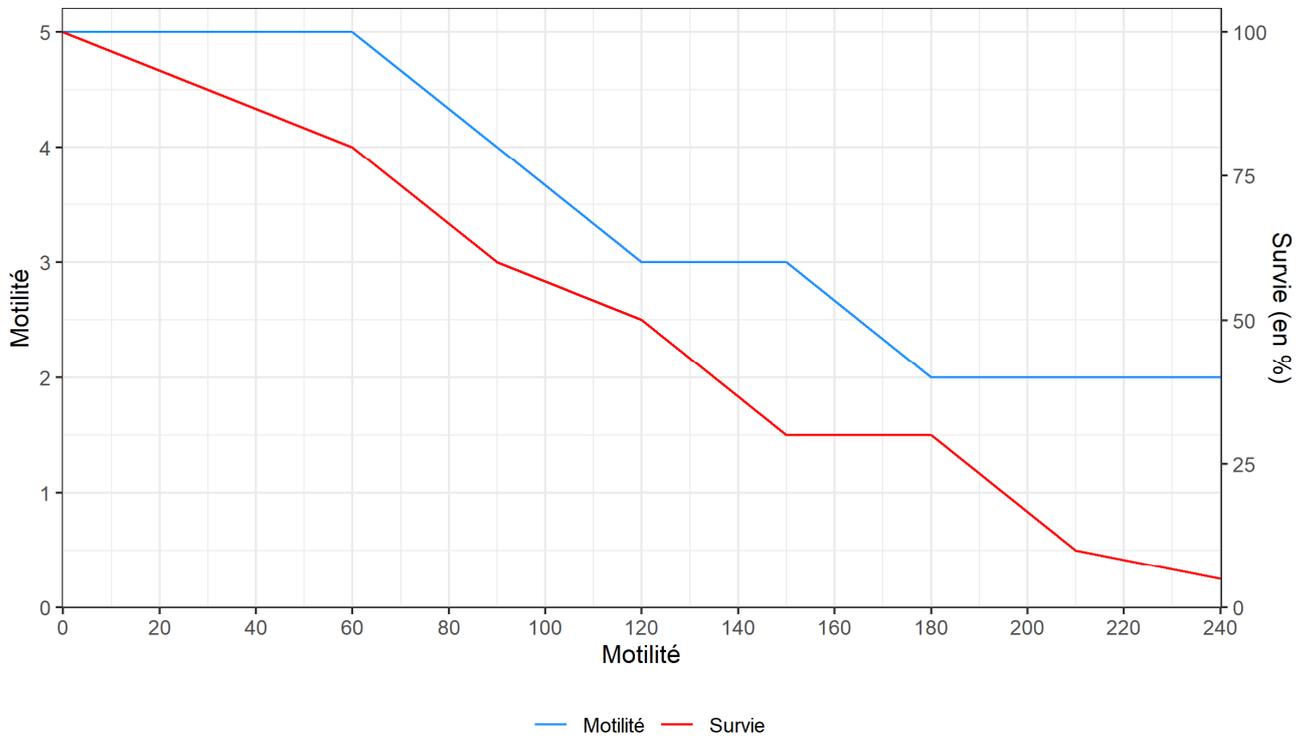
Les résultats des observations microscopiques sont les suivants (**Figure 11** et **Figure 12**)



Mâle 3423185 le 02/06/2022



Mâle 3261241 le 02/06/2022



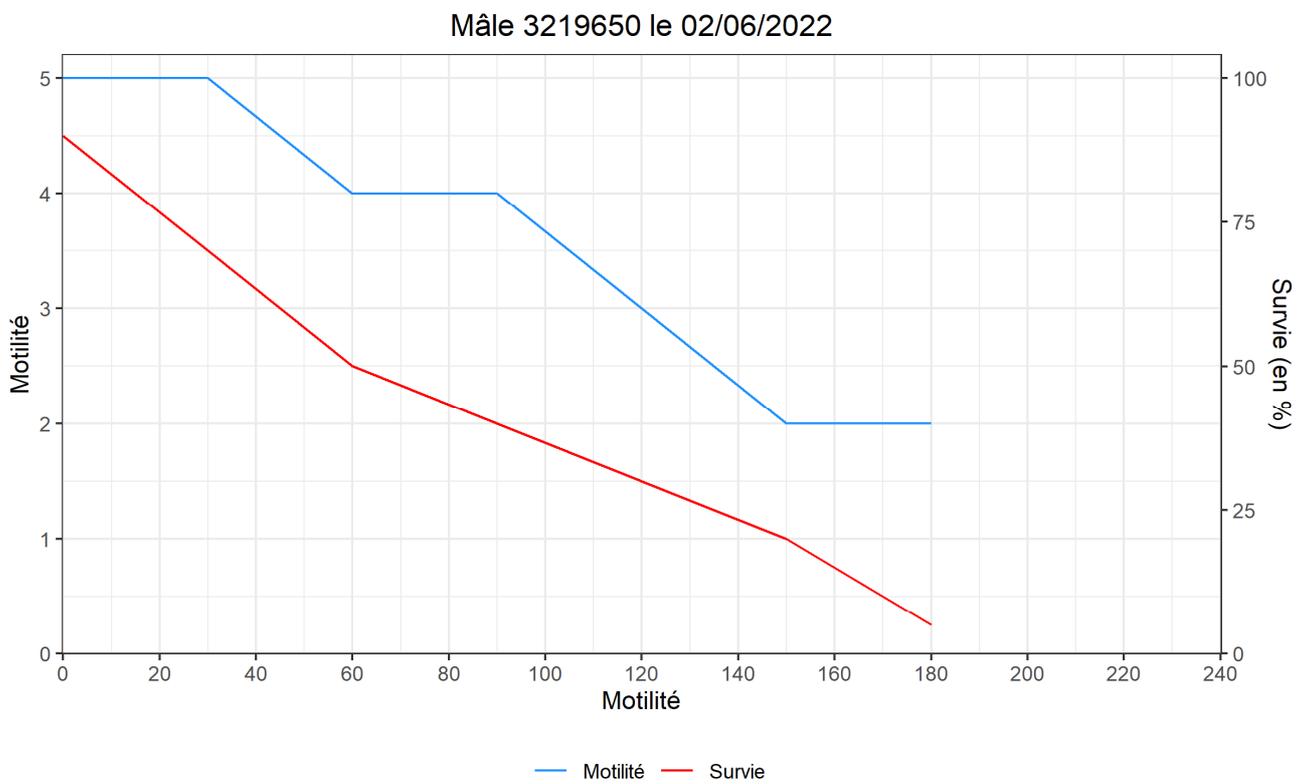
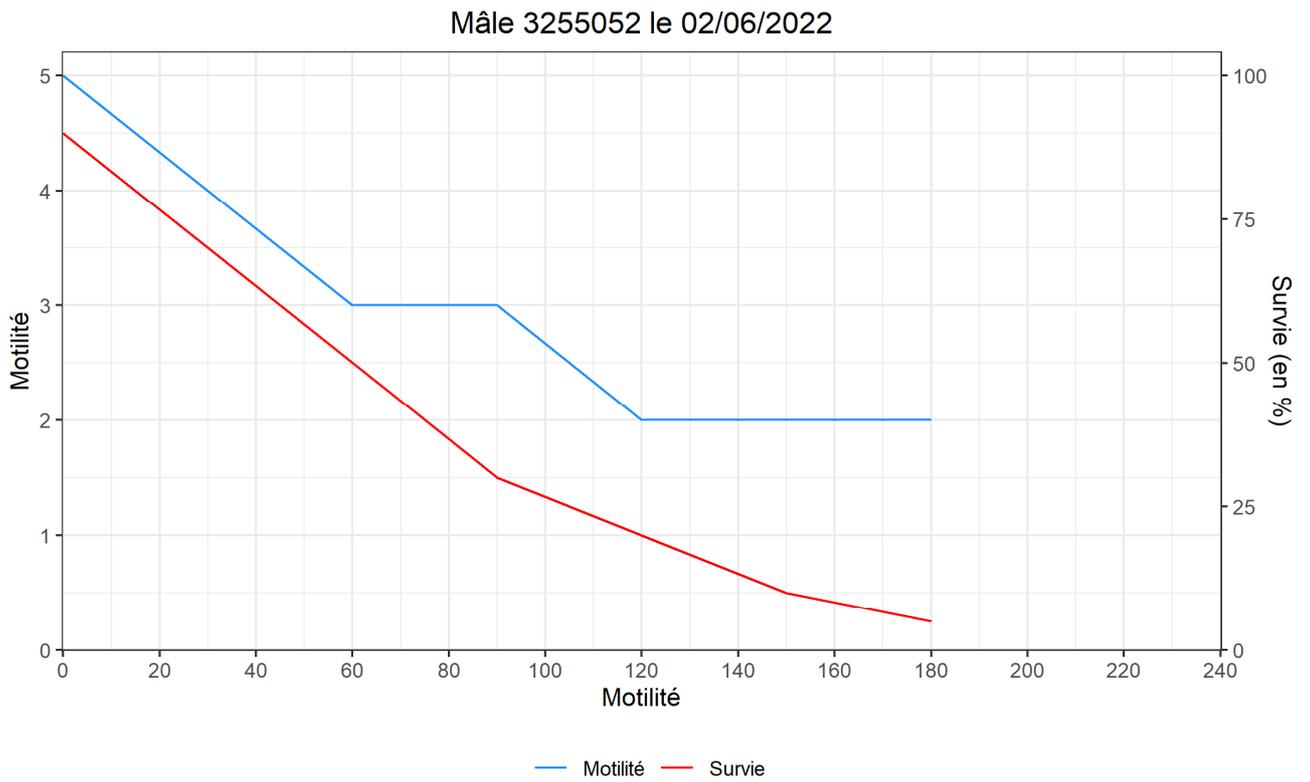


Figure 11: Résultats des motilités et des taux de survie des spermatozoïdes des mâles prélevés le 2 juin 2022. La motilité est indiquée en bleu et la survie en rouge.

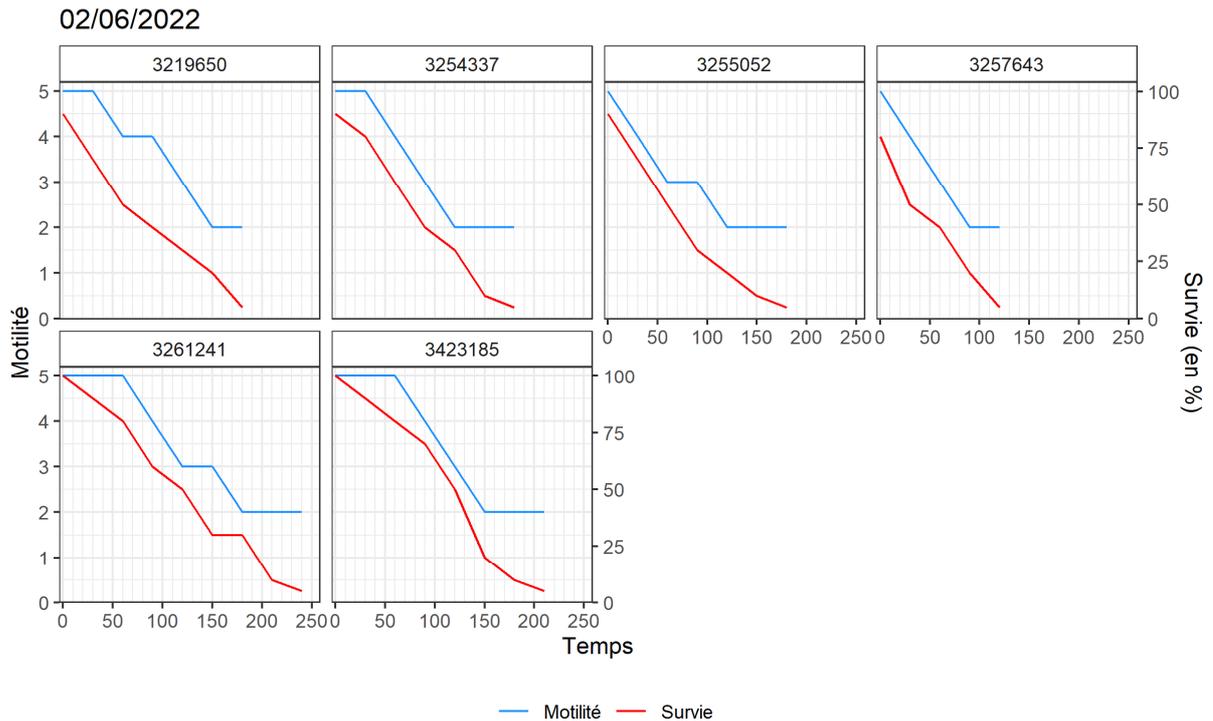


Figure 12 : Synthèse des motilités et taux de survie des spermatozoïdes pour la séquence du 02 juin 2022

Les résultats d'évaluation de la qualité des semences de ces 6 mâles sont synthétisés dans le (Tableau 8).

Tableau 8: Evaluation de la qualité des semences du 2 juin 2022.

Nom	A T ₀		A 60 s		Final			Qualité
	Motilité	Survie	Motilité	Survie	Motilité	Survie	Temps	
3254337	5	90	4	60	2	5	180	Moyenne
3257643	5	80	3	40	2	5	120	Mauvaise
3423185	5	100	5	80	2	5	210	Très Bonne
3261241	5	100	5	80	2	5	240	Très Bonne
3255052	5	90	3	50	2	5	180	Moyenne
3219650	5	90	4	50	2	5	180	Moyenne

Nous avons donc pu collecter la semence de 6 mâles sur 7 ; le dernier mâle (3261542) n'avait pas de semence (seulement un liquide limpide dépourvu de spermatozoïdes).

On a donc prélevé 2 semences de très bonne qualité (3423185 et 3261241), 3 semences de qualité moyenne et 1 semence de mauvaise qualité.

Dans le cas où une reproduction aurait eu lieu nous aurions pu utiliser les semences de 3423185 et 3261241. Pour cette séquence aucune femelle n'a expulsé d'ovocytes.

II.4 Résultats et Discussion

Le récapitulatif de la qualité des semences de la saison 2022 est synthétisé dans le **Tableau 9**

Comme en 2021 nous avons pu observer, cette année, de la semence mais cette fois avec beaucoup plus de mâles prélevés (5 prélèvements analysés sur 10 réalisés en 2021 contre 13 prélèvements analysés sur 15 réalisés en 2022). Un mâle a été stimulé lors des 2 séquences.

Nous avons eu en 2022, 2 semences de très bonne qualité (13,3%), 1 de bonne qualité (6,7%), 5 de qualité moyenne (33,3%) et 5 de mauvaise qualité (33,3%). Il y a eu 13,3% de semences inactives (2 prélèvements)

Sur les 13 semences analysées, près d'un quart (23%) étaient de très bonne ou bonne qualité et 38,5% de qualité moyenne potentiellement utilisable pour des reproductions.

La méthode de maturation des mâles en eau douce a été conservée à l'identique depuis 2013.

En 2022, théoriquement on aurait donc pu utiliser 3 semences de très bonne à bonne qualité pour la fécondation des ovocytes des femelles voire même la semence de qualité moyenne.

La séquence du 18 mai a permis de prélever des ovocytes d'une femelle, une reproduction artificielle a donc été réalisée avec de la semence fraîche ainsi qu'avec de la semence congelée.

Selon les analyses des semences fraîches réalisées, 3 mâles était susceptibles d'être utilisé pour la fécondation (3207482, 3260410, 3220207). En privilégiant la qualité du croisement génétique, ce sont les mâles 3260410 (qualité moyenne) et 3261542 (mauvaise qualité) qui ont été retenus pour les fécondations.

Les autres croisements ont été réalisés avec des semences congelées :

- Mariette (10 paillettes)
- 3255270 congelé en 2017 (4 paillettes)
- 3254337 congelé en 2021 (4 paillettes)

Au vu des résultats de survie à l'éclosion, il semble nécessaire de réfléchir à la stratégie de croisements à mettre en place lors des prochaines saisons, afin de ne pas tout miser sur la qualité du croisement génétique, au détriment des capacités de repeuplement.

On peut noter que par rapport à 2021 nous n'avons eu que 13% des mâles qui n'ont pas donnés de semences (liquide sans spermatozoïde) contre 50% des mâles en 2021. Années après années l'âge des mâles augmentant, le nombre de mâles pouvant donner de la semence devrait augmenter de manière significative.

Tableau 9 : Récapitulatif de la qualité des semences prélevées en 2022

	19 mai 2022	02 juin 2022
Très Bonne semence		3261241, 3423185
Bonne semence	3220207	
Semence Moyenne	3260410, 3207482	3255052, 3254337, 3219650
Semence mauvaise	3219689, 3261542, 3219921, 3336363	3257643
Semence Inactive	3420159	3261542

II.5 Congélation de semences

La cryoconservation permet la sauvegarde du patrimoine génétique des mâles à long terme. Elle facilite également la diffusion de la génétique et l'optimisation des plans de fécondation. A partir de 2008, une banque de semences a été constituée. Les protocoles utilisés sont ceux élaborés pour l'esturgeon (Horvath *et al.*, 2005; Horvath *et al.*, 2011) et adaptés sur le plan opérationnel.

Cette année 4 séries de congélation de sperme ont été réalisées, avec 1 mâle le 19 mai et avec 1 mâle le 2 juin 2022 (**Tableau 10**).

Toutes ces semences ont été congelées le jour même de leur prélèvement.

Nous avons congelé seulement 2 semences de bonne qualité sur les 3 possibles, car l'autre semence de très bonne qualité du 2 juin (3423185) était trop peu concentrée

Le dilueur utilisé pour cette cryoconservation est le dilueur Tsvetkova (dilution Modified Tsvetkova's (Horvath *et al.*, 2005; Dorsey *et al.*, 2011) dont la composition est la suivante :

Pour 1L de dilueur :

- 6.51 g sucrose 23,4 mM
- 0,019 g KCL 0,25mM
- 3,63 g Tris 30mM

Les paillettes utilisées ont une contenance de 0,5ml. Après avoir rempli individuellement les paillettes de semences avec une pipette l'excédent de semences est évacué grâce à un peigne (**Figure 13**).

Ensuite la paillette est rebouchée grâce à une poudre de rebouchage (**Figure 14**) avant d'être congelé dans l'azote liquide (**Figure 15**).



Figure 13 : Mise en paillettes de la semence de *A. sturio* (© Ph Jatteau, Inrae)



Figure 14 : Mise en place de la poudre de rebouchage (© Ph Jatteau, Inrae)

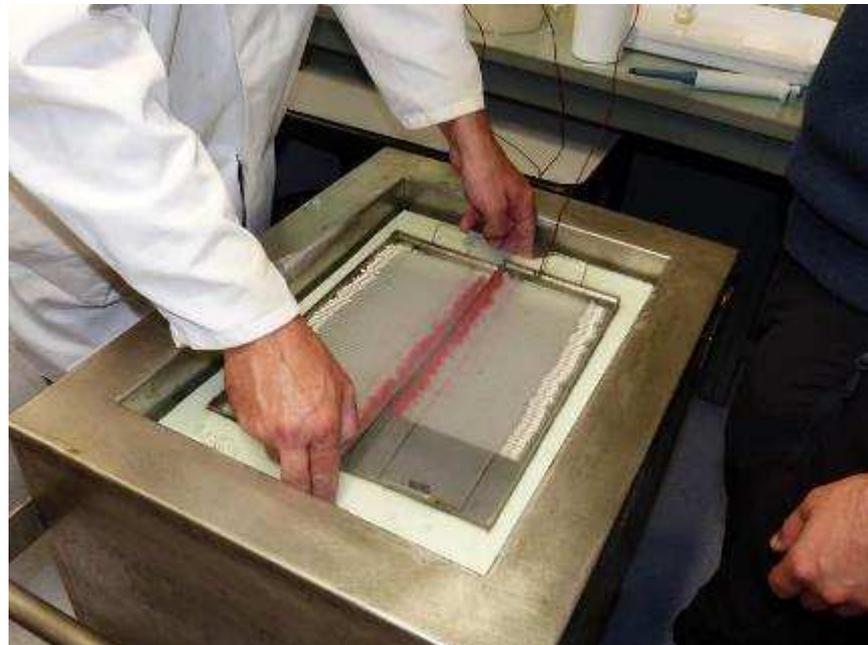


Figure 15 : Congélation de la semence de *A. sturio* (© Ph Jatteau, Inrae)

Le support à paillettes doit être plongé dans l'azote liquide et la température mesurée en temps réel afin qu'elle atteigne -150°C en moins de 10 minutes (**Figure 16** à **Figure 19**).

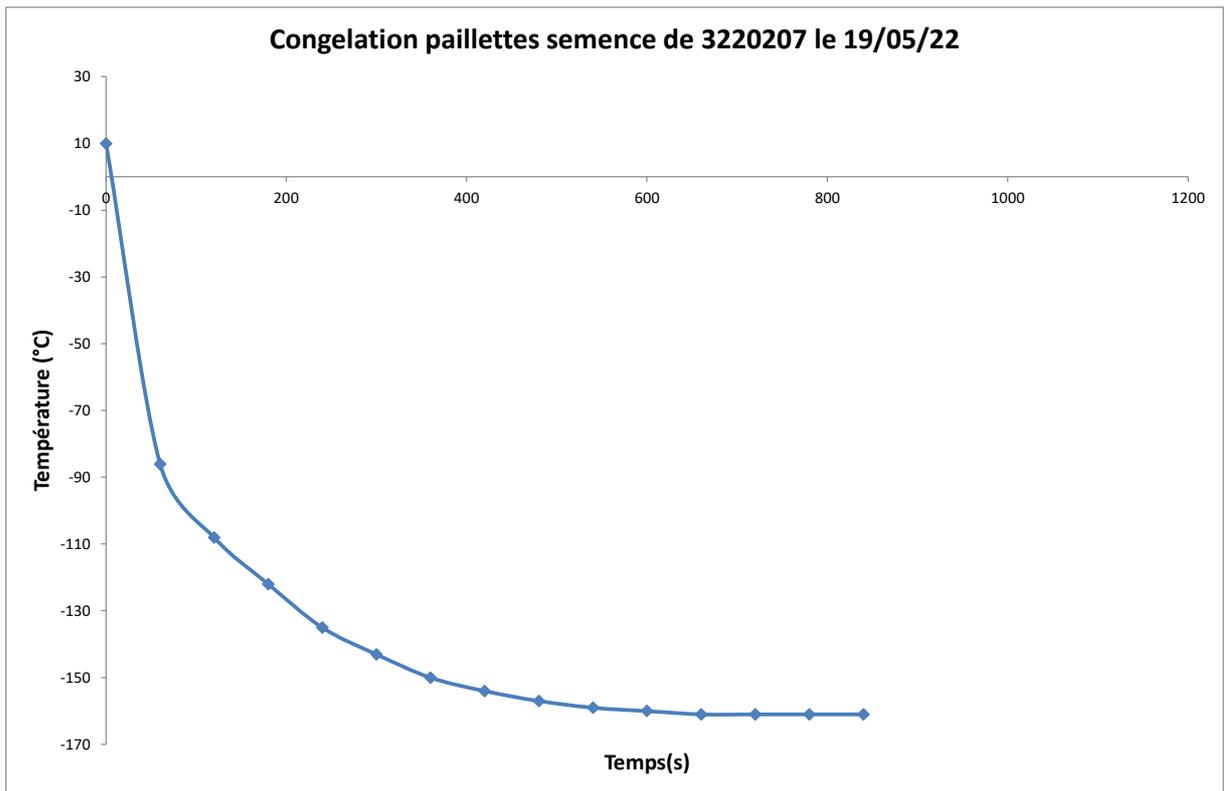


Figure 16 : Descente en température lors la congélation des paillettes du mâle 3220207 le 19 mai 2022

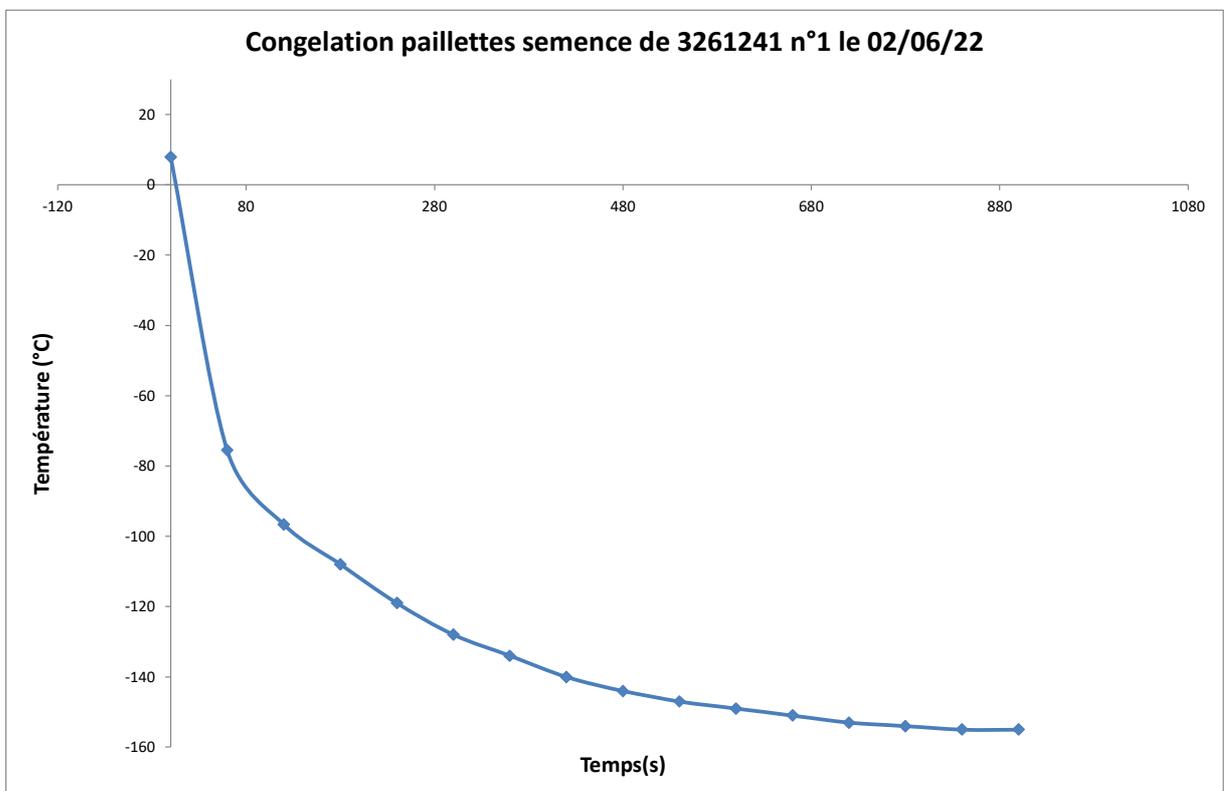


Figure 17 : Descente en température lors de la congélation de la 1^{ère} série de paillettes du mâle 3261241 le 2 juin 2022

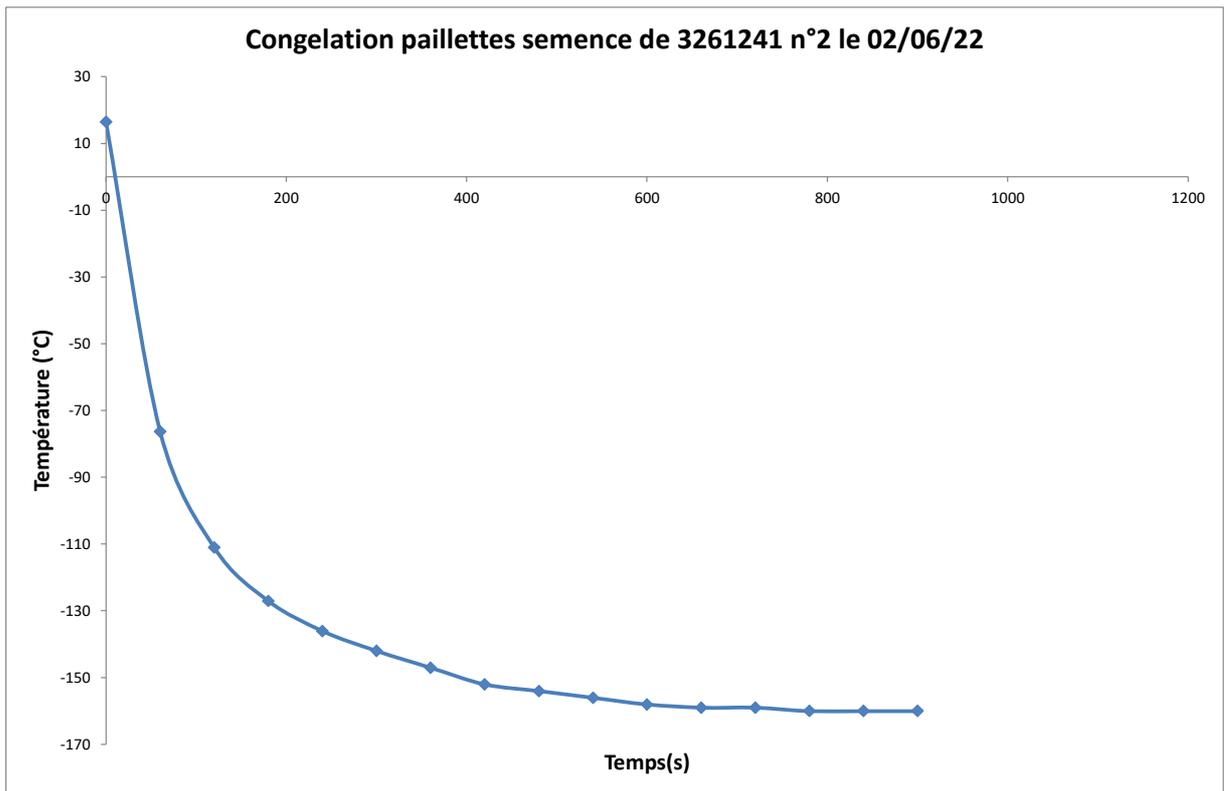


Figure 18 : Descente en température lors de la congélation de 2^{ème} série de paillettes du mâle 3261241 le 2 juin 2022

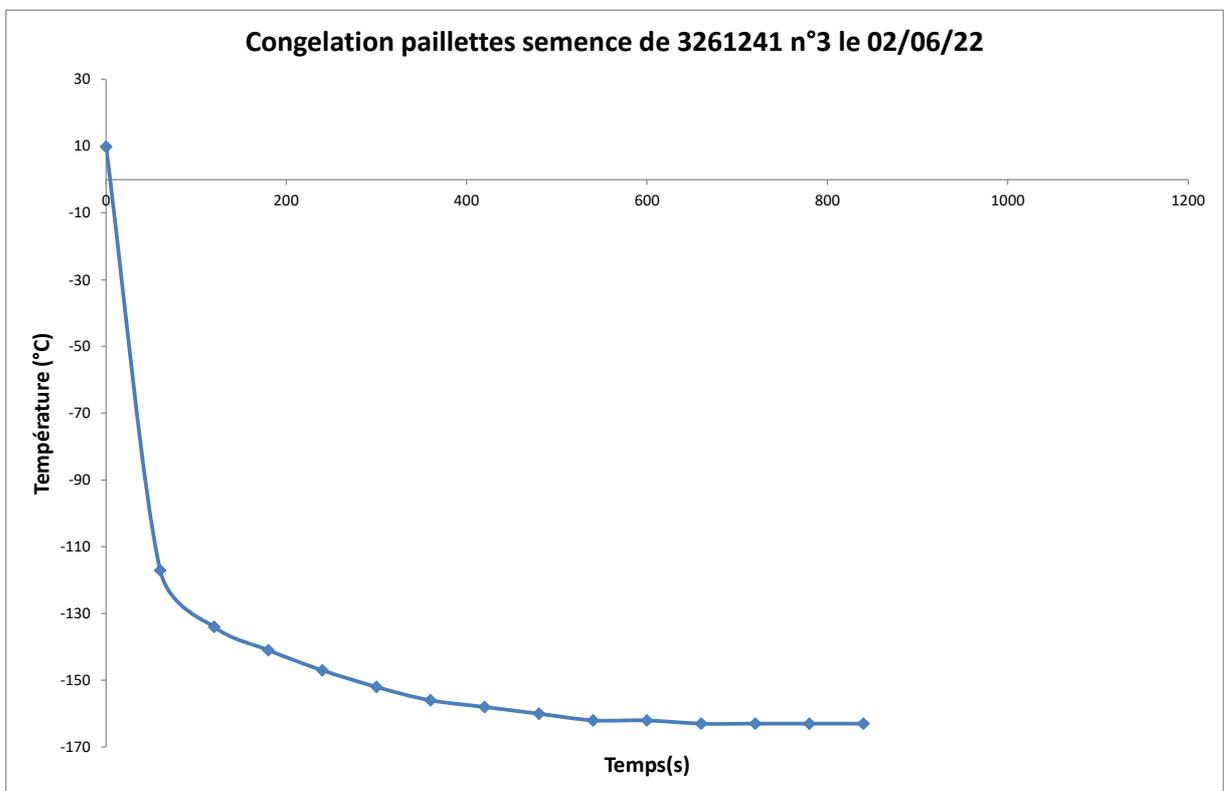


Figure 19 : Descente en température lors de la congélation de la 3^{ème} série de paillettes du mâle 3261241 le 2 juin 2022

Tableau 10 : Tableau récapitulatif des congélations de semences 2022

Date	Nom	DILUTION			Nombre de Paillettes (0,5mL)	Nb de Visos	N° Canister	Localisation
		Semence	dilueur	méthanol				
19 mai	3220207	25	20	5	66	3	9	Haut cuve N°3
02 juin	3261241	33	26.4	6.6	100	3	9	Haut cuve N°3
	3261241	33	26.4	6.6	109	4	1	Bas cuve N°3
	3261241	33	26.4	6.6	105	3	1	Bas cuve n°3

II.6 Analyse de la semence par le système CASA (Computer Aided Semen Analysis)

II.6.1 Présentation du CASA

Le système CASA permet l'analyse quantitative et la gestion des paramètres les plus importants du sperme : concentration, Motilité, Morphologie, Fragmentation d'ADN, via différents modules d'analyse développés par l'entreprise. Tous les modules sont indépendants.

Le système est composé d'un microscope biologique, caméra digitale, ordinateur et software SCA.

Actuellement nous sommes en cours de prise en main du module « motility and concentration ».

Avec ce module en 2022, nous avons surtout travaillé l'acquisition de données de concentration en spermatozoïdes et essayé de vérifier leur fiabilité.

L'aspect Motilité est encore en cours d'étude et ne sera pas abordé cette année.

Afin d'estimer la fiabilité des mesures, les concentrations obtenues avec le CASA ont été comparées avec les concentrations obtenues manuellement par comptage via une cellule de numération type Bürker.

II.6.2 Comparaison CASA/Bürker

Le Système CASA est doté d'une multitude de réglages que l'on doit adapter à l'espèce étudiée en l'occurrence pour nous *Acipenser Sturio*. Il nous faut donc avancer pas à pas pour pouvoir être apte à l'utiliser.

Il a été décidé d'utiliser la cellule de numération Bürker pour vérifier que les concentrations données par le système CASA sont bien les concentrations réelles.

On considère que la mesure avec la cellule de Bürker (**Figure 20**) est plus fiable et servira donc de référence pour la comparaison des concentrations avec CASA.



Figure 20 : Cellule de numération de Bürker

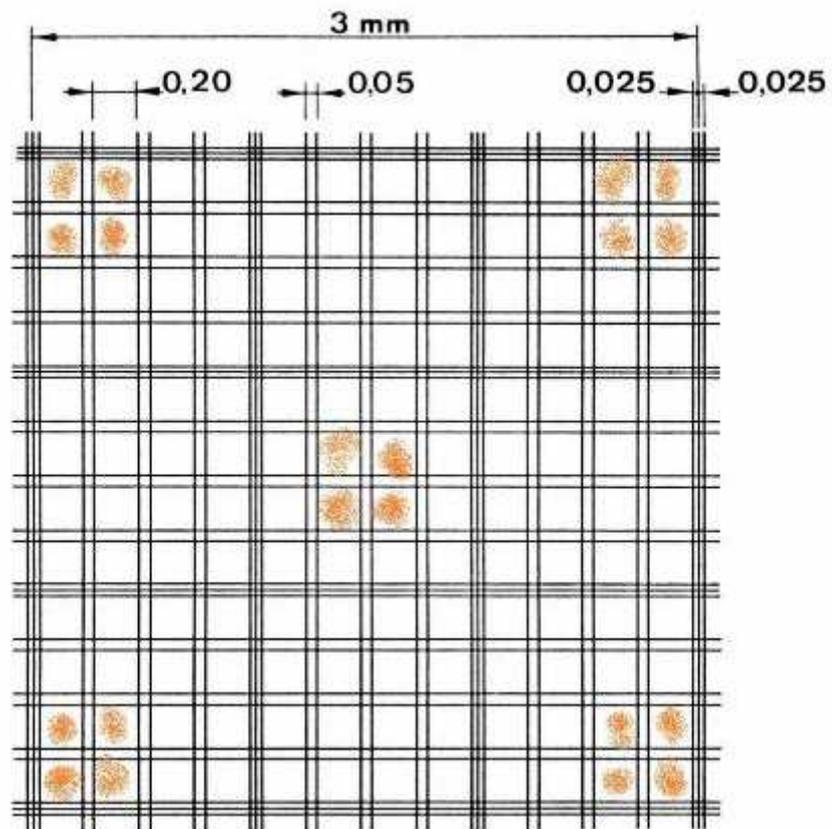


Figure 21 : Plan d'une cellule de numération avec les zones de comptage définies

Pour obtenir la concentration à partir de cette cellule Bürker, il faut compter les spermatozoïdes un à un dans 20 carrés de la cellule de Bürker et plus particulièrement dans 5 groupe de 4 carrés éloignés en fonction du volume de la cellule (volume d'une cellule : 0,004 μ L) et de la dilution utilisée (**Figure 21**).

Les spermatozoïdes auront été préalablement inactivés par une solution de NaCl et le sperme dilué afin d'obtenir moins d'une centaine de spermatozoïdes par groupe de 4 carrés.

Les photos sont prises à l'aide du microscope (**Figure 22**) et ensuite analysé par le logiciel de traitement d'image « ImageJ »

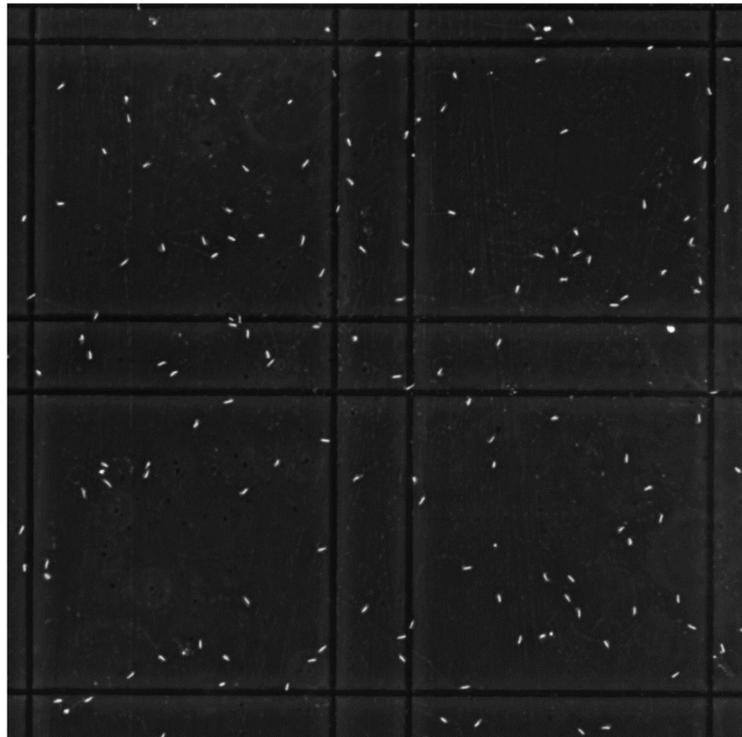


Figure 22 : Observation microscopique d'un groupe de 4 carrés d'une cellule de Bürker

Nous avons comparé les concentrations de 33 mâles (13 semences fraîches et 19 semences congelés) entre CASA et Bürker.

D'après la **Figure 23** on peut voir que la concentration en spermatozoïdes mesurée avec CASA est plus souvent inférieure à la concentration en spermatozoïdes mesurée avec Bürker.

On remarque qu'au-dessus la bissectrice, CASA surestime la concentration en spermatozoïdes et en dessous de la bissectrice CASA sous-estime la concentration en spermatozoïdes.

Dans les fortes concentrations en spermatozoïdes mesurées avec Bürker, on remarque que le CASA sous-estime la concentration et dans les faibles concentrations CASA surestime les concentrations.

Quand la concentration en spermatozoïdes de CASA est supérieure à la concentration en spermatozoïdes de Bürker, l'écart de concentration est en moyenne de 90%. Alors que lorsque la concentration en spermatozoïdes de CASA est inférieure à la concentration en spermatozoïdes de Bürker, les écarts sont plus réduits avec une moyenne de 30%.

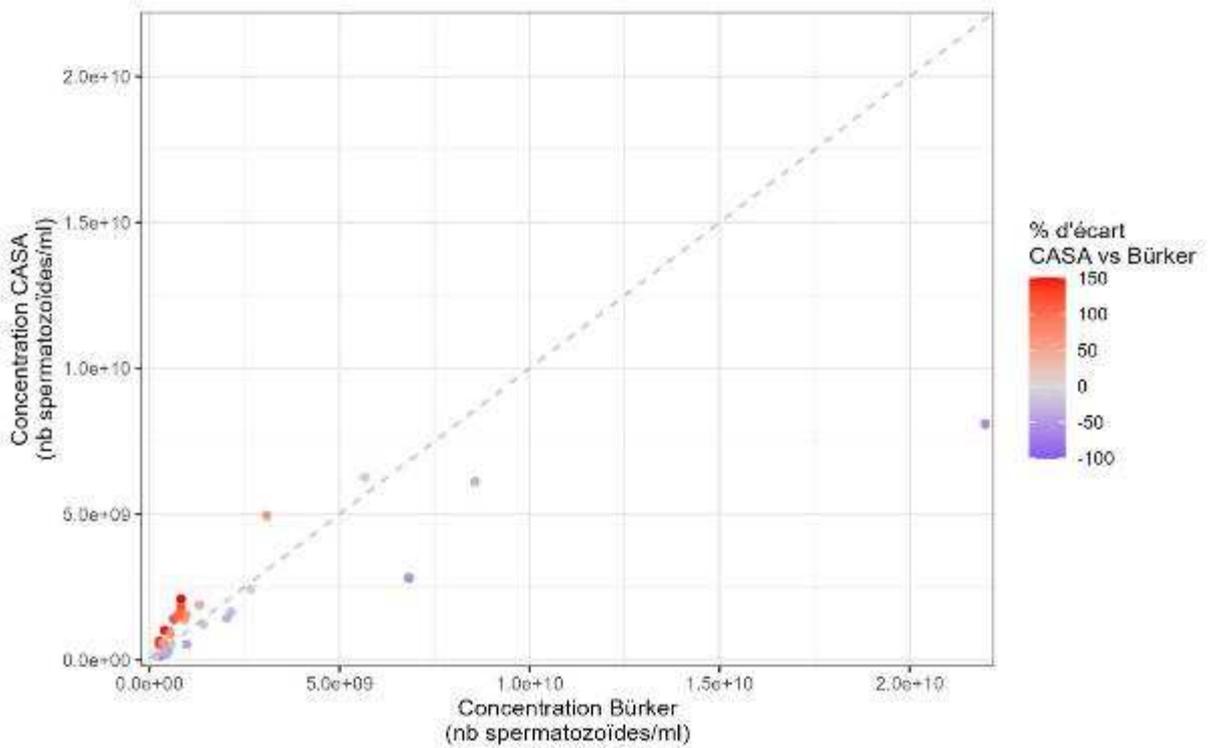


Figure 23 : Comparaison des concentrations CASA/Bürker sur 33 semences de mâles. L'échelle de couleur représente le pourcentage d'écart de la valeur de la concentration mesurée par CASA par rapport à celle mesurée par Bürker. La ligne pointillée représente la bissectrice

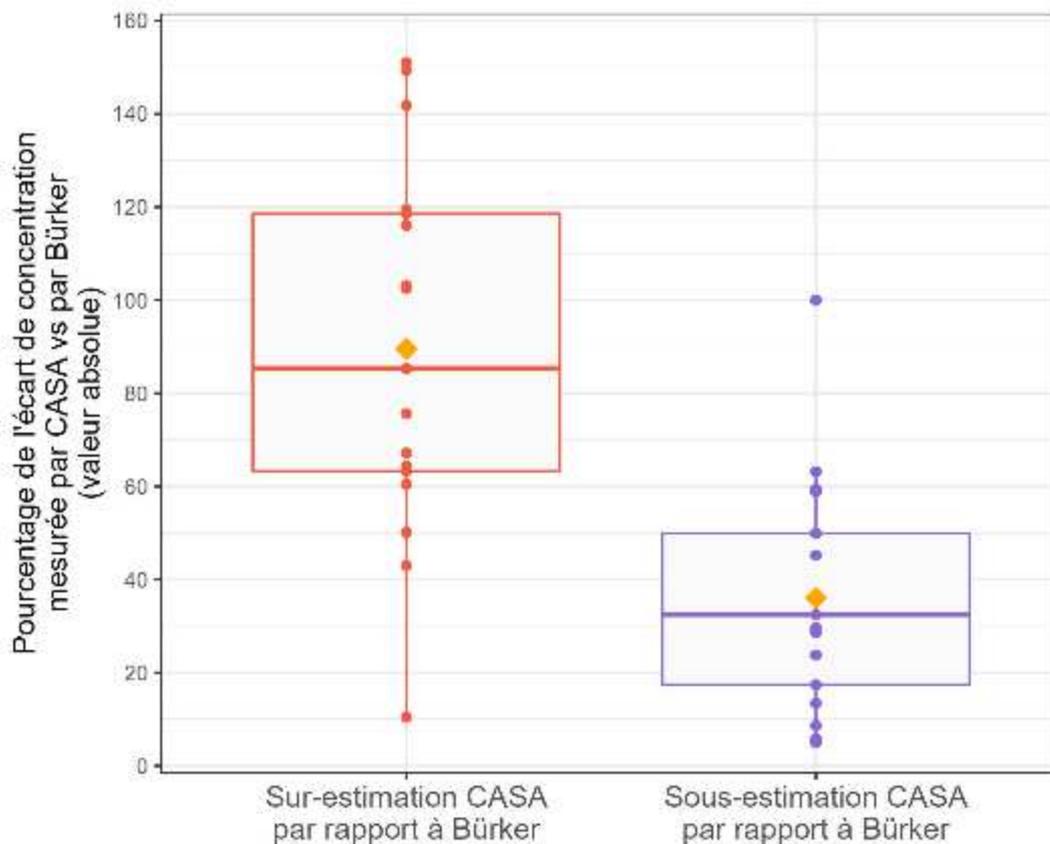


Figure 24 : Répartition des écarts de concentration entre CASA et Bürker

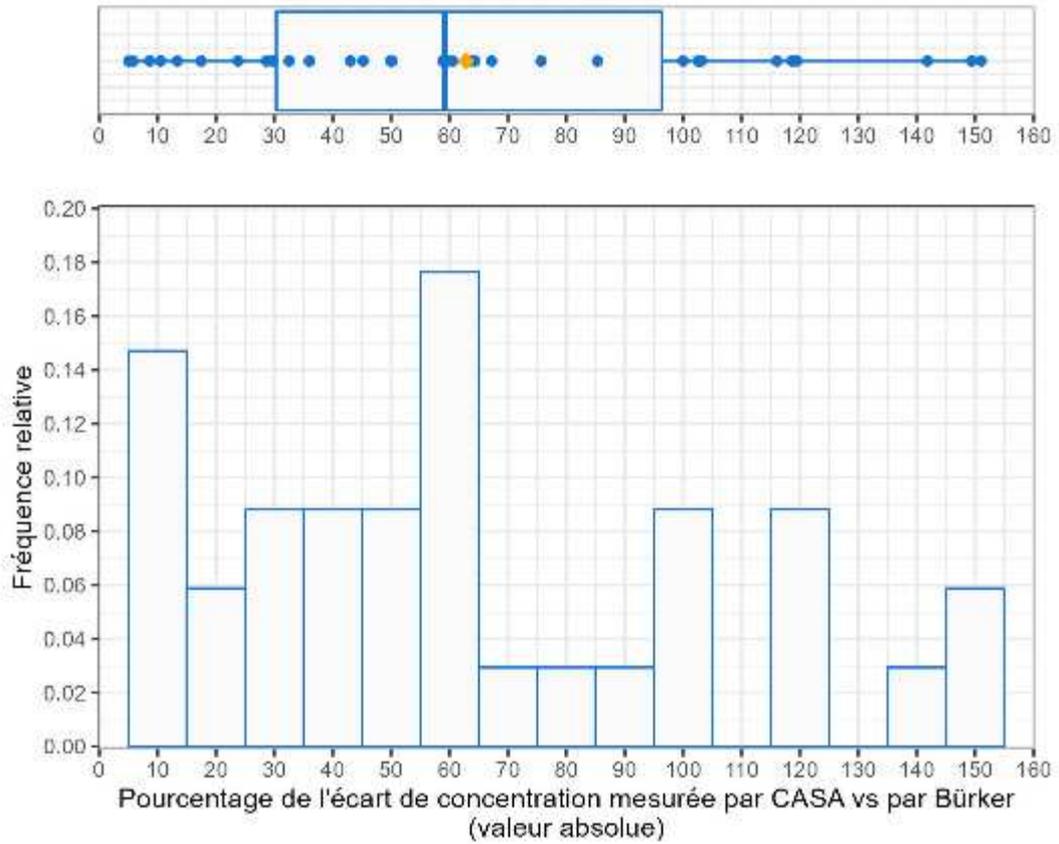


Figure 25 : Répartition de l'écart entre CASA et Bürker sur l'ensemble des mâles

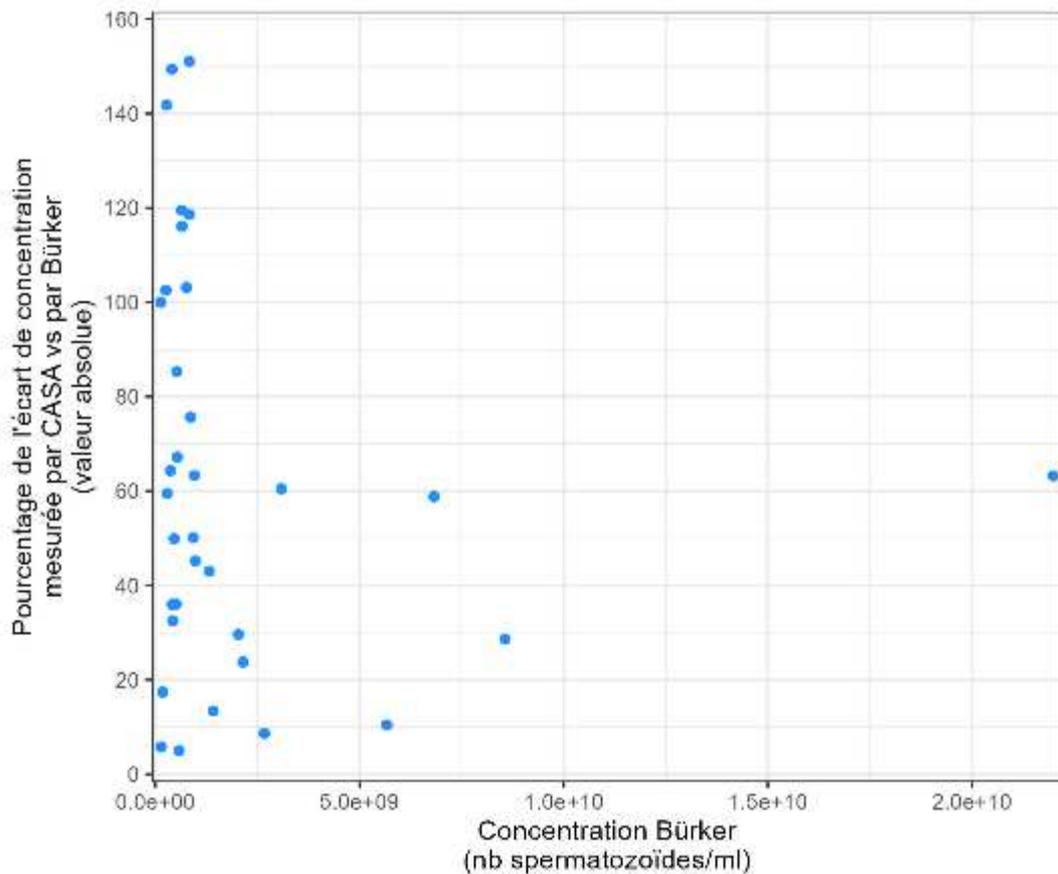


Figure 26 : Répartition des écarts entre CASA et Bürker en fonction de la concentration mesurée par Bürker

D'après la **Figure 25**, on remarque que les pourcentages d'écart entre CASA et Bürker sont très variables d'un mâle à l'autre et que le pourcentage d'écart entre CASA et Bürker n'est pas lié à la concentration mesurée avec Bürker (**Figure 26**).

En effet que nous ayons des concentrations fortes ou faibles, les fluctuations d'écart entre CASA et Bürker sont toujours aléatoires, il n'y a pas de tendance qui se dégage.

D'après toutes ses données il paraît difficile de savoir pourquoi nous avons tant de variations d'écart entre CASA et Bürker d'un mâle à l'autre.

Nous considérons que la mesure manuelle Bürker est plus fiable que la mesure par CASA donc dans les prochaines années nous mesurerons systématiquement la concentration par Bürker. Cependant la mesure avec CASA se fera toujours en parallèle pour tenter de déterminer le paramétrage qui pourrait nous amener à réduire ces écarts de mesure de concentration entre CASA et Bürker. La mesure de la concentration via le système CASA serait quand même beaucoup plus intéressante à utiliser en termes de résultat et de gain de temps s'il elle venait à être fiabiliser.

II.6 Conclusion

Les résultats de la saison 2022, tout comme 2021, sont plus encourageants et positifs que ceux des trois années antérieures à 2021, en termes de nombre et de qualité des semences récoltées.

En 2022 nous avons prélevé beaucoup plus de mâles qu'en 2021 même si la qualité n'était pas toujours au rendez-vous (seulement 3 mâles de très bonne à bonne qualité cette année).

Ceci a permis de congeler plus de 350 paillettes de 2 mâles différents.

On peut raisonnablement espérer que dans les années à venir les résultats s'amélioreront encore avec l'âge des individus.

Cependant il faudra revoir éventuellement le choix des mâles à utiliser pour de futures reproductions...cette année le choix ne s'est pas porté sur toutes les semences de meilleure qualité pour la fécondation au profit de la diversité génétique, ce qui a porté préjudice au succès de la reproduction en termes de nombre de larves à relâcher.

Concernant l'utilisation de CASA, cette année a été l'année d'une bonne prise en main malgré toutes les difficultés de paramétrage de l'outil. Les concentrations de sperme ont été analysées par 2 méthodes (CASA et Bürker) et il en résulte des écarts très importants entre les 2 méthodes.

Etant donné les résultats entre CASA et Bürker, il a été décidé, pour les prochaines années, de mesurer systématiquement les concentrations avec la cellule de numération Bürker en parallèle de CASA en attendant d'éventuelles améliorations du paramétrage de CASA.

Chapitre III : Essais d'incubation et d'élevage des premiers stades larvaires dans le système ZebTec

Bois A., Lalanne F., Vétillard F., Chèvre P.

III.1 Introduction

Le maintien de la diversité génétique est une nécessité dans les programmes de restauration d'espèces en danger. Dans le cadre du PNA sturio, il apparaît nécessaire de valoriser au mieux les potentialités génétiques conservées dans les semences congelées de mâles issus de cohortes anciennes. Ces croisements issus de fécondation avec du sperme congelé sont réalisés avec un petit nombre d'ovocytes (quelques centaines) et nécessitent des structures d'incubation adaptées. Par ailleurs la constitution de petits lots de larves peut s'avérer nécessaire dans le cadre d'expérimentation.

La mise au point/adaptation et la maîtrise technique d'un système d'incubation-premières phases de l'élevage pour de petits lots s'avèrent donc utiles dans le cadre du PNA.

Dans ce cadre nous souhaitons développer l'utilisation d'un portoir automatisé « ZebTEC » fabriqué par la société Tecniplast.

III.2 Objectif

L'objectif est d'évaluer les taux de survie durant l'incubation et les premiers stades larvaires dans le ZebTEC.

Nous avons mené une expérimentation consistant à incuber en parallèle des œufs d'*Acipenser ruthenus* dans le système ZebTec et dans le système utilisé jusqu'à maintenant.

Les résultats obtenus dans les 2 systèmes ont été comparé en termes de survie pendant l'incubation, taux d'éclosion et survie larvaire à J7.

III.3 Matériel et Méthodes

III.3.1 Présentation du Zebtech

Le système ZebTec se présente sous la forme d'une armoire comprenant 5 étages. Chaque étage peut accueillir 5 enceintes de 8,5 litres ou 10 enceintes de 3,5 litres. Le système est automatisé pour la recirculation et la reconstitution de l'eau dans les différentes unités d'élevages. Ce dispositif permet de pouvoir gérer précisément les paramètres de l'eau (pH, température, conductivité). La reconstitution de l'eau est réalisée à partir d'eau osmosée de manière automatisée.

L'eau recirculée est filtrée (filtre à tambour) et désinfectée (UV). Ces dispositifs de traitement de l'eau permettent une économie d'eau. Une recirculation d'eau plus poussée peut-être mis en place avec un système de filtration biologique, mais cette option n'a pas été testée.

III.3.2 Les croisements

Les pontes de 9 femelles ont été utilisées pour cette expérimentation.

Pour la partie ZebTec, chaque femelle a été croisée avec 3 mâles, soit 27 croisements différents.

Pour la partie incubateur, les pontes de chaque femelle ont été fécondées avec un mélange de sperme de 3 mâles, soit 9 croisements au total.

III.3.3 Procédure expérimentale

Procédure « classique » en incubateur

Cette méthode consiste à élever les embryons dans des boîtes de Petri, placées dans un incubateur thermostaté. Un changement partiel de l'eau d'élevage a été réalisé 2 fois par jour. Le nettoyage des boîtes et le dénombrement des embryons morts et/ou éclos sont réalisés quotidiennement. Pour chacun des 9 croisements, 100 œufs ont été placés par boîte de Petri, ce qui correspond à l'utilisation d'environ 900 œufs.

Les paramètres de l'eau utilisée ont été les suivants :

Eau de forage (pH environ 7.5, conductivité d'environ 400 μ S/cm)

T°C : 15°C

Renouvellement : Manuel 2 fois par jour

Procédure ZebTec

Pour chaque croisement, 100 œufs par femelle ont été placés dans une unité d'incubation. Au total, 27 unités d'incubation différentes (aquarium 3,5L) ont été mobilisées, soit l'utilisation d'environ 2700 œufs. Une maille fine de 300 μ m a été installée sur le fond de chaque enceinte pour prévenir l'échappement de œufs. Cette maille a été enlevée après l'éclosion.

Chaque jour, un dénombrement des embryons mort et/ou éclos a été réalisé.

Les paramètres de l'eau utilisée ont été les suivants:

pH : 7,5

Conductivité : 400 μ S/cm

T°C : De 15 à 18°C

Taux de renouvellement : 33%/jour

III.4 Résultats

Les taux de survie post éclosion ont été comparés entre les 2 méthodes d'incubations. Un suivi jusqu'à 16dpf, toutes méthodes confondues a ensuite été réalisé.

La survie à l'éclosion est légèrement supérieure en boîtes de Petri, avec 62,3 % \pm 10,8 % en boîte de Petri et 53,8 % \pm 9,6 % pour le ZebTec. Cette différence est en grande partie expliquée par les différences de résultats pour la femelle 5.

Les résultats détaillés par femelle confirment cette analyse (**Figure 27**). Ce graphique met également en évidence les différences de qualité entre les pontes. La différence de survie entre les 2 procédures pour la femelle 5 n'est pas expliquée.

Les résultats à J7 (**Figure 28**) confirment les différences inter-individuelles.

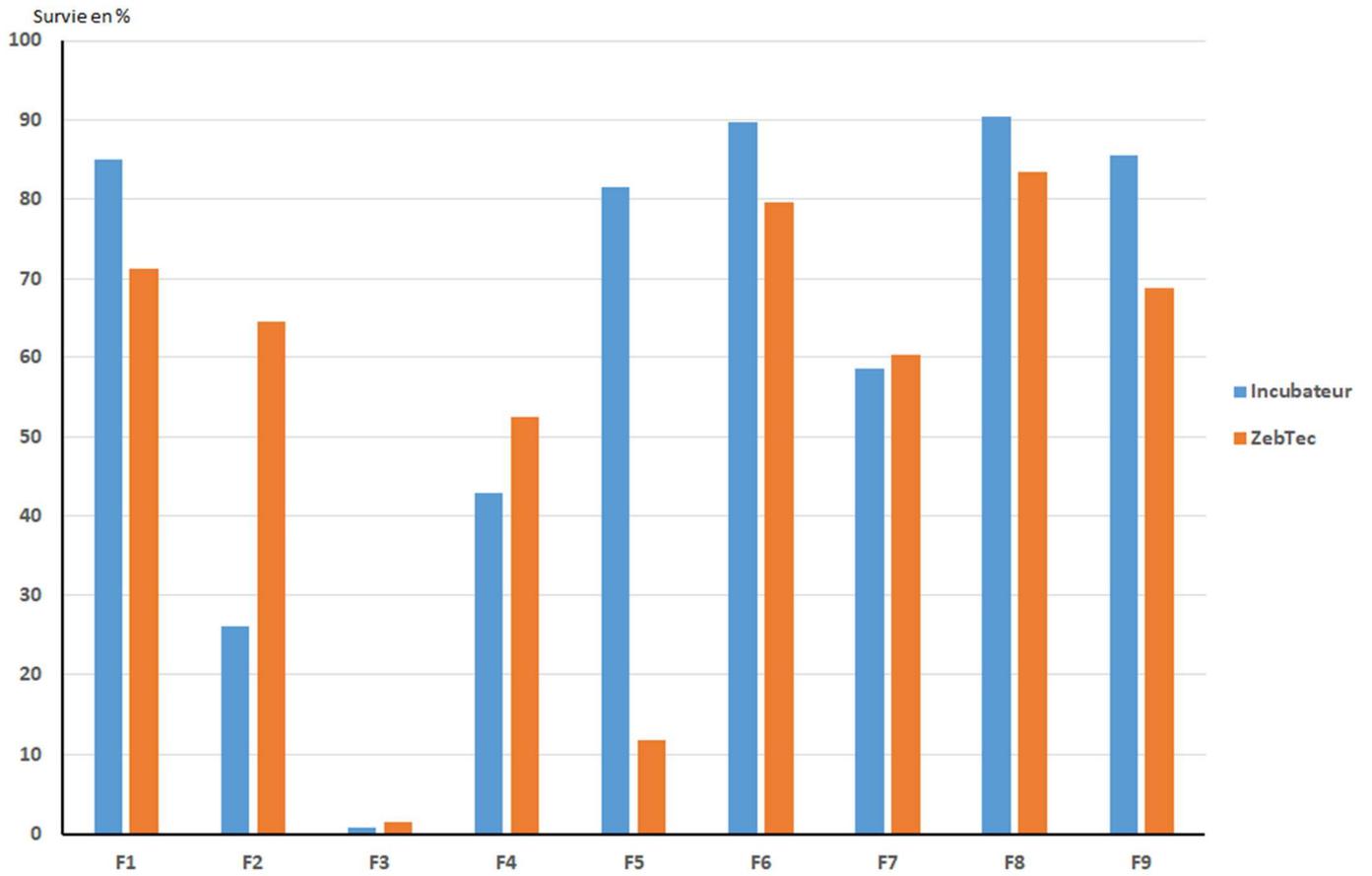


Figure 27 : Survie à l'éclosion dans les 2 systèmes pour chaque femelle

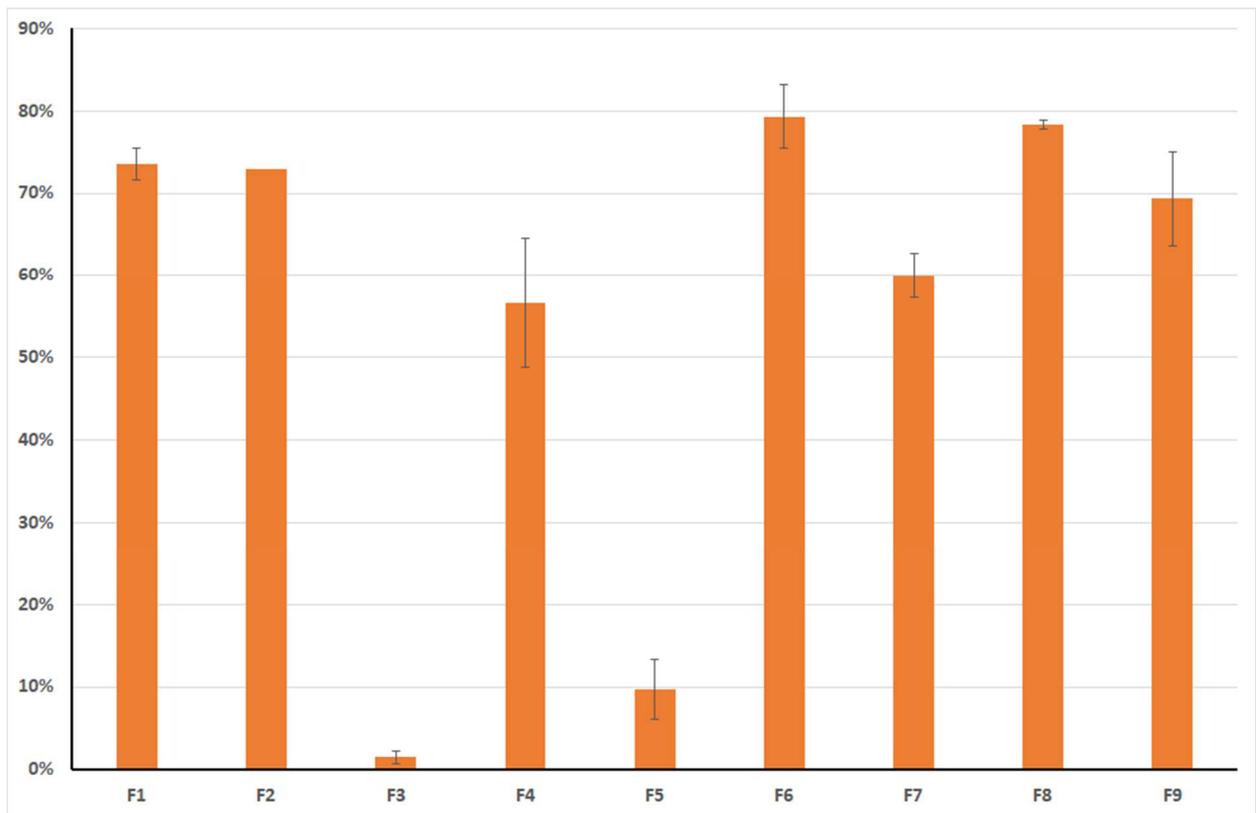


Figure 28 : Survie à J7 dans le système ZebTec

III.5 Conclusion

Cette expérimentation montre que l'utilisation du ZebTec pour l'incubation des embryons donne des résultats globalement comparables à l'incubation « classique » en laboratoire. De fortes mortalités ont été constatées dans les 2 conditions pour des œufs provenant de 3 femelles, ce qui tend à indiquer que les mortalités obtenues ne sont pas toutes directement liées aux modes d'incubation, mais aussi à la viabilité des œufs des femelles. L'utilisation du ZebTec pour l'élevage d'embryons *A. sturio* semble pertinent, surtout pour de petits lots d'une centaine d'individus. Un travail de simplification du travail au quotidien est à réaliser.

Les axes de simplifications (non exhaustifs) sont les suivants :

- Élimination des embryons qui ne passent pas à 4 cellules,
- Essai de l'incubation directement dans le fond des aquariums,
- Utilisation d'une maille de sortie plus large.

Chapitre IV : Effet de l'exposition d'embryons d'esturgeon à deux fongicides : Boscalid et Imazalil

Clémentine Ely^{1,2,3}, Blandine Davail², Patrick Chèvre¹, Fabrice Vétillard¹, Fabien Polèse¹, Alex Bois¹, Florent Lalanne¹, Christophe Robinson, Maud Pierre¹, Jérôme Cachot² et Eric Rochard¹

¹ INRAE Unité EABX

² Université de Bordeaux UMR 5805 EPOC

³ Université de Toulon

IV.1 Contexte

Nous sommes désormais en attente de la reproduction en milieu naturel des esturgeons issus de reproductions assistées et relâchés pour l'essentiel à des jeunes stades entre 2007 et 2015. Nous avons une connaissance *a priori* des sites qui hydromorphologiquement pourraient correspondre à des habitats de reproduction pour des esturgeons (Jego *et al.*, 2002). Un travail de mise à jour de l'état de ces sites a également été effectué par Migado ces dernières années (Lauronce *et al.*, 2019; 2020; Lauronce *et al.*, 2021).

Au-delà de leurs caractéristiques physiques, un travail a été réalisé sur les effets possibles de leur qualité écotoxicologique (Delage *et al.*, 2014; Delage, 2015; Delage *et al.*, 2020) sur le développement embryonnaire de l'esturgeon européen *A. sturio*.

IV.2 Objectifs

Pour aller plus loin, et mieux mesurer les risques auxquels s'attendre en matière d'effets de l'environnement des zones de frayères sur le développement des embryons, il serait nécessaire i) de tester les effets des principaux produits phytosanitaires sur des embryons d'esturgeons et ii) idéalement de réaliser des expositions d'embryons *ex situ* à l'eau du milieu naturel. Pour des raisons de disponibilités et de prise de risque le premier point ne peut pas être effectué actuellement avec des embryons d'esturgeon *A. sturio* et ne peut donc être envisagé qu'avec une espèce modèle d'esturgeon. Le second point a été abordé lors de l'ANR SturTOP, à la fois avec des embryons de *A. sturio* et de *A. baerii* mais s'est heurté à de grosses difficultés liées au dispositif d'exposition. Un travail de mise au point technologique initié en 2021 sur une autre espèce de poisson pourrait permettre de disposer prochainement d'un dispositif permettant cette exposition contrôlée à l'eau du milieu naturel¹.

Pour avancer sur cette question, un projet collaboratif associant INRAE, l'université de Bordeaux et l'université de Galati (Roumanie) a été initié en 2021². Il s'agit d'examiner les effets de deux fongicides très répandus sur le développement d'embryons d'esturgeons. Une première série d'expérimentation a été effectuée en 2021 (Robinson, 2021). Les expérimentations 2022 ont fait l'objet du stage de master de Clémentine Ely (2022) dont est issu ce chapitre ; voir son rapport de stage pour plus de détails.

¹ Projet X-situ financé dans le cadre d'une action ressource du Carnot eau et Environnement.

² Ces actions ont été effectuées dans le cadre d'un partenariat entre la région Nouvelle Aquitaine et l'université de Galati (Roumanie), qui a financé la stagiaire et les frais de déplacement France-Roumanie.

IV.3 Matériels et méthodes

IV.3.1 Substances chimiques utilisées

Pour cette seconde année nous avons renouvelé les expositions effectuées en 2021, à savoir caractériser les effets de deux substances fongicides : boscalid et imazalil sur des embryons d'esturgeons.

Le boscalid appartient à la famille des carboxamides ; depuis son entrée sur le marché mondial en 2003, son usage n'a cessé d'augmenter.

C'est un fongicide aniline qui est régulièrement utilisé sur les vignes dans le traitement des champignons pathogènes comme par exemple, *Rhizoctonia solani*, *Phoma lingam*, *Cladosporium spp.* et *Penicillium spp.* Il est également utilisé sur des cultures de céréales, de fruits/légumes ou encore dans le traitement de semences, du coton, des plantes ornementales ou encore du gazon.

C'est une molécule très hydrophobe, facilement adsorbée par les phases solides. Il est lentement biodégradable avec une mobilité modérée dans les sols et est donc sujet à s'accumuler dans les compartiments. Le boscalid est couramment retrouvé dans les milieux aquatiques d'eau douce et en estuaire ainsi que dans les sédiments et les organismes aquatiques (Houbraken *et al.*, 2017; Deknock *et al.*, 2019). Une concentration maximale de 36 µg/L a été détectée dans trois grands estuaires en Californie (Vu *et al.*, 2016). Les moyennes annuelles retrouvées dans l'eau douce destinée à la production d'eau potable étaient de 0,1 µg/L et dans l'eau destinée à la production d'eau non potable de 11,6 µg/L.

L'imazalil appartient à la famille des imidazoles, il fait partie des composés azolés à deux atomes d'azote. Ce fongicide a fait son apparition en Europe au début des années 1990 mais ses premières utilisations sur les cultures ont commencé au début des années 1970. Les azoles sont couramment employés sur les cultures car ils sont considérés parmi les fongicides les plus efficaces pour le traitement des agents pathogènes fongiques.

Tout comme le boscalid, l'imazalil est très employé sur diverses cultures notamment de fruits/légumes comme de bananes et d'agrumes mais également sur le traitement des semences de pommes de terre afin de les préserver des infections fongiques et de la pourriture.

L'imazalil possède des propriétés d'inhibition de la synthèse de la paroi cellulaire, il possède un large spectre d'action et est donc susceptible d'engendrer une toxicité sur d'autres espèces.

L'imazalil est comme le boscalid assez hydrophobe et facilement adsorbée en phase solide. Il possède des propriétés de bioaccumulation ainsi qu'une grande persistance dans l'environnement avec un temps de demi-vie de 163 jours dans un système eau-sédiment. L'imazalil est couramment retrouvé dans les échantillons de fruits, de légumes, de sol et d'eau de surface ainsi que dans les organismes aquatiques non ciblés (Ccanccapa *et al.*, 2016). Des concentrations en imazalil atteignant les 409,73 ng/L ont été détectées dans des échantillons d'eau du bassin de l'Èbre en Espagne (Ccanccapa *et al.*, 2016). Dans des zones agricoles très polluées, elles ont été détectées à quelques centaines de ng/l et même à 1000 ng/L (Belenguer *et al.*, 2014; Ccanccapa *et al.*, 2016). Une concentration en imazalil de 6,39 ng/g a également été détectée dans des échantillons de poissons provenant de la rivière Júcar en Espagne (Belenguer *et al.*, 2014). Ses moyennes annuelles en eau douce et marine ont été estimées à 16 ng/L (INERIS, 2015).

Nous avons réalisé les solutions mères de boscalid et d'imazalil au laboratoire EPOC de l'Université de Bordeaux. Elles ont ensuite été diluées afin d'obtenir les concentrations cibles de 10 µg/L et 1 µg/L en boscalid et imazalil dans le dispositif expérimental.

Afin de vérifier la concentration des contaminants, des échantillons d'eau ont été prélevés dans le dispositif, au début et à la fin l'expérimentation. Pour les 4 conditions boscalid et imazalil, des échantillons d'eau supplémentaires ont été prélevés à 3 et 8 jours après la fécondation. Les analyses ont été effectuées par le Laboratoire des Pyrénées et des Landes (LPL)³.

IV.3.2 Dispositif expérimental

Compte tenu du caractère hydrophobe des molécules utilisées, nous avons fait fonctionner le dispositif expérimental avec les concentrations cibles pendant plusieurs jours avant le démarrage de l'exposition, ceci de façon à rechercher un équilibre entre la concentration dans l'eau et sur les surfaces immergées.

Le dispositif expérimental (**Figure 29**) a été conçu afin d'exposer les embryons à six conditions : témoin, témoin solvant, boscalid à 1 µg/L, boscalid à 10 µg/L, imazalil à 1 µg/L, imazalil à 10 µg/L. Il a été adapté de celui utilisé par Christophe Robinson lors de son stage de Master (Robinson, 2021). Chaque condition comprenait six incubateurs répliques d'1L (36 au total) inspirés de ceux développés par Delage (2015). Suite à la fécondation, une centaine d'embryons a été disposée dans chaque incubateur.

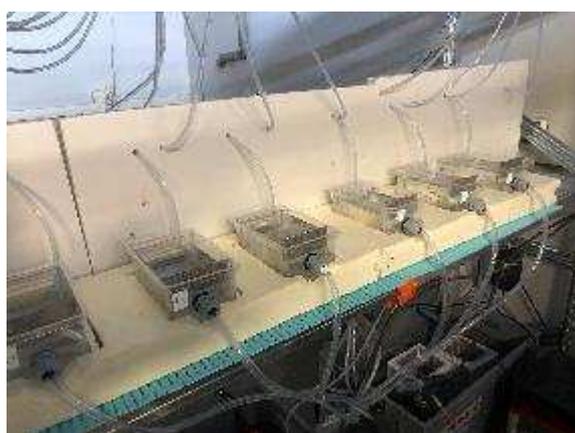


Figure 29 : Incubateurs (gauche) et dispositif d'exposition utilisé (droite). A l'étage du bas la thermorégulation de l'eau en provenance des incubateurs et son retour vers les pompes péristaltiques, au milieu les incubateurs et en haut les pompes permettant la circulation vers les incubateurs

L'exposition des embryons/larves a duré jusqu'à la résorption de la vésicule vitelline des larves à 15 dpf. La température ainsi que la concentration en oxygène de l'eau des aquariums d'alimentation ont été mesurés et enregistrés toutes les 15 minutes (automate SOFREL, S550, LACROIX). De plus, des mesures de pH et des concentrations en ammonium et nitrite ont été effectuées tous les trois jours à l'aide d'une sonde multiparamétrique et de tests en cuve (Hach Lange®).

³ <https://labopl.com/>

Pendant l'expérimentation, les embryons/larves ont été maintenus à une température de $15^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, ce qui correspond à l'optimum de développement de cette espèce. Pour toutes les conditions, la concentration moyenne en oxygène dissous était de 9 ± 0.8 mg/l (89% de saturation), le pH de $8,4 \pm 0,1$. Les concentrations en nitrites se situaient toujours sous la plage de mesure des tests en cuve de 0,015 mg/l et celles en ammoniac ont atteint au maximum 0,5 mg/l.

IV.3.3 Embryons utilisés

Dix femelles et dix mâles provenant du stock d'*Acipenser ruthenus* de la station d'expérimentation INRAE de Saint-Seurin-sur-l'Isle ont été sélectionnés afin d'obtenir les embryons/larves nécessaires à la réalisation de cette étude.

La date de reproduction correspondant au début de l'expérimentation a été choisie en fonction de l'état de maturation des poissons. Les poissons sélectionnés pour réaliser l'expérience ont été transférés puis maintenus dans des bassins dont la température de l'eau a été progressivement augmentée à 15°C .

Les géniteurs ont été stimulés par une injection d'hormone à base d'extrait hypophysaire de carpe (CPE). Puis les gamètes ont été prélevés par massage 24 heures après l'injection hormonale pour les mâles et 33 heures pour les femelles et conservés respectivement à 5°C et 10°C .

Dans le cadre de cette expérience, un pool de semences de quatre mâles a été constitué afin de réduire la variabilité de la capacité de fécondation des spermatozoïdes entre chaque mâle (Linhart *et al.*, 2020). Les œufs de quatre femelles ont été sélectionnés en fonction du nombre d'œufs au gramme obtenu par pesée et de leur phase de maturité ovocytaire. Ainsi, un pool d'œufs conservés dans du liquide coelomique a été constitué et le poids relatif de 100 œufs était de 2,3 grammes.

Afin de réaliser la fécondation, 100 œufs pesés à l'aide d'une balance de précision ont été mis en contact direct avec 125 μL de semence et 10 ml d'eau. La dilution de la quantité de spermatozoïdes (ratio 1:100) permet notamment de réduire l'apparition de polyspermie (Dettlaff *et al.*, 1993) tout en gardant un haut potentiel de fécondation. Deux minutes après, les œufs ont été placés dans les incubateurs. En effet, les œufs, une fois fécondés deviennent adhésifs et il devient alors difficile de les manipuler sans les endommager. Ce processus a été répété successivement afin d'obtenir une centaine d'œufs pour chacun des 36 incubateurs du dispositif expérimental.

Le taux de fécondation a été évalué au stade quatre cellules (6 hpf) à 83 %. Les œufs ne présentant pas de division cellulaire à 6 hpf ont été considérés comme non fécondés.

IV.3.4 Observations réalisées

Pour chacune des conditions nous avons effectué un suivi de l'embryogénèse (mortalité, anomalies de développement, taux et délais d'éclosion). Une fois éclos, des analyses ont été réalisées concernant la fréquence cardiaque, la biométrie, les malformations éventuelles et la génétique sur les larves avant résorption du sac vitellin. Des observations comportementales ont également été effectuées grâce à un dispositif Daniovision (Noldus Information Technology B.V.®) équipée d'une caméra infrarouge à 1 dph sur 6 larves sur cinq replicas pour les conditions témoin, témoin solvant, boscalid $1\mu\text{/L}$ et imazalil $1\mu\text{/L}$ (**Figure 30**). Les larves ont été successivement exposées après une période de repos de 5 minutes dans la chambre avec un cycle de 10 minutes d'obscurité, 30 secondes de lumière, 5 minutes de repos puis 30 secondes de vibration et 5 minutes de repos.



Figure 30: Ecran du dispositif Daniovision pendant un test comportemental de 12 individus de 2 groupes différents

A 14 dpf, six larves sur cinq replicas des conditions, témoin, témoin solvant, imazalil et boscalid à 1 µg/L (120 larves au total) ont été anesthésiées afin d’analyser leur rythme cardiaque.

A 15 dpf, six larves sur cinq replicas pour toutes les conditions (180 larves au total) ont été euthanasiées à l’aide d’une solution d’isoeugénol dans le but de réaliser des analyses biométriques.

Ces biomarqueurs ont permis de déterminer l’état de santé des embryons/larves face aux stress chimiques des contaminants.

IV.3.5 Analyses génétiques

Seuls les échantillons de l’expérimentation de 2021 ont fait l’objet d’analyses transcriptomiques.

Lors de cette exposition 2021, 5 embryons ou larves pour chaque condition, excepté la condition témoin, ont été prélevés à différents temps ; 4, 72, 180, 216, 240 et 288 hpf puis conservés dans du RNAlater au réfrigérateur à 5°C pendant une nuit puis au congélateur à -20°C.

Lors de l’exposition 2022, un prélèvement de six larves sur cinq replicas pour les conditions témoin, témoin solvant, imazalil 1 et boscalid 1 à 1 dph a été effectué. Six larves de trois replicas pour toutes les conditions ont également été prélevées à 7 dph à la fin de l’expérimentation. Les échantillons ont ensuite été conservés dans du RNAlater au réfrigérateur à 5°C pendant une nuit puis au congélateur à -20°C. Ces prélèvements ont été effectués pour d’éventuelles analyses ultérieures.

L’ensemble des analyses suivantes a été effectué à la Station marine d’Arcachon du laboratoire EPOC. Les ARN totaux des échantillons avaient été extraits lors d’un précédent stage (Robinson, 2021) avec un kit d’extraction (Promega®). Ils avaient ensuite été purifiés puis transformés en ADNc par reverse transcription.

L'amplification des ADNc des échantillons à 72 et 288 hpf a ensuite été réalisée à l'aide d'un kit GoTaq® qPCR Master Mix, Promega et un LightCycler® 480 afin de quantifier l'expression de gènes ciblés. La machine PCR (LightCycler® 480) a permis de détecter le nombre d'amplicon (portion d'ADN définie par un couple d'amorce) dans chaque échantillon en procédant à une mesure de fluorescence due à un marqueur fluorescent se fixant sur les séquences d'ADN à amplifier (SYBR green). La quantité d'ARNm des gènes d'intérêts a ensuite été évaluée en suivant la méthode du $\Delta\Delta Ct$ (Livak & Schmittgen, 2001). A la fin de la réaction de RT-qPCR, il est possible d'obtenir une valeur de Ct (Cycle threshold). Cette dernière correspond au cycle à partir duquel la fluorescence peut être détectée par l'instrument de mesure ; plus précisément à l'intersection entre la courbe d'amplification du gène d'intérêt et une ligne de seuil définie par le logiciel. Elle représente donc une mesure relative de la concentration du gène d'intérêt dans la réaction

IV.3.6 Analyse histologique

A 7dph, cinq larves sur cinq replicas pour toutes les conditions, ont été récupérées des précédentes analyses biométriques. Les échantillons larvaires ont été fixés dans du formalin tamponné à 10% et conservés à température ambiante. Des coupes histologiques devraient être réalisées ultérieurement par l'Université de Galati.

IV.4 Résultats

IV.4.1 Concentrations effectives

Les analyses montrent des concentrations en contaminant dans le système, plus faibles que celles recherchées. Au commencement de l'expérimentation (0 dpf), les embryons ont été exposés à des concentrations de 0,28 $\mu\text{g/L}$ d'imazalil pour la condition I1 supposée être à 1 $\mu\text{g/L}$ et à 3,5 $\mu\text{g/L}$ pour celle I2 devant être à 10 $\mu\text{g/L}$. Concernant le boscalid, elles étaient de 0,63 $\mu\text{g/L}$ pour celle attendue dans la condition B1 à 1 $\mu\text{g/L}$ et de 6,8 $\mu\text{g/L}$ pour celle B2 à 10 $\mu\text{g/L}$. Les concentrations en contaminant supposées mimer celles retrouvées lors de pic de contamination dans l'environnement, autour de 10 $\mu\text{g/L}$, n'ont pas été atteintes. Une diminution progressive des concentrations a été observée au cours du temps. Cet effet est particulièrement marqué dans la condition d'imazalil. Ces résultats ne sont pas surprenants, l'imazalil et le boscalid sont deux molécules hydrophobes qui ont des propriétés d'adsorption importantes en phase solide. Il est donc très probable qu'au vu des concentrations visées, malgré les précautions prises, le dispositif expérimental n'a pas été saturé et que cette diminution progressive des concentrations au cours du temps s'explique par une adsorption sur les parois des incubateurs, des aquariums ou des tuyaux.

IV.4.2 Taux de mortalité

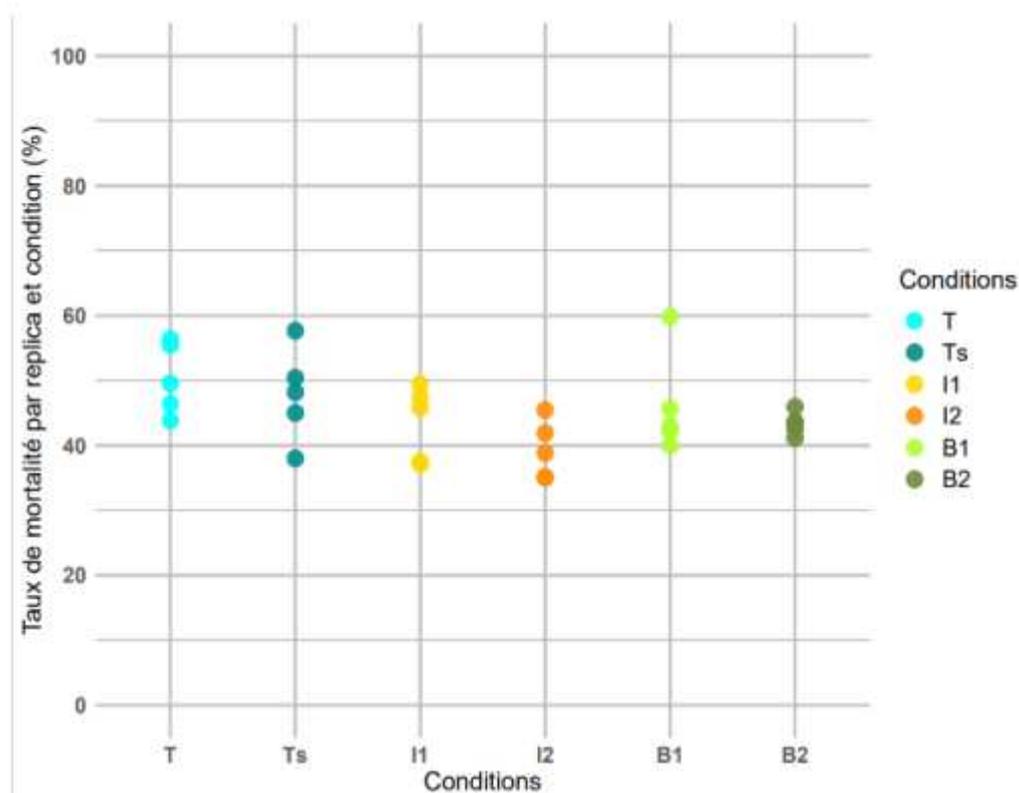


Figure 31: Taux de mortalité embryonnaire final (%) des embryons d' *A.ruthenus* calculés à partir de 5 replicas pour les conditions témoin T, témoin solvant Ts, imazalil I1 et I2, boscalid B1 et B2.

La **Figure 31** représente le taux de mortalité embryonnaire final observé pour les différentes conditions. Les mortalités du premier jour post-fécondation (avant 19 hpf) n'ont pas été incluses dans ces calculs afin de ne pas introduire les biais de manipulation et de non-fécondation des embryons. Pour toutes les conditions, une nette augmentation de la mortalité embryonnaire a été observée durant les 91 premières heures suivant la fécondation jusqu'à atteindre un plateau. Les taux de mortalité cumulé finaux variaient de 39 % pour la condition I2 à 49 % pour le témoin. Il est possible d'observer que les taux de mortalité entre les replicas des conditions variaient peu. L'ANOVA à 1 facteur n'a révélé aucune différence significative des taux moyens de mortalité entre les conditions ($p\text{-value}=0,082 >0.05$).

Il est probable qu'aux concentrations effectivement testées (de l'ordre des concentrations moyennes environnementales), les fongicides ont pu jouer un rôle protecteur sur les embryons du fait de leurs propriétés antifongiques et abaisser les risques de mortalités. En effet, une des principales causes de mortalité des embryons est le développement de champignons tels que la *Saprolegnia parasitica*.

Le manque de littérature sur les effets des fongicides sur les esturgeons apporte peu d'éléments de comparaison possible vis-à-vis des taux de mortalité obtenus à des doses environnementales en boscalid et imazalil.

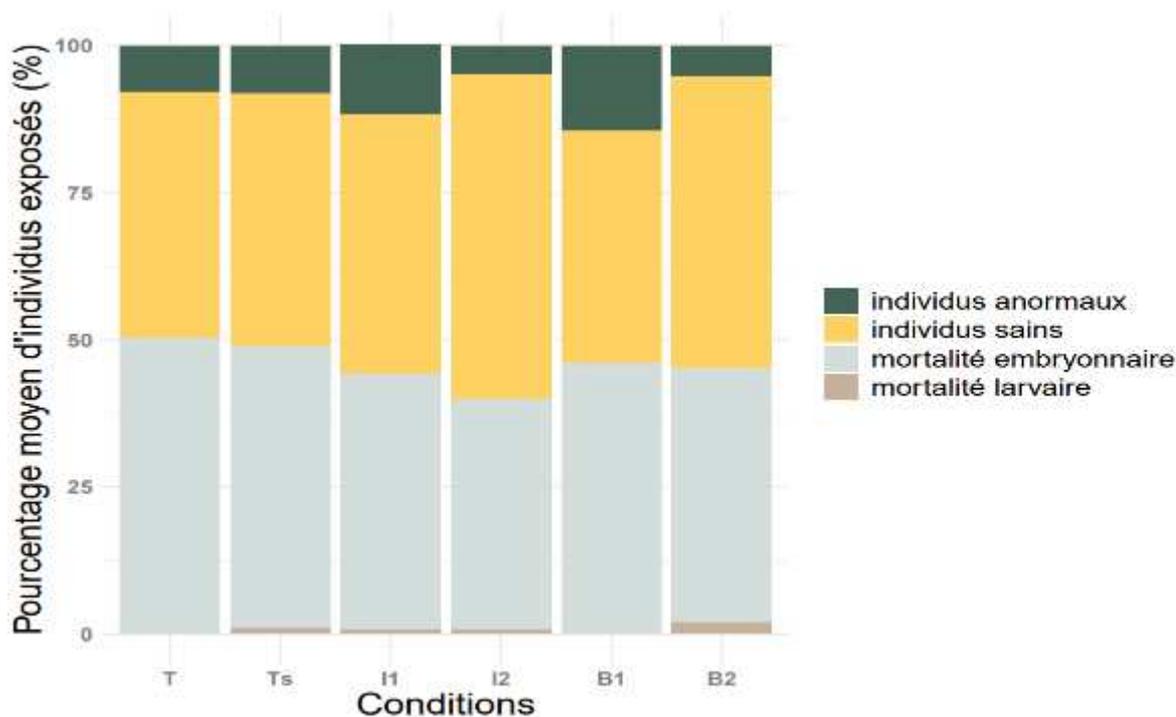


Figure 32: Pourcentages moyens des individus anormaux, sains et des mortalités embryonnaires et larvaires de l'ensemble des individus exposés calculés à partir 5 replicas pour les conditions témoin, témoin solvant, imazalil I1 et I2, boscalid B1 et B2

La **Figure 32** représente les mortalités embryonnaire et larvaire ainsi que les taux moyens d'individus anormaux et sains en fin d'expérimentation. Aux doses environnementales étudiées, l'imazalil et le boscalid entraînent de faibles taux de mortalité larvaire (maximum 2 % pour la condition B2). Le nombre de larves malformées étaient également faible dans toutes les conditions (min. 5,0 % pour la condition I2, max. 14,5 % pour la condition B1).

Dans la littérature, à la suite d'expositions à des concentrations nettement plus élevées (Qian *et al.*, 2018) avaient rapporté diverses malformations chez des embryons de poissons zèbres après une exposition au boscalid à partir de 2 mg/L (oedème du sac vitellin et péricardique, déformation de la colonne vertébrale). De même, l'imazalil a également entraîné un pourcentage de malformations important chez des larves de poissons zèbres à partir de 10 µM (Jin *et al.*, 2016). Chez les esturgeons des malformations squelettiques, des yeux non développés, des hémorragies (péricardiques, péritonéales, cardiaques) ou encore une dépigmentation ont été observé à la suite d'expositions à divers autres contaminants : selenium (Silvestre *et al.*, 2010) ; plomb (Cristina *et al.*, 2018); divers genotoxiques (Gazo *et al.*, 2021).

IV.4.3 Cinétique d'éclosion

La **Figure 33** représente l'évolution du taux moyen d'éclosion des embryons, calculé en fonction du nombre d'éclosion par jour par rapport au nombre d'individus restants ce même jour dans chaque replica. Le nombre d'éclosion a augmenté de manière progressive à partir de 115 hpf jusqu'à atteindre un maximum à 187 hpf pour toutes les conditions. À la suite de ce pic, il ne restait que peu d'embryons à éclore dans les incubateurs.

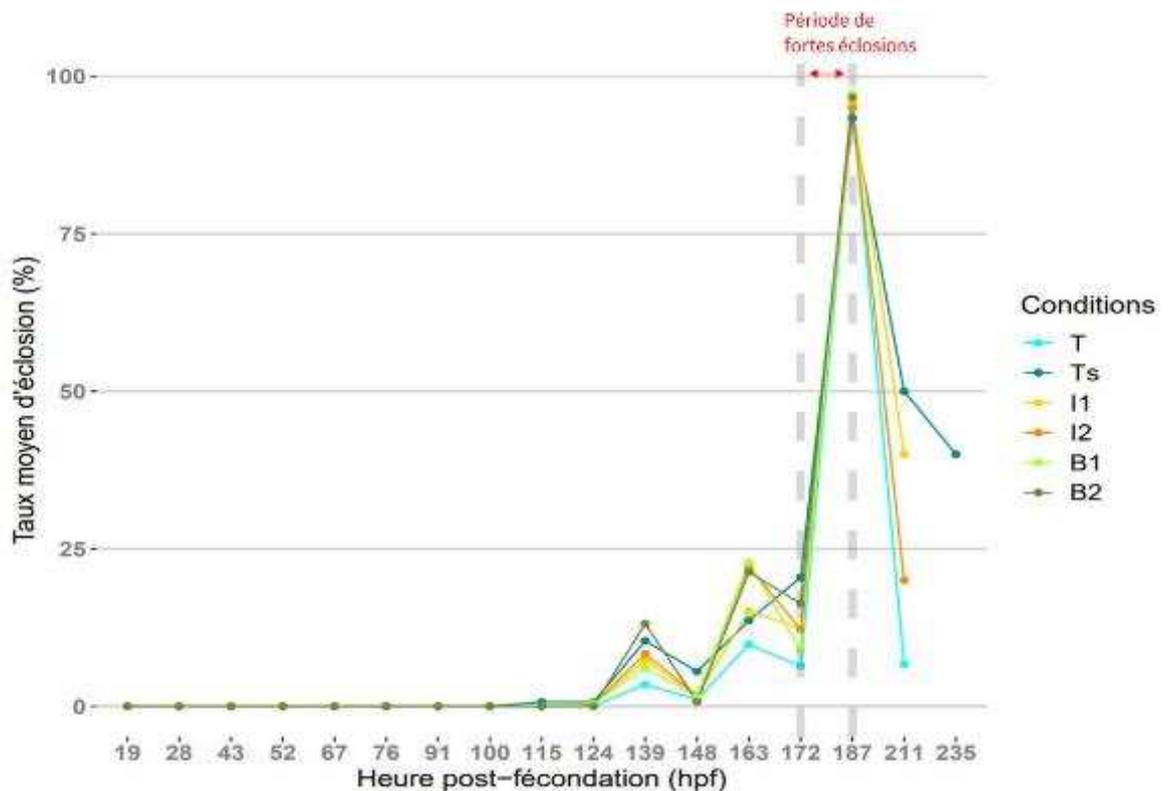


Figure 33: Taux moyens instantané d'éclosion de 0 hpf à 259 hpf des embryons d' *A. ruthenus* calculés à partir de 5 replicas pour les conditions témoin, témoin solvant, imazalil I1 et I2, boscalid B1 et B2. Le dernier point de chaque courbe représente le temps à partir duquel il ne restait plus aucun individu à éclore.

Au bilan les taux d'éclosion variaient de 49,7 à 60,7 %. Une ANOVA à un facteur, réalisée sur ces taux n'a pas révélé de différence entre les conditions d'exposition ($p\text{-value}=0,082 > 0,05$). Cette cinétique d'éclosion s'accorde relativement avec les temps d'éclosion observés pour *A. ruthenus* dans d'autres études (Muscalu-Nagy & Muscalu-Nagy, 2009). A la suite d'une exposition à d'autres contaminants, des retards d'éclosion ainsi qu'une réduction du succès d'éclosion ont par contre été observés chez des embryons exposés à différents contaminants (Cristina *et al.*, 2019; Gazo *et al.*, 2021). Aux concentrations environnementales étudiées au cours de cette étude aucun impact significatif sur le succès d'éclosion d'embryons d'*A. ruthenus* a été mis en évidence. Les études réalisées jusqu'à présent pour étudier l'impact du boscalid et de l'imazalil l'ont été à des doses beaucoup plus élevées que celles de cette expérimentation et sur des organismes autres que des esturgeons, ce qui peut donc amener à des résultats très différents de ceux obtenus ici.

IV4.4 Activité cardiaque

Le rythme cardiaque moyen le plus élevé a été observé chez les larves de la condition imazalil 1 avec 103 battements par minute (BPM) suivi de celui des larves de la condition témoin solvant à 100 BPM. Les rythmes cardiaques les plus faibles ont été retrouvés pour les conditions témoin et boscalid avec respectivement 88 BPM et 87 BPM. Une variation relativement importante du rythme cardiaque entre replica de larves a été observée pour la condition boscalid notamment.

Il existe une différence significative entre la fréquence cardiaque des larves du témoin solvant et celle de B1. Le boscalid aurait tendance à faire diminuer le rythme cardiaque. Des résultats similaires ont été obtenus lors d'une étude menée par Qian *et al.* (2018), où une baisse significative du rythme cardiaque a été observée chez des embryons de poissons-zèbres exposés à des concentrations en boscalid allant de 1,7 à 2,9 mg/L. Ceci semble physiologiquement cohérent, en effet, pour rappel, le boscalid est un inhibiteur de la production d'ATP mitochondrial dans les cellules. Les conséquences de cette perte en énergie peuvent affecter les cellules musculaires du cœur nécessitant une grande quantité d'énergie afin de pouvoir fonctionner (Qian *et al.*, 2018).

Cependant, la grande variabilité du temps d'endormissement et de réveil observée lors de l'anesthésie des larves, a nécessité des adaptations de la durée d'anesthésie entre chaque replica (± 2 minutes). Il nous semble donc difficile de conclure sur les effets du boscalid et de l'imazalil sur le rythme cardiaque de larves d'esturgeons.

IV.4.5 Analyse biométrique

Les tailles de tête et de corps sont significativement plus importantes chez les larves exposées aux conditions imazalil 1 et 2 et boscalid 1 et 2 que chez celles du témoin solvant. L'analyse biométrique a révélé des différences significatives de la taille des larves entre le témoin solvant et les conditions contaminées à des doses environnementales à l'imazalil et au boscalid. La plus forte croissance des larves exposées peut s'expliquer par une surexpression de certains gènes dont les fonctions sont affectées par ces contaminants. Ainsi, un dysfonctionnement du métabolisme pourrait avoir lieu et entraîner une croissance anormale des organismes exposés. Au contraire, selon le contaminant et la dose auxquels les organismes ont été exposés, des effets inverses ont pu être observés dans la littérature. Des travaux menés sur *Acipenser brevirostrum* et *Acipenser oxyrinchus* ont montré qu'une exposition au PCB126 et à la TCDD avait eu un impact négatif sur la taille de la tête et du corps (Chambers *et al.*, 2012). Cristina *et al.*, 2018 avaient également montré un effet délétère du plomb sur la croissance des sterlets. Cette diminution de taille peut s'expliquer notamment par le fait que les individus exposés allouent leur énergie à d'autres fonctions que la croissance afin de limiter les effets des contaminants ; comportement de fuite, détoxification, réparation de dommages. Une inhibition de la longueur de poisson-zèbres a ainsi été observée après une exposition à des concentrations en boscalid de plus de 100 $\mu\text{g/L}$ (Qian *et al.*, 2019). Ceci semble logique vis-à-vis des fonctions du boscalid qui induit une altération de la respiration oxydative et donc de la production d'énergie cellulaire qui peut être alloué aux paramètres de (Rybníkář *et al.*, 2011). De plus, en interférant avec la CYP51, l'imazalil est susceptible d'impacter les voies de biosynthèses des constituants des membranes cellulaires des organismes étudiés.

IV.4.6 Analyse comportementale

Après avoir été exposées à trois stimuli (sans stimulus, flash lumineux et vibrations), le comportement de nage des larves des conditions témoin, témoin solvant et imazalil et boscalid 1 a été analysé en phase obscure. L'effet des stimuli sur les larves n'a pas eu un fort impact sur leur comportement de nage. Aucune différence significative de la mobilité (%) n'a été observée entre les conditions à la suite de chaque phase de stimuli. Par contre, nous avons observé des différences significatives de vitesse entre les larves du témoin solvant (4,7 mm/s) et celles de l'imazalil 1 (6,8 mm/s) après avoir été stimulées par un flash lumineux et des vibrations.

Des différences significatives du temps moyen passé en mouvement entre les larves des conditions témoin solvant (valeurs faibles) et du boscalid 1 (valeurs fortes) ont également été notées à la suite de chaque stimulus.

Au cours de cette analyse, un effet des conditions d'exposition sur le comportement de nage des larves d'*A. ruthenus* exposées aux plus faibles concentrations en boscalid (0,56 µg/L) et imazalil (0,22 µg/L) a été observé. Il semblerait que ces différences de motricité soient accentuées à la suite de stimuli lumineux et de vibrations.

Des altérations du comportement de nage des larves étaient en effet attendues entre les conditions témoins et celles des contaminants. En effet, quelques études ont déjà démontré que le boscalid induisait une neurotoxicité et une altération du comportement moteur (mouvement, activité locomotrice) chez le poisson zèbre à des concentrations de l'ordre du milligramme par litre (Qian *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2020; Qian *et al.*, 2021).

Lors de leur étude sur des larves d'*A. ruthenus* Cristina *et al.*, 2018 ont montré des troubles du comportement de nage des larves exposées à des particules de plomb. Face aux fortes concentrations en contaminant les larves avaient tendance à adopter un comportement de fuite, ainsi que des mouvements rapides et erratiques au début de l'exposition puis une diminution de l'activité de nage. L'adoption d'un tel comportement face à une exposition aux fongicides pourraient donc expliquer le fait que les variables comportementales (mobilité, vitesse et temps passé en mouvement) soient plus importantes chez les larves exposées à l'imazalil et au boscalid. De plus, les différences les plus significatives du comportement ont été retrouvées à la suite d'une exposition aux stimuli de vibrations. Les larves d'*A. ruthenus* sont en effet peu sensibles aux flash lumineux (Delage, 2015). Il a donc été prouvé au cours de cette analyse qu'une exposition à l'imazalil et au boscalid à des doses relativement faibles entraînent une modification du comportement de nage et de réponses face à des stress environnementaux des larves d'*A. ruthenus*.

IV.4.7 Analyses génétiques

Les données présentées ici ont été obtenues à partir des échantillons de larves exposées à des concentrations de 1 à 10 µg/L d'imazalil ou de 1 à 25 µg/L de boscalid lors de l'expérimentation effectuée en 2021 (Robinson, 2021). Sur la **Figure 34** est représenté le facteur d'expression de 18 gènes d'intérêts retrouvés chez des larves d'*A. ruthenus* (**Tableau 11**).

Ce facteur illustre la sur- ou sous-expression d'un gène chez les larves exposées au boscalid et à l'imazalil par rapport à l'expression de ce même gène chez les témoins solvants. Des variations du niveau d'expression des gènes par rapport au témoin solvant sont observables pour pratiquement l'ensemble des gènes sélectionnés. De nombreuses différences significatives ont été attestées par un test de Kruskal-Wallis suivi d'un test post-hoc de Dunn (p-value). Ainsi, le boscalid à des concentrations de 1 et 25 µg/L a entraîné une sur-expression des gènes *cyp1A1*, *opn4*, *sodCu*, *sodMn*, *Cpt1*, *srebp1a*, *cyp19*, *cox1*, *gfap*, *mbp*, *shha*, *α1tubuline* et *polg* et une sous-expression de *atp8*.

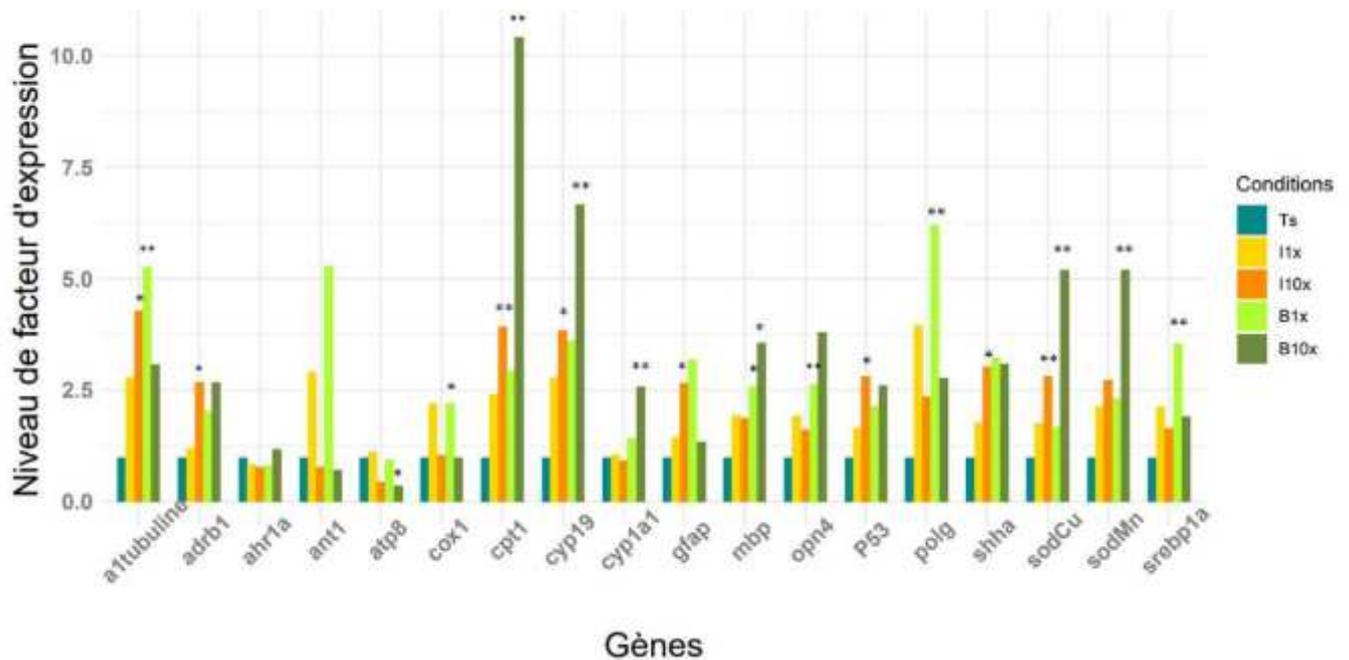


Figure 34: Niveau de facteur d'expression d'ARNm de 18 gènes d'intérêts de larves d'*A. ruthenus* (à 288 hpf) calculés selon la méthode du $\Delta\Delta Ct$. Les astérisques représentent les différences significatives obtenues par un test de Dunn par rapport au témoin solvant (*p-value<0,05 et **p-value<0,01).

L'imazalil à 1 $\mu\text{g/L}$ n'a affecté que très faiblement l'expression génique des larves exposées. Alors que l'imazalil à 10 $\mu\text{g/L}$, a entraîné la surexpression de *sodCu*, *cpt1*, *cyp19*, *gfap*, *shha*, *alpha1tubuline*, *P53* et *adrb1*.

Tableau 11: Noms des gènes d'intérêt d'*A. ruthenus* et processus biologiques impliqués

Nom des gènes	Processus biologiques impliqués
glial fibrillary acidic protein (<i>gfap</i>)	Gènes du développement et impliqués dans la neurotransmission
myelin basic protein (<i>mbp</i>)	
sonic hedgehog signaling molecule a (<i>shha</i>)	
<i>alpha1 tubuline</i>	
adrenoreceptor beta 1 (<i>adrb1</i>)	
aryl hydrocarbon receptor (<i>ahr1a</i>)	Métabolisation des xénobiotiques
cytochrome P450 1A1 (<i>cyp1A1</i>)	
opsin 4a (<i>Opn4</i>)	Perception des stimuli lumineux
superoxide dismutase [Cu-Zn] (Cytosolique) (<i>sodCu/Zn</i>)	Réponse au stress oxydant
superoxide dismutase Manganèse (Mitochondriale) (<i>sod Mn</i>)	
carnitine O-palmitoyltransferase 1 (<i>cpt1</i>)	Métabolisme des lipides
sterol regulatory element-binding protein 1 (<i>srebp1a</i>)	

Les résultats de la RT-PCR ont montré un impact significatif de l'imazalil et du boscalid sur l'expression des gènes.

Le boscalid à 1 et 25 µg/L a entraîné une surexpression des gènes impliqués dans les défenses contre le stress oxydant (*sodCu*, *sodMn*) et la synthèse des xénobiotiques (*cyp1a1*) suivi également d'un dérèglement du métabolisme mitochondrial (*cox*, *atp8*, *polg*). Ces résultats semblent cohérents avec les fonctions du boscalid qui un inhibiteur de la SDH (succinate déshydrogénase) qui est une enzyme présente dans la membrane interne mitochondriale impliquée dans la respiration cellulaire et donc la synthèse d'ATP. Le boscalid a également entraîné une surexpression de gènes impliqués dans le métabolisme des lipides (*cpt1*, *srebp1a*) et des stéroïdes (*cyp19*). Une étude menée par Qian et al., 2019 avait également montré que le boscalid induisait des effets sur le métabolisme des glucides et lipides qui sont essentiels dans le métabolisme énergétique et donc parallèlement impliqués dans diverses fonctions (croissance, reproduction, synthèse de composés). Dans cette étude une inhibition du niveau de transcription du gène *srebp1* avait été montré à des concentrations en boscalid de 0,1 à 1 mg/L. Ainsi, à de plus fortes concentrations, le boscalid pourrait engendrer un rétrocontrôle de gènes, ce qui expliquerait le fait que certains gènes ici présents soient surexprimés plus fortement chez les larves exposées au boscalid à 1 µg/L et non à 10µg/L. De plus, le boscalid a entraîné une surexpression des gènes du développement et de la neurotransmission (*gfap*, *mbp*, *shha*, *α1tubuline*, *opn4*), ce qui expliquerait pourquoi les larves exposées au boscalid ont présenté une croissance plus importante et un comportement de nage altéré comme vu précédemment.

De son côté l'imazalil a également entraîné une altération de gènes impliqués dans les défenses contre le stress oxydant (*sodCu* et *sodMn*) ainsi qu'une surexpression de la *cpt1* et de *cyp19* impliqué dans les métabolismes lipidiques et stéroïdiens. Ceci n'est pas surprenant au regard des propriétés de l'imazalil qui interfère avec la CYP51 qui est une enzyme spécifique de la biosynthèse des stérols (Zega et al., 2009). Il a déjà été vu chez le poissons zèbre que des concentrations plus fortes en imazalil (100 à 1000 µg/L) avaient diminué l'expression de la *cpt1* et de *srebp1a* (Jin et al., 2017). Ces derniers gènes sont respectivement impliqués dans la β-oxydation des lipides et la synthèse des acides gras. L'imazalil a également eu un impact sur les gènes du développement et de neurotransmission (*gfap*, *shha*, *α1tubuline*, *adrb1*).

Nous avons ainsi montré que le boscalid et l'imazalil représentaient des risques génotoxiques chez les organismes en impactant la transcription de certains gènes impliqués dans divers processus métaboliques, dans le développement, la neurotransmission ainsi que dans les mécanismes de défenses oxydatives. Ainsi, les effets observés précédemment au niveau physiologique (rythme cardiaque, développement) et sur le comportement de nage des larves pourraient s'expliquer par cette atteinte au niveau subcellulaire des fongicides.

IV.5 Conclusion et perspectives

Dans cette étude, nous avons analysé les effets sur les stades embryon-larvaire d'*A. ruthenus* d'une exposition au boscalid et à l'imazalil. Les concentrations testées des deux fongicides étaient de l'ordre de celles retrouvées couramment dans l'environnement ; allant de 0,56 à 5,28 µg/L pour le boscalid et de 0,22 à 1,47 µg/L pour l'imazalil. Les résultats ont montré qu'à ces concentrations les embryons de sterlets étaient peu sensibles à ces deux fongicides. Aucun impact significatif sur les taux de mortalité et le succès d'éclosion des embryons n'a été constaté. Pour autant, l'absence d'impacts visibles (mortalités, retards d'éclosion, malformations) n'exclut pas les effets sous-jacents que peuvent engendrer ces contaminants aux échelles cellulaires et sub-cellulaires. Ainsi aux stades larvaires, à des concentrations de 0,56 µg/L, le boscalid a entraîné une diminution du rythme cardiaque. Par ailleurs, dès les plus faibles concentrations, le boscalid et l'imazalil ont tous les deux induits une croissance anormale et une altération du comportement de nage des larves (vitesse et mouvement

augmentés). Il est probable que ces derniers effets s'expliquent par une altération de l'expression de certains gènes impliqués dans des fonctions associées à ces paramètres étudiés.

Des analyses génétiques réalisées au cours de ce stage sur des larves exposées à des concentrations plus fortes de boscalid et l'imazalil lors d'une précédente expérimentation ont révélé un dérèglement du métabolisme xénobiotique, lipidique, stéroïdien et mitochondrial. Des gènes impliqués dans le développement, la neurotransmission ainsi que dans les défenses contre le stress oxydant ont également été altérés.

Pour conclure, cette étude a montré qu'à des doses environnementales, le boscalid et l'imazalil affectent diverses fonctions physiologiques des larves d'*A. ruthenus*. Ainsi, ces deux composés peuvent constituer un risque pour les populations de sterlets voire d'autres espèces d'esturgeons dont la dernière population sauvage d'*A. sturio* présente dans le bassin Gironde Garonne Dordogne. Il est important de souligner que ces effets pourraient être amplifiés dans l'environnement par la synergie des polluants entre eux ainsi que par leur association avec d'autres facteurs de stress (T°, pH, O2...). Des approches expérimentales plus approfondies pourraient être menées afin de mieux comprendre les mécanismes de toxicité des fongicides. Par exemple, en étudiant les effets combinés de ces fongicides avec d'autres paramètres environnementaux ou encore la bioaccumulation des contaminants au sein des organismes et leurs effets sur le cycle de vie des individus.

Une publication scientifique utilisant les résultats des deux années d'expérimentation est en cours de préparation. Elle fera l'objet d'une communication lors du séminaire de clôture de ce projet en 2023.

Chapitre V : Identification des habitats marins de l'esturgeon européen *Acipenser sturio*

Charbonnel A., Acolas M.L.

V.1 Objectifs de l'étude

L'objectif de cette étude a été de poursuivre les travaux de modélisation qui ont été menés dans le cadre de la Tâche 1 « Identification des habitats marins utilisés par l'esturgeon européen et fréquentation des aires marines protégées » du projet MOMIE (MOuvements MIgratoires de l'Esturgeon Européen *Acipenser sturio* : habitats en mer et retour des géniteurs en fleuves; contrat R & D INRAE/OFB 2019-2022; (Charbonnel & Acolas, 2022).

Ces travaux antérieurs avaient visé à modéliser l'habitat marin favorable à l'esturgeon européen pour la période contemporaine (2006-2021) à l'échelle des côtes françaises principalement (Charbonnel *et al.*, 2023). La conduite de cette présente étude dans le cadre du PNA *A. sturio* vise à étendre la zone étudiée à l'échelle de l'Europe de l'ouest en bénéficiant des jeux de données participatifs de captures accidentelles des pays partenaires (Allemagne, Angleterre, Pays-Bas) en plus de la base de données STURWILD et en adaptant les modèles de distribution d'espèces (SDM) initialement utilisés. Différents scénarios ont également été testés. Pour cela, les modèles ont été projetés afin d'analyser la distribution potentielle future de l'espèce en (1) utilisant des scénarios de changements climatiques ; (2) simulant des repeuplements dans différents bassins versants localisés au sein de la zone d'étude.

V.2 Matériel et Méthodes

La zone d'étude retenue s'étend depuis l'estuaire de la Corogne (Espagne) au sud jusqu'au Duncansby Head (Ecosse) et à l'entrée du fjord d'Oslo (Norvège) au nord (**Figure 35a**). Elle inclut des côtes espagnoles, françaises, belges, hollandaises, allemandes, danoises, norvégiennes, suédoises, irlandaises et du Royaume-Uni. Celle-ci ne considère que les secteurs dont la profondeur est inférieure ou égale à 150 m puisque toutes les observations d'esturgeon européen recensées à ce jour n'ont jamais été réalisées au-delà de cette profondeur (Letaconnoux, 1961; Rochard *et al.*, 1997; Lepage & Rochard, 2011).

Les données d'occurrence de l'esturgeon européen proviennent des bases de données de captures accidentelles française⁴, allemande⁵, hollandaise⁶ et du Royaume-Uni⁷. Celles-ci ont été filtrées afin de ne garder que celles adéquates pour les objectifs de l'étude. Ainsi, ont été exclues les données d'échouage, sans coordonnées géographiques, antérieures à 1990 (i.e. afin de correspondre à l'étendue temporelle de certaines variables environnementales, voir ci-après), issues d'individus tagués relâchés dans le Rhin (voir explications ci-après), ainsi que les données situées en estuaires ou fleuves puisque les modèles sont utilisés pour identifier les habitats favorables de l'espèce en milieu marin. Au final, 530 observations accidentelles ont été retenues.

L'originalité de cette étude a consisté à prendre en compte la variable 'distance à l'exutoire

⁴ Base de données STURWILD (CAPENA, CNPMMEM, INRAE) complétée par les données du programme Obsmer (Direction des Pêches Maritimes et de l'Aquaculture - DPMA, Ifremer)

⁵ Base de données du Leibniz Institute for Freshwater Ecology and Inland Fisheries (IGB)

⁶ Base de données du Wageningen University, Aquaculture & Fisheries Group et ARK Natuur

⁷ Base de données de Institute of Fisheries Management (IFM)

du bassin d'origine' dans le processus de modélisation afin de tester l'hypothèse d'une distribution spatiale en mer influencée par la localisation de la rivière d'origine des individus (Shelton *et al.*, 2021). Cependant, l'intégration de cette variable nécessite que l'origine des individus soit connue. Le choix a été fait de ne considérer que les individus originaires de l'Elbe et de la Gironde pour les analyses. En effet, la quantité d'individus qui a été lâchée dans le Rhin (i.e. une 100aine) par rapport à l'Elbe (i.e. 20 000) et la Gironde (i.e. 1.8M) nous semblait trop faible pour donner un poids à ces individus dans les analyses. De plus, contrairement aux lâchés dans l'Elbe et la Gironde qui étaient à but de repeuplement, ceux du Rhin étaient à visée expérimentale en 2012 et 2015 (Brevé *et al.*, 2014; Breve *et al.*, 2019). Les individus capturés accidentellement et tagués ont pu facilement être attribués à leur bassin d'origine (i.e. Elbe ou Gironde-Garonne-Dordogne-GGD). Pour les captures accidentelles restantes, plusieurs approches d'attribution ont été utilisées. Tout d'abord, les captures faites avant 2010 ont été attribuées directement à la population GGD. En effet, les périodes de lâchés dans l'Elbe (2008-2015) commençant à partir de 2008 et les poissons allant en mer à partir de 2 ans, nous en avons déduit que les poissons en mer avant 2010 ne pouvaient provenir que du bassin GGD. Ensuite, les poissons capturés tagués Elbe et GGD sur la période commune de données (i.e. 2010-2022) ont séparément été utilisés pour estimer deux cartes de densité pour l'Elbe et la Gironde. La densité est calculée à l'aide d'un algorithme de densité Kernel (Caha, 2023) en fonction du nombre de points de présence dans une localisation : un plus grand nombre de points groupés entraîne des valeurs de densités plus élevées. Au niveau de chaque localisation des captures restantes, une approche probabiliste pondérée en utilisant les valeurs de densité des deux cartes a été appliquée pour attribuer les individus capturés à l'Elbe ou à la Gironde (Figure 35b)

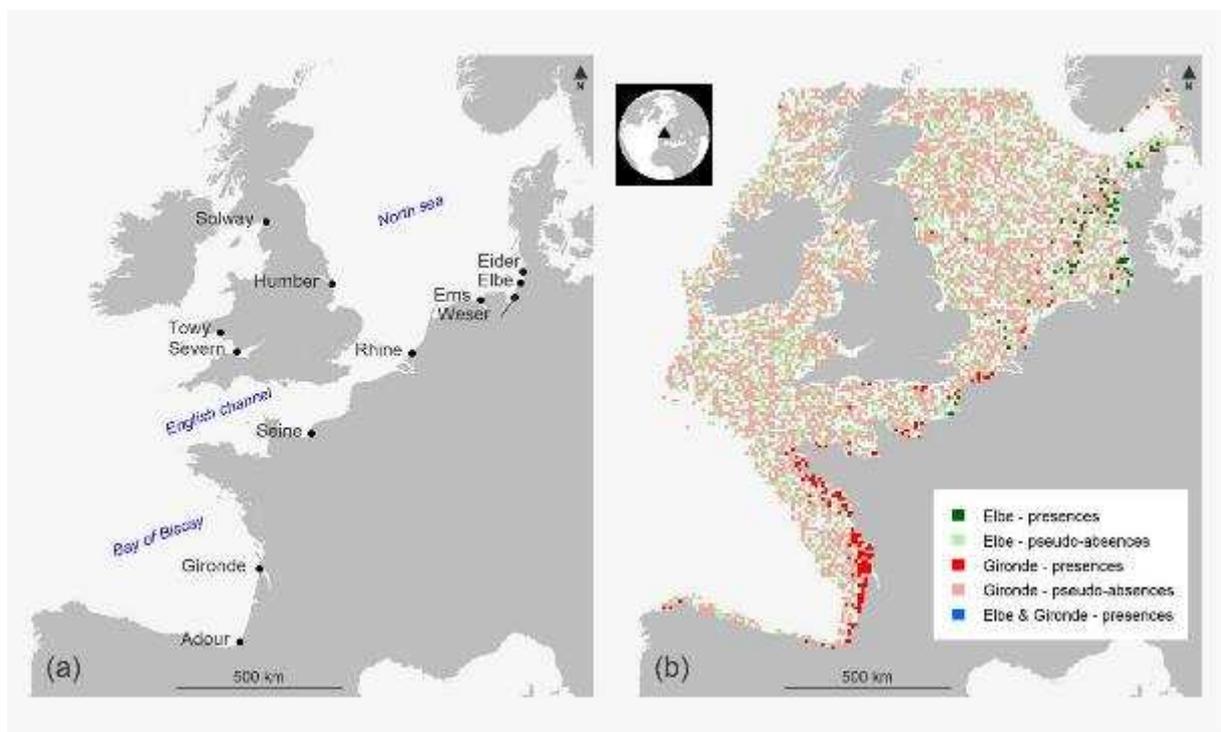


Figure 35 : (a) localisation de la zone d'étude et des exutoires des bassins versants choisis pour simuler des repeuplements ; (b) localisation des mailles de présence/pseudo-absence et indication des bassins versants auxquels elles sont attribuées.

La zone d'étude a été découpée en mailles de 10*10 km. Cette résolution considère le niveau de précision des localisations des observations accidentelles qui peut aller jusqu'à 10 km d'incertitude en mer, à dire d'experts. Certaines mailles, avec une information environnementale ou une surface en mer insuffisante, ont été exclues des analyses, aboutissant à 8468 mailles conservées. Lorsqu'au moins une observation accidentelle se trouvait dans une maille, cette dernière était considérée comme une maille de présence. Dans le cas d'individus issus de l'Elbe et de la Gironde capturés dans une même maille, les deux informations étaient conservées. Au final, le jeu de données contient 259 mailles de présence (**Figure 35b**), avec 167 mailles qui ont été attribuées à la Gironde, 86 à l'Elbe et 3 mailles qui ont été attribués aux deux bassins (i.e. mailles de co-occurrence).

En tant que jeux de données participatifs, des biais potentiels peuvent y être associés. Cependant, l'étude précédente a démontré que les prédictions obtenues avec le jeu de données entier non-débiaisé sont très similaires à celles obtenues après application de techniques de débiaisage (Charbonnel *et al.*, 2023). Aussi, nous avons fait le choix de conserver l'ensemble des mailles de présence dans cette étude afin de réduire le risque de perdre une information écologique cruciale (Sillero *et al.*, 2021). Néanmoins, le fait d'avoir enlevé les duplicatas de présence au sein des mailles de 10*10km, ce qui est déjà une sorte de filtre spatial, peut avoir réduit les biais potentiels inhérents aux données (Aiello-Lammens *et al.*, 2015).

Ne disposant pas de données d'absence, 5500 pseudo-absences ont été générées aléatoirement sur l'ensemble de la zone d'étude pour représenter l'habitat disponible. Chaque pseudo-absence devant également être attribuée à un bassin d'origine, l'attribution a été faite de manière aléatoire en respectant le ratio d'attribution des mailles de présence (89 vs 170). Ainsi, 3610 mailles de pseudo-absences ont été attribuées à la Gironde, et 1890 à l'Elbe (**Figure 35b**).

Tableau 12 : Description des 11 variables retenues pour être utilisées dans les modèles de distribution d'espèces pour les phases de calibration et de prédiction

Catégorie	Description (période, unité)	CODE	SOURCE
Physico-chimiques	Température annuelle moyenne sur le fond marin (1990-2022; °C)	TEMP_MEAN	POLCOM-ERSEM product (Kay, 2020)
	Oxygène dissous annuel moyen sur le fond marin (1990-2022, mg/L ⁻¹)	OXY_RANGE	POLCOM-ERSEM product (Kay, 2020)
	Etendue inter-mensuelle moyenne de l'oxygène dissous sur le fond marin (1990-2022, mg/L ⁻¹)	OXY_MEAN	POLCOM-ERSEM product (Kay, 2020)
	Salinité moyenne annuelle sur le fond marin (1990-2022; UPS – g/kg)	SAL_MEAN	POLCOM-ERSEM product (Kay, 2020)
Hydrodynamique	Vitesse annuelle moyenne du courant sur le fond marin (1990-2022; m/s ⁻¹)	VEL_MEAN	POLCOM-ERSEM product (Kay, 2020)
Types de substrat	Distance au substrat vaseux à sable vaseux (km)	distMUD_SAND	EUSaMap 2021 (www.emodnet-geology.eu)
	Distance au substrat sableux (km)	distSAND	EUSaMap 2021 (www.emodnet-geology.eu)
	Distance au substrat grossier ou mixte (km)	distMIX_COARSE	EUSaMap 2021 (www.emodnet-geology.eu)
	Distance au substrat rocheux (km)	distROCK	EUSaMap 2021 (www.emodnet-geology.eu)
Topographique	Bathymétrie (m)	BATHY	EMODnet Bathymetry (http://www.emodnet-bathymetry.eu/)
Géographique	Distance à l'exutoire d'origine (i.e. Elbe ou Gironde; km)	distMOUTH	Calculé sous R

Les variables environnementales présélectionnées pour les analyses ont été, dans la mesure du possible selon la disponibilité des données, similaires à celles calculées dans l'étude précédente (**Figure 36 - Tableau 12**). L'agrandissement de la zone étudiée et le choix de l'étendue temporelle de l'étude (calibrations/prédictions sur 1990-2022 + projections jusqu'en 2099) a cependant nécessité d'utiliser un autre modèle océanique pour le calcul de certaines variables : le modèle POLCOM-ERSEM (Kay, 2020).

Pour la période contemporaine, les variables physico-chimiques et hydrodynamiques ont été calculées sur une période de 33 ans (1990-2022) afin de capturer au mieux la niche écologique de l'esturgeon européen et de respecter les recommandations des climatologues (i.e. utilisation d'une période d'au moins 30 ans pour identifier une véritable tendance climatique malgré les potentielles fluctuations inter-annuelles). De plus, seule l'information environnementale sur le fond marin a été prise en compte pour ces variables afin de rester cohérent avec l'écologie benthique de l'espèce (Brosse *et al.*, 2000; Brosse, 2003).

Afin de conduire les analyses de modélisation, la plateforme de modélisation « biomod2 » a été utilisée (Thuiller *et al.*, 2009). « Biomod2 » permet de réaliser des approches d'ensemble consensuelles en modélisant la répartition des espèces à partir de plusieurs algorithmes statistiques présentant différentes particularités. Sept algorithmes ont été utilisés pour les analyses : le modèle linéaire généralisé (GLM), le modèle additif généralisé (GAM), la régression multivariée par spline adaptative (MARS), l'analyse discriminante flexible (FDA), Maxent, les forêts d'arbres décisionnels (RF) et le modèle boosté généralisé (GBM). Ne disposant pas d'un jeu de données indépendant pour valider les capacités prédictives des modèles, une approche par validation croisée a été utilisée (Hijmans, 2012). Le jeu de données a été divisé en 2 de manière aléatoire de manière à ce que 80% du jeu de données soit utilisé pour la calibration, et les 20% restants pour la validation. Ce partitionnement aléatoire a été répété 20 fois (i.e. 20 itérations). Les modèles ont été évalués avec plusieurs indices : l'indice de Boyce, le Kappa, la True Skill Statistic (TSS) et l'Area Under the ROC Curve (Allouche *et al.*, 2006; Lobo *et al.*, 2008; Leroy *et al.*, 2018). Seuls les modèles considérés comme bons (indices de Boyce ≥ 0.5) ont été retenus pour réaliser l'approche d'ensemble. Le processus de modélisation aboutit ensuite à 20 cartes prédictives : une carte prédictive moyenne pour chacune des 20 itérations, où la prédiction moyenne représente la moyenne des prédictions individuelles des modèles retenus. Ces 20 cartes sont ensuite moyennées pour faire la carte consensuelle finale. Pour binariser les prédictions, le choix d'un seuil est nécessaire. L'approche qui a été utilisée est celle qui maximise la valeur de TSS, autrement dit qui maximise les présences et les pseudo-absences bien prédites (i.e. les présences qui tombent dans les mailles de valeur 1 et les pseudo-absences qui tombent dans les mailles de valeur 0 sur la carte binaire ; (Liu *et al.*, 2013)).

Dans « biomod2 », la courbe de réponse pour une variable donnée est construite en fixant les autres variables à leur moyenne, et seule la variable cible varie le long de son étendue. Les variations observées et la courbe obtenue montrent la sensibilité du modèle à cette variable spécifique (Guisan *et al.*, 2017). Pour calculer la contribution d'une variable, un coefficient de corrélation de Pearson est calculé entre les prédictions des modèles avec la variable d'intérêt et les prédictions quand cette variable est permutée aléatoirement. La contribution de la variable au modèle est estimée en soustrayant le coefficient de corrélation obtenu à la valeur 1. Ainsi, une valeur de 0 signifie que la variable n'est pas importante dans l'estimation des prédictions et une valeur de 1 signifie que la variable est très importante (Thuiller *et al.*, 2009).

Afin de réduire le nombre de variables dans le modèle, l'approche de modélisation présentée précédemment a été utilisée avec les 11 variables présélectionnées, puis la variable estimée la moins importante par l'approche d'ensemble consensuelle a été retirée des modèles. Le

processus de modélisation a ensuite été réalisé avec les 10 variables restantes, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'il ne reste plus que 5 variables dans les modèles.

Le modèle d'ensemble à 5 variables a ensuite été projeté afin d'analyser la distribution potentielle future de l'espèce en (1) utilisant des scénarios de changements climatiques ; (2) simulant des repeuplements dans différents bassins versants localisés au sein de la zone d'étude.

Afin de considérer les changements climatiques, les variables physico-chimiques et hydrodynamiques ont été calculées sur 3 périodes futures de 30 ans qui se chevauchent (i.e. 2023-2052; 2047-2076; 2070-2099) avec les scénarios « Representative Concentration Pathway » (RCP) 4.5 (i.e. scénario avec politiques climatiques visant à stabiliser les concentrations en CO₂) et 8.5 (i.e. scénario sans politique climatique de stabilisation).

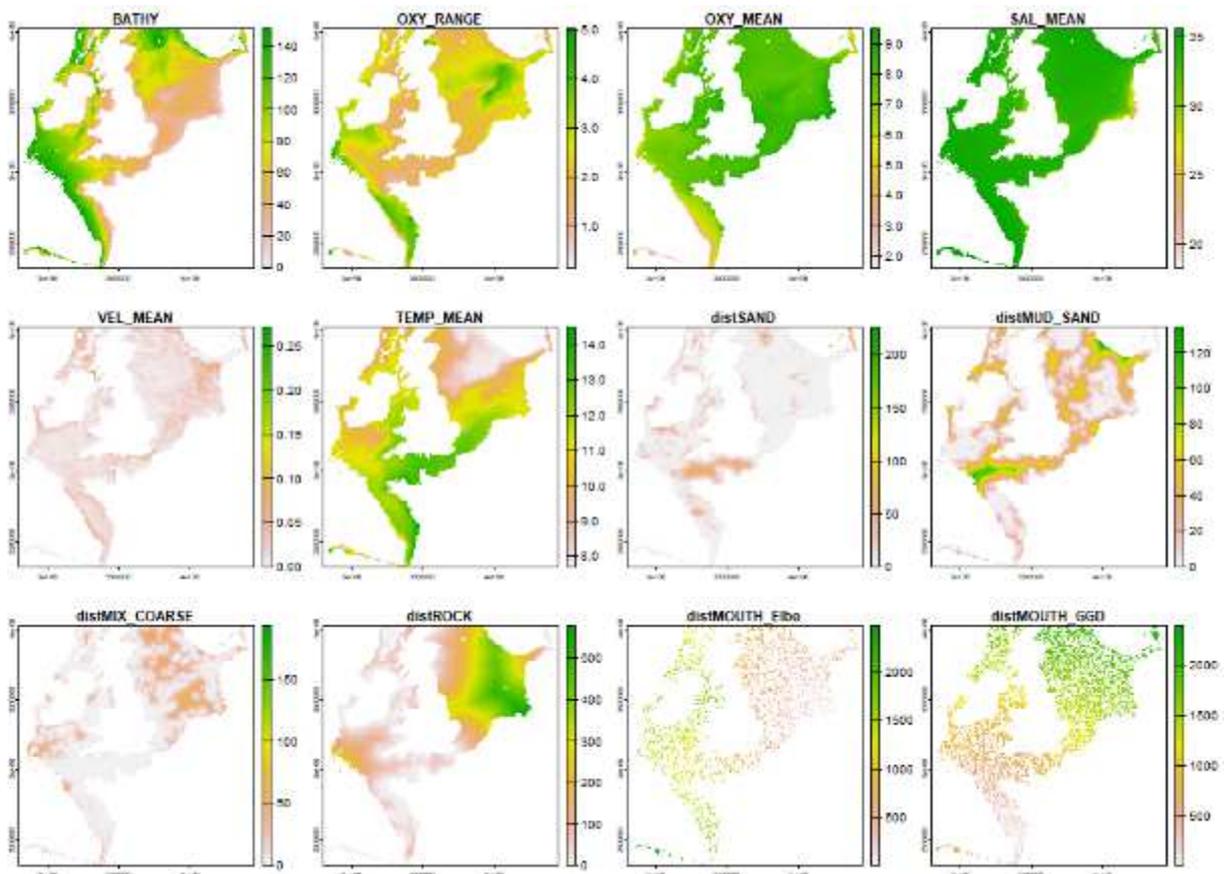


Figure 36 : Cartographies des 11 variables utilisées dans les modèles de distribution d'espèces pour la période contemporaine (1990-2022) sur la zone d'étude. Pour faciliter la visualisation, la variable distMOUTH a été séparée en deux selon l'attribution des mailles à l'Elbe (distMOUTH_Elbe) ou à la Gironde (distMOUTH_GGD). En réalité la variable distMOUTH intègre l'information des 2 bassins en même temps.

Pour simuler des repeuplements dans différents bassins versants, 12 variables 'distance à l'exutoire d'origine' ont été calculées en choisissant 12 bassins versants dont les exutoires sont localisés sur la **Figure 35a** : Adour, Eider, Elbe, Ems, Gironde, Humber, Rhine, Seine, Severn, Solway, Towy, Weser. Le critère retenu pour choisir les bassins versants a été leur favorabilité environnementale au regard des prédictions de changements climatiques en s'appuyant sur l'étude de Lassalle *et al.* (2010). Les bassins retenus ont une favorabilité d'habitat (au regard des températures, précipitations, pentes et surfaces drainées du bassin versant) qui est prédite comme moyenne à forte pour 2050 et 2100. Pour le Royaume-Uni, où cette

information n'était pas disponible, c'est l'avis d'experts locaux qui a fait foi (Colclough, com. pers). Les populations dont l'habitat marin a été prédit/projeté en simulant des repeuplements dans leurs bassins versants (toutes sauf Elbe et GGD) seront appelées 'populations simulées' dans ce document.

V.3 Résultats - Discussion

Le passage d'un modèle d'ensemble à 11 variables à un modèle d'ensemble à 5 variables a entraîné l'élimination des 4 variables de substrat, de la vitesse moyenne du courant et l'étendue moyenne de l'oxygène dissous. L'ordre de suppression des variables lors de l'approche descendante a été le suivant : VEL_MEAN, distSAND, distMUD_SAND, OXY_RANGE, distMIX_COARSE puis distROCK. La faible importance des variables de substrat rejoint les résultats des études antérieures portant sur l'esturgeon européen (Rochard *et al.*, 1997; Charbonnel *et al.*, 2023). Cependant, une étude en mer à une plus fine échelle reste nécessaire pour confirmer ou non ces résultats, le type de substrat pouvant influencer directement les proies de l'esturgeon européen présentes sur le fond marin (McBreen *et al.*, 2008). Étonnamment, la vitesse moyenne du courant n'est pas retenue dans les 5 variables les plus influentes, contrairement à ce qui a pu être observé dans l'étude précédente. Cette différence peut s'expliquer par le choix du modèle océanique utilisé pour le calcul des variables qui n'est pas le même. Une même variable calculée à partir de sources de données différentes peut en effet produire des résultats différents (Dubos *et al.*, 2023). D'autant plus que dans notre cas, les 2 variables 'VEL_MEAN' calculées à partir du modèle MARS 3D (i.e. étude précédente) et POLCOM-ERSEM ne sont pas corrélées sur leur étendue spatio-temporelle commune. Les résultats quant à l'influence de cette variable sont donc à prendre avec précaution.

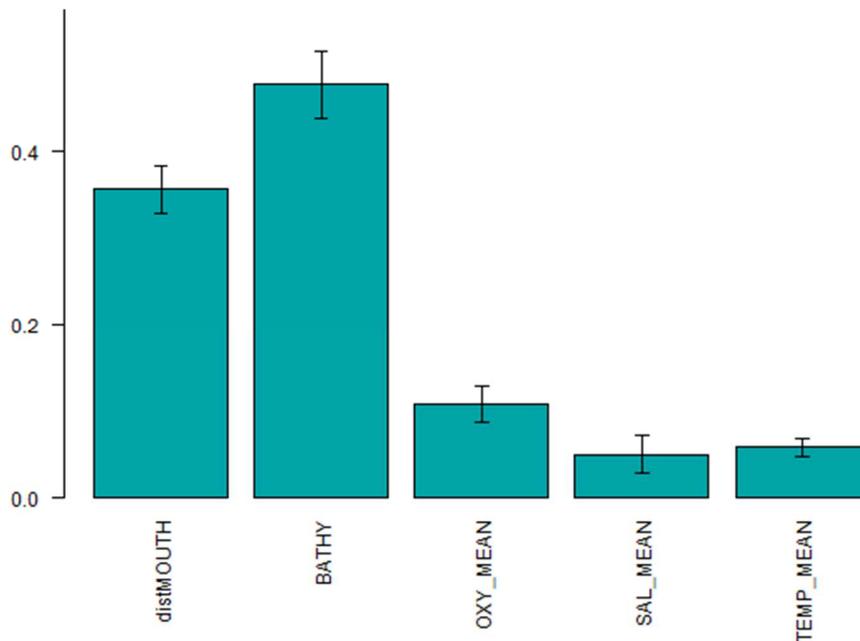


Figure 37 : Contributions moyennes relatives des 5 variables retenues dans le modèle d'ensemble final. Plus la barre est haute et plus la variable est importante pour expliquer les prédictions moyennes du modèle par rapport aux autres variables. Les barres verticales représentent l'écart type.

D'après la **Figure 37**, les variables qui contribuent le plus aux prédictions du modèle sont la bathymétrie (« BATHY ») puis la distance à l'exutoire d'origine (« distMOUTH ») et ce, loin devant les autres variables. Il s'en suit par ordre d'importance la concentration moyenne en oxygène dissous (« OXY_MEAN »), la température moyenne de l'eau (« TEMP_MEAN ») et la salinité moyenne (« SAL_MEAN »). Ces trois dernières variables ont des différences relatives de contribution peu marquées. La distance à l'exutoire d'origine ressort donc en deuxième position, avec une influence beaucoup plus prononcée que dans l'étude antérieure. Cela peut être dû à l'étendue de la zone étudiée qui a plus que doublée entre les deux études (i.e. 3095 vs 8464 mailles de 10*10km), ce qui a engendré un plus grand nombre de grandes distances à l'exutoire disponibles sur la nouvelle zone d'étude (moyennes : 1086 vs 653 km, étendues : 5.8-2470 vs 5.7-1336), ces grandes classes de distances ayant peu de mailles de présence.

Concernant les courbes de réponse (**Figure 38**), malgré quelques écarts au niveau de l'amplitude des changements de favorabilité d'habitat, les tendances observées restent en cohérence et en accord avec celles observées dans l'étude précédente. Une baisse prononcée de la favorabilité d'habitat est observée au fur et à mesure que la bathymétrie et la distance à l'exutoire du bassin d'origine augmentent. L'utilisation de faibles gammes de profondeur a été déjà montrée pour cette espèce benthique (Rochard *et al.*, 1997; Acolas *et al.*, 2011a). De plus, l'idée d'une répartition marine conditionnée par la localisation de la source de dispersion semble se confirmer. La baisse de favorabilité d'habitat avec la distance à l'exutoire peut s'expliquer par une contrainte d'accessibilité entraînant une augmentation des coûts énergétiques pour parcourir de grandes distances (Jonsson & Jonsson, 2006). Les plus fortes favorabilités d'habitat, localisées au niveau des panaches estuariens, correspondent à des secteurs nécessairement très utilisés par l'espèce, puisque ce sont des zones transitoires entre le milieu marin de croissance et le bassin de reproduction. Néanmoins à partir de 2000 km de distance à l'exutoire, la variabilité entre les itérations est plus grande avec deux tendances qui se dessinent : la favorabilité d'habitat augmente légèrement ou continue de décroître selon les itérations. Concernant la concentration moyenne en oxygène dissous, la favorabilité d'habitat est constante et élevée pour de faibles concentrations jusqu'à des concentrations moyennes de l'ordre de 6 mg.L-1, puis la favorabilité d'habitat baisse fortement pour les plus grandes concentrations moyennes en oxygène dissous. Un effet spatial plutôt qu'écologique peut néanmoins être questionné pour cette variable puisque les plus faibles concentrations en oxygène dissous (i.e. <7.5 mg.L-1) sont majoritairement localisées dans le Golfe de Gascogne et en mer Celtique tandis que les plus fortes concentrations (i.e. >7.5 mg.L-1) sont principalement en Manche, mer du Nord et mer d'Irlande (**Figure 36**). La favorabilité d'habitat est moyennement forte et stable pour les températures moyennes annuelles inférieures à 12°C, puis elle augmente légèrement jusqu'à 13°C avant de se stabiliser, voire décroître très légèrement au-delà de 14°C. On observe en effet un faible nombre de mailles de présence sur la partie nord de la mer du Nord, secteur éloigné des exutoires de l'Elbe et de la Gironde et où les températures sont moyennement les plus froides. Ainsi, le coût énergétique pour s'éloigner loin des sites de reproduction pourrait avoir pour conséquence que peu d'individus sont observés dans les secteurs moyennement plus froids. Concernant la salinité moyenne, la favorabilité est maximale et forte pour de faibles salinités (i.e. < 25 PSU), puis une baisse légère mais progressive est observée jusqu'à 33-34 PSU, seuil au-delà duquel la favorabilité semble chuter rapidement, bien que certaines itérations prédisent une nouvelle hausse de favorabilité à partir de 35 PSU. Les secteurs de faibles salinités à forte favorabilité d'habitat correspondent principalement aux bandes côtières, sous l'influence des écoulements fluviaux (Trimoreau *et al.*, 2013), et aux secteurs autour des exutoires et des baies.

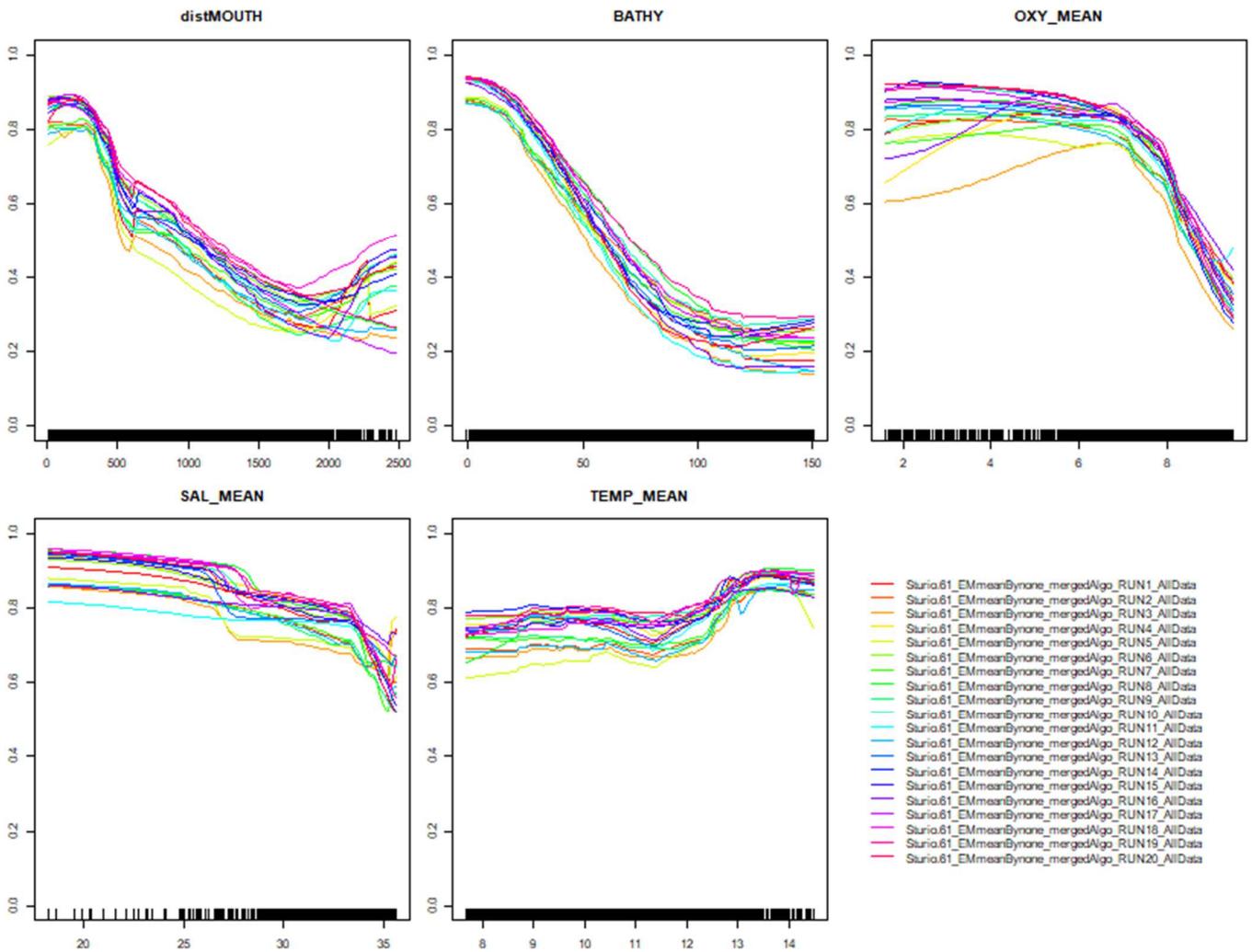


Figure 38 : Courbes de réponse moyennes des 5 variables retenues dans le modèle d'ensemble final. L'axe des abscisses informe sur les valeurs de chaque variable et l'axe des ordonnées sur l'indice de favorabilité d'habitat (indice allant de 0 à 1, plus la valeur s'approche de 1 et plus l'habitat est favorable à l'esturgeon européen). Chacune des 20 courbes correspond à une itération.

Les capacités prédictives des modèles sont très bonnes comme l'indiquent les différentes métriques d'évaluation, avec un indice de Boyce moyen de 0.94 (SD 0.02), un AUC moyen de 0.93 (SD 0.02), un Kappa moyen de 0.54 (SD 0.05) et un TSS moyen de 0.77 (SD 0.04 ; **Figure 39**).

Sur la **Figure 40**, la répartition marine des populations d'esturgeon européen conditionnée par la localisation de l'exutoire de leur bassin de reproduction est clairement visible. En effet, pour chacune des 12 populations (actuelles et simulées), les secteurs les plus favorables sont situés à proximité de l'exutoire de leurs bassins respectifs. Pour la période contemporaine, les habitats les plus favorables des populations actuelles et simulées de l'Adour, de la Gironde et de la Seine sont principalement localisés dans le Golfe de Gascogne et dans la Manche. Pour les populations du Rhin, de l'Ems, du Weser, de l'Eider, de l'Elbe et de l'Humber, les habitats marins les plus favorables sont majoritairement situés dans la partie sud de la mer du Nord.

Enfin, pour les 3 populations simulées de la côte ouest du Royaume-Uni (i.e. Severn, Towy, Solway), les habitats les plus favorables se répartissent entre les côtes du Golfe de Gascogne, de la Manche, des mers d'Irlande et Celtique. Les changements climatiques entraînent une augmentation de la favorabilité d'habitat en mer sur quasiment l'intégralité de la zone d'étude, et cette hausse est plus prononcée au niveau des latitudes intermédiaires de la zone d'étude (i.e. Manche, moitié sud de la mer du Nord et des zones côtières du Royaume-Uni).

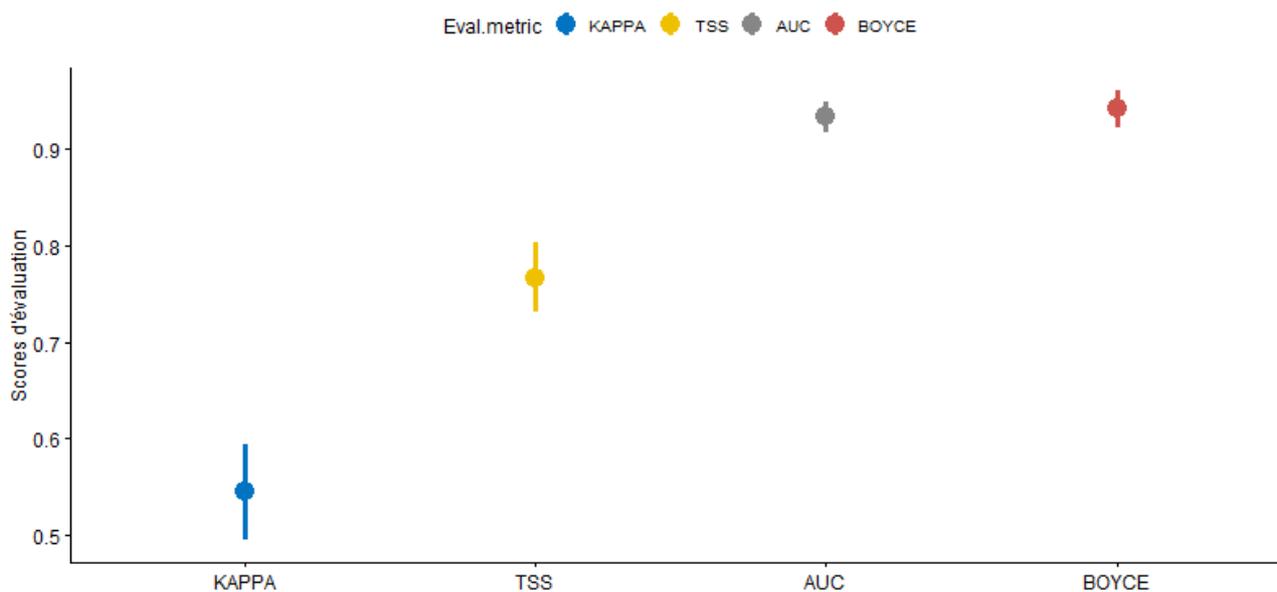


Figure 39 : Scores des métriques d'évaluation obtenus pour le modèle final pour les métriques Kappa, TSS, AUC et l'indice de Boyce. Chaque point est la valeur moyenne des 20 itérations et les barres verticales représentent l'écart-type.

Si l'on se focalise sur les cartes sommant la favorabilité d'habitat pour les 12 populations (**Figure 41**), on constate pour la période contemporaine que les secteurs hautement favorables à (presque) toutes les populations sont : la quasi-totalité des côtes françaises, la côte sud du Royaume-Uni, le canal de Bristol, la bande côtière sud du Skagerrak (Danemark) et le secteur proche de l'estuaire de l'Elbe. Puis au fur et à mesure que l'on s'approche de la fin du siècle, les changements climatiques engendrent une augmentation en mer de l'étendue de ces secteurs hautement favorables à (presque) toutes les populations. En effet, ces secteurs s'élargissent sur l'ensemble de la bande côtière de l'Europe continentale de la zone d'étude (hormis la côte espagnole), sur l'ensemble de la Manche et sur les côtes de la moitié sud du Royaume-Uni. Les secteurs qui devraient connaître la plus grosse augmentation du nombre de populations pour qui l'habitat est favorable sont le nord de la Manche et les côtes de la moitié sud du Royaume-Uni.

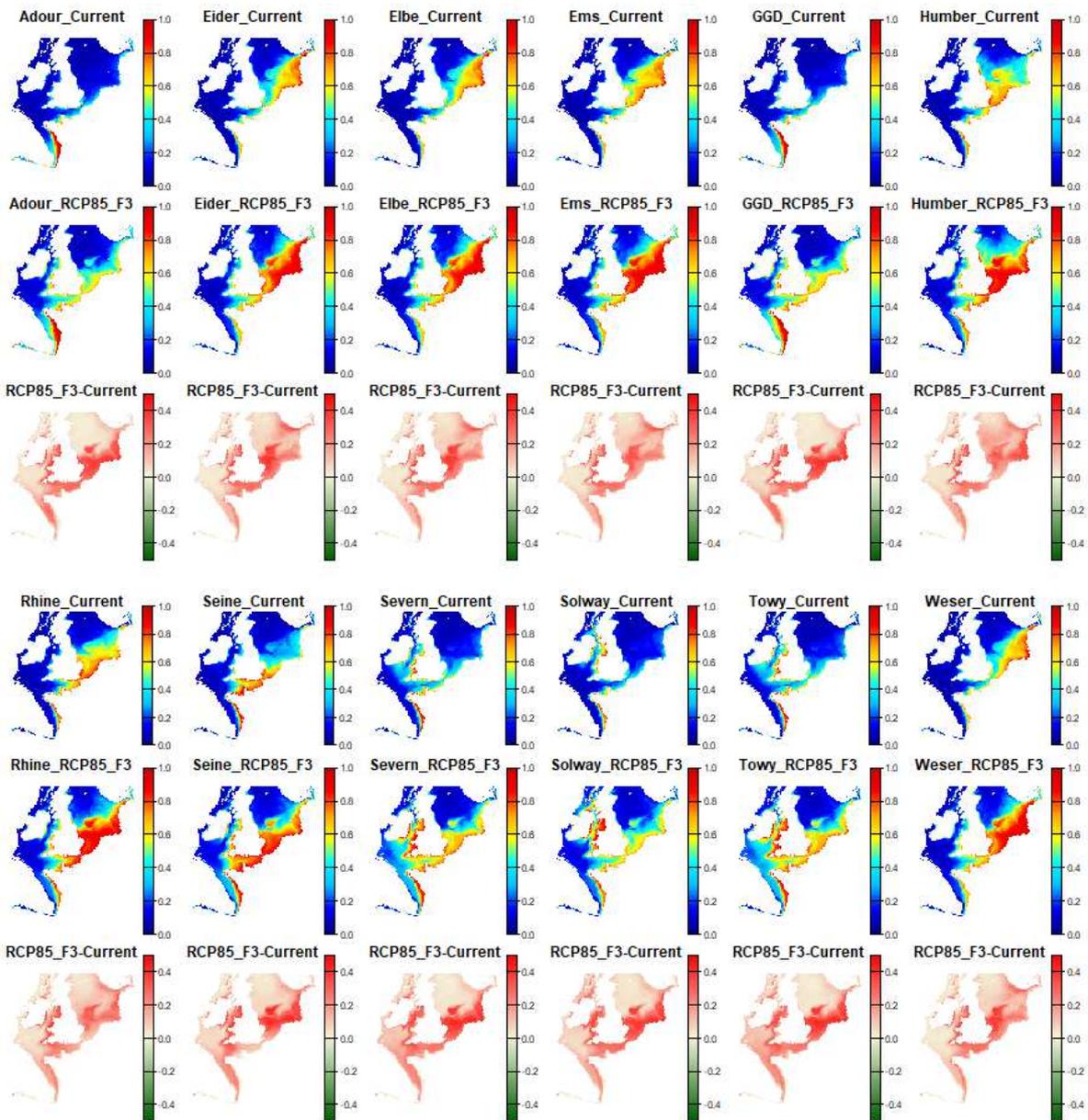


Figure 40 : Cartes avec un gradient de couleur allant de bleu (valeur 0) au rouge (valeur 1) : cartes de favorabilité d’habitat représentant les projections moyennes consensuelles en mer actuelles (« Current » dans le titre des cartes) et futures pour la fin du siècle (2070-2099) avec le scénario RCP 8.5 (« RCP85_F3 » dans le titre des cartes) en cas de populations fonctionnelles dans chacun des 12 bassins versants sélectionnés pour l’étude. Plus les cartes tendent vers le rouge (valeur 1) plus la favorabilité d’habitat est forte.

Cartes avec un gradient de couleur allant du vert au rouge (intitulées « RCP85_F3-Current ») : cartes d’anomalies calculées pour chaque population. Chaque carte d’anomalies représente la différence de favorabilité d’habitat entre la période future (2070-2099 avec le scénario RCP 8.5) et la période actuelle (1990-2022) pour la population située juste au-dessus. Les valeurs nulles de couleur beige signifient qu’il n’y a aucune différence entre les deux périodes. En revanche, plus la couleur tend vers le rouge ou le vert, plus la favorabilité d’habitat entre les deux périodes diffère. La couleur rouge (i.e. valeurs positives) signifie une hausse de favorabilité d’habitat pour la période future et inversement, la couleur verte (i.e. valeurs négatives) signifie une perte de favorabilité d’habitat dans le futur.

Abréviations : Current = période 1990-2022; RCP85 = scénario RCP 8.5; F3 = période 2070-2099

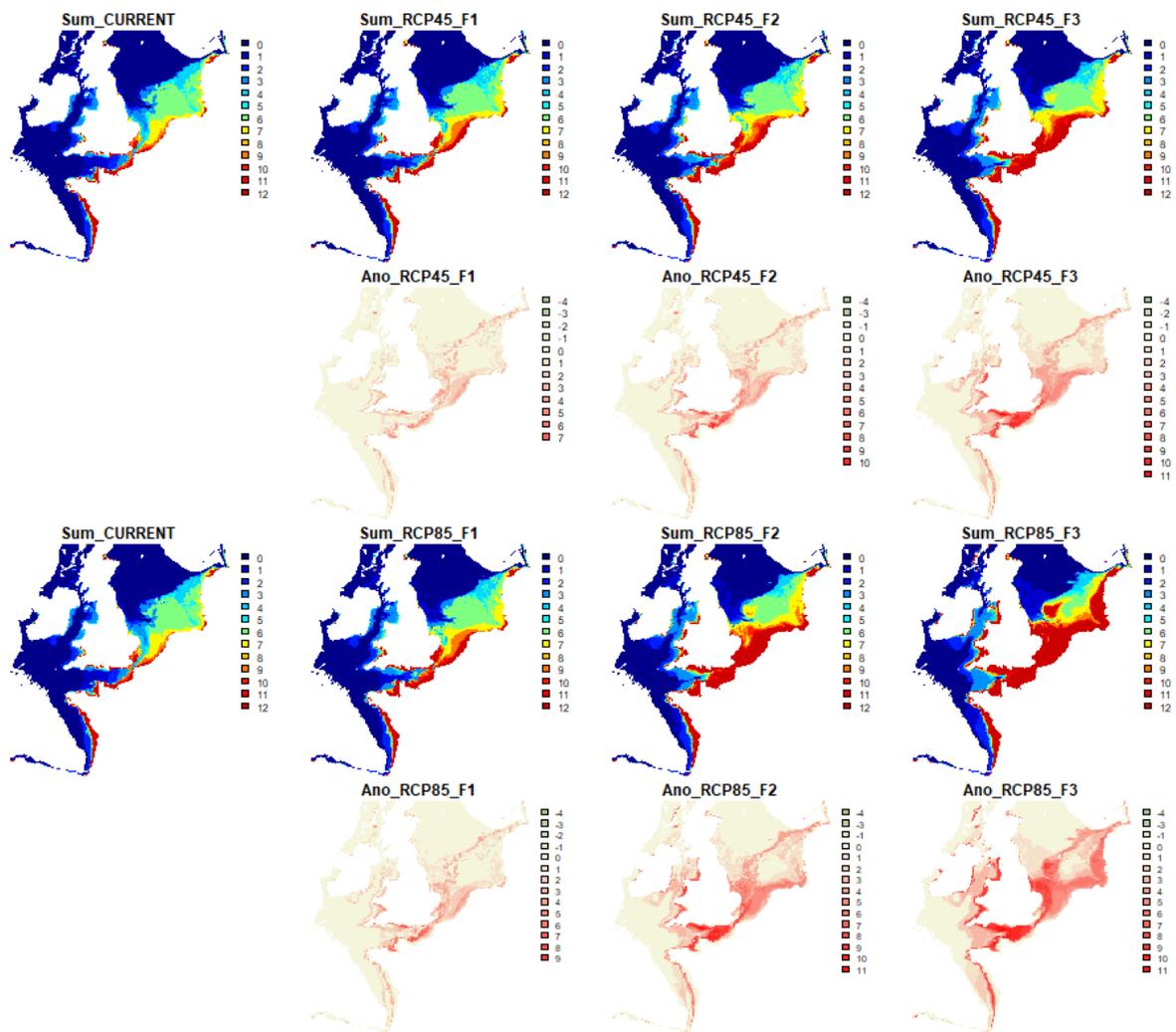


Figure 41 : Cartes avec le gradient allant du bleu (0) au rouge (12) : cartes combinant la favorabilité d’habitat des 12 populations pour les périodes actuelles (« CURRENT » dans le titre des cartes), et futures (« RCP » dans le titre des cartes). Il s’agit des cartes binaires de favorabilité d’habitat des 12 populations qui ont été additionnées. Une valeur de 12 signifie que la maille est favorable aux 12 populations tandis qu’une valeur de 0 signifie qu’elle ne l’est pour aucune population.

Cartes avec le gradient allant du rouge au vert : cartes d’anomalies entre chacune des périodes futures et la période actuelle. Les valeurs nulles de couleur beige signifient qu’il n’y a aucune différence par rapport à la période actuelle. En revanche, plus la couleur tend vers le rouge ou le vert, plus les deux cartes diffèrent. La couleur rouge (i.e. valeurs positives) signifie une hausse dans le futur du nombre de populations pour lesquelles l’habitat est favorable et inversement, la couleur verte (i.e. valeurs négatives) signifie une baisse dans le futur du nombre de population pour lesquelles l’habitat est favorable.

Abréviations : Current = période 1990-2022 ; RCP45 = scénario RCP 4.5; RCP85 = scénario RCP 8.5 ; F1 = période 2023-2052; F2 = période 2047-2076; F3 = période 2070-2099

Enfin, si l’on se focalise sur l’habitat marin non favorable aux 2 populations en cours de repeuplement (i.e. Elbe et Gironde) mais qui serait favorable à au moins une des 10 autres populations simulées (**Figure 42**), on constate que ces secteurs sont principalement situés dans la Manche (secteurs non côtiers) et autour du Royaume-Uni et de la côté est de l’Irlande. Cependant, au fur et à mesure que l’on s’approche de la fin du siècle avec les changements climatiques, la surface de ces secteurs devrait diminuer car la surface de l’habitat marin favorable aux populations de l’Elbe et/ou à la Gironde devrait s’étendre.

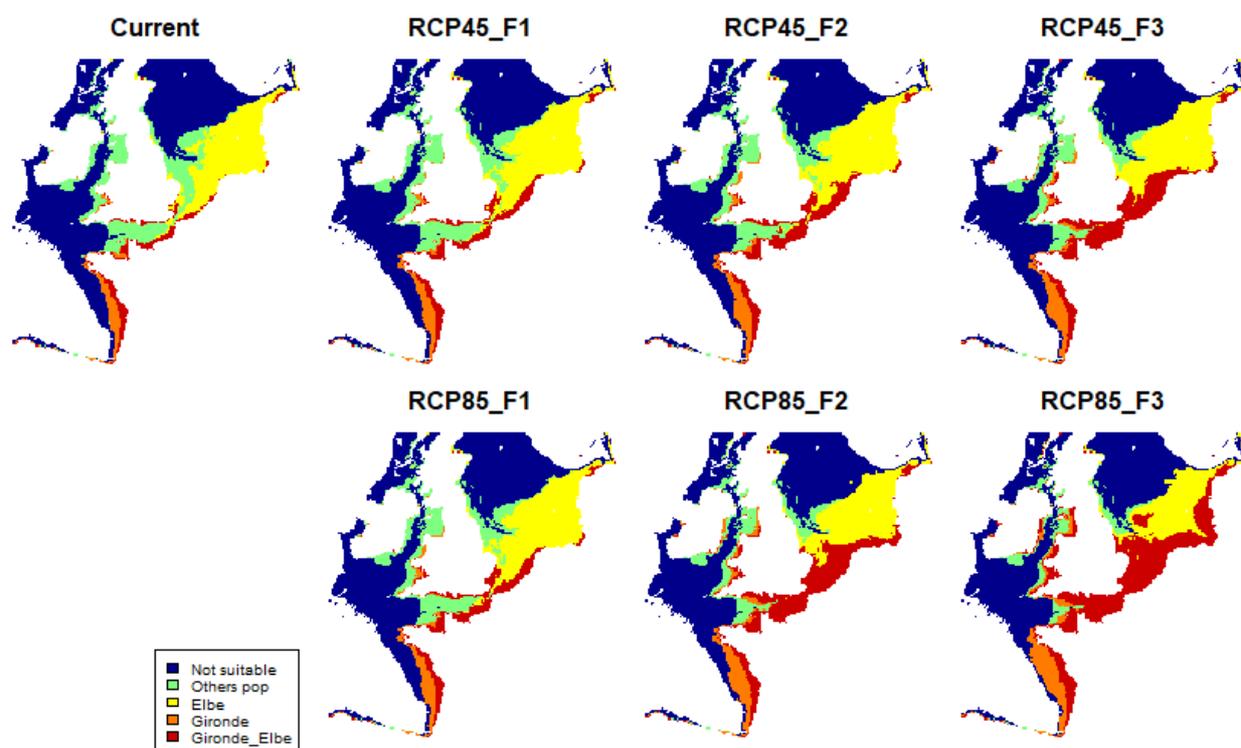


Figure 42 : Cartes des habitats marins favorables pour les différentes périodes (actuelle et futures) et scénarios (RCP 4.5 & 8.5) pour les populations de l’Elbe (jaune), de la Gironde (orange) et des deux en même temps (rouge). Les mailles d’habitats marins non favorables aux populations de l’Elbe et de la Gironde mais favorables à au moins une des 10 autres populations sont indiqués en vert.

Abréviations : Current = période 1990-2022 ; RCP45 = scénario RCP 4.5; RCP85 = scénario RCP 8.5 ; F1 = période 2023-2052; F2 = période 2047-2076; F3 = période 2070-2099

V.4 Conclusions – Perspectives

L’intégration d’une contrainte spatiale dans les modèles de distribution d’espèce est une approche qui reste peu utilisée et, lorsque c’est le cas, appliquée en milieu continental (Allouche *et al.*, 2008). En milieu marin cependant, de nombreuses espèces peuvent avoir leur répartition contrainte spatialement, comme les poissons migrateurs amphihalins. Disposant d’un jeu de données nous permettant de connaître ou déduire le bassin de reproduction des esturgeons européens capturés accidentellement, nous avons pu tester cette hypothèse en intégrant la distance aux exutoires des bassins de reproduction (i.e. Elbe ou GGD) comme variable dans le processus de modélisation. De plus, les projections réalisées ont permis de simuler des scénarios de repeuplement dans 10 autres bassins versants afin de visualiser ce que serait l’habitat marin contemporain, et sous l’effet des changements climatiques, de ces nouvelles populations. Les cartes ainsi produites apportent de nouveaux éléments et ouvrent des perspectives intéressantes pour guider et anticiper des scénarios de repeuplement, avec des stratégies de gestion adaptées aux changements climatiques. Néanmoins, il est important de garder à l’esprit que les 12 bassins de reproduction choisis pour cette étude sont prédits comme favorables jusqu’à la fin du siècle d’un point de vue environnemental uniquement (Lassalle *et al.*, 2010).

Les facteurs d'origine anthropiques (e.g. trafic maritime, obstacles à la migration) n'ont pas été pris en compte, bien qu'ayant un impact non négligeable sur les poissons migrateurs tels que l'esturgeon européen. Notre étude prédit donc la favorabilité des habitats en mer uniquement sans prendre en compte l'état écologique des bassins versants.

Remerciements

Merci à Marie-Laure Acolas (INRAe) pour la supervision de l'étude et la relecture du document. Nous remercions Jörn Geßner (IGB), Steve Colclough (FIFM), Niels Brevé (Wageningen University) et Ernst Schrijver (Ark Naatur) pour la transmission de leurs bases de données de captures accidentelles d'esturgeon européen. Merci à Géraldine Lassalle (INRAe), Patrick Lambert (INRAe) et Antoine Guisan (université de Lausanne) pour leurs conseils en modélisation. Merci à Eric Rochard (INRAe) pour son expertise sur l'espèce. Merci à Lise Mas (Capena), Fanny Volage (CNP MEN) et Eric Quinton (INRAe) pour avoir facilité l'exploitation de la base de données STURWILD. Merci à Susan Kay (PML), Momme Butenschön (CMCC), Elena Di Medio (Akka Technologies) pour les renseignements fournis et la transmission des données océaniques. Merci à Estibaliz Diaz (AZTI) d'avoir fourni des renseignements complémentaires concernant les observations accidentelles au pays basques.

Suivis en milieu naturel

Entre 2007 et 2015, les opérations de repeuplement d'*A. sturio* ont été régulières et plus d'1.7 millions d'individus ont été relâchés à différents stades (larves, juvéniles de 3 mois, juvéniles de 1 an et juvéniles de 2 ans et plus). La population soutenue d'esturgeons européens a été et est suivie en milieu naturel par le biais de trois méthodes dans le cadre des PNA en faveur de la restauration d'*A. sturio* (Dreal, 2011; 2020) :

- un recueil des observations citoyennes (déclarations de captures accidentelles ou d'observations par tous citoyens) des esturgeons, principalement *A. sturio*, géré conjointement par le CNPMEM, CAPENA (ex-IMA) et INRAE ; INRAE ayant en charge la gestion de la base des observations citoyennes nommée STURWILD (action 7 du premier PNA et action 6 du second PNA).
- des échantillonnages scientifiques au chalut de fond réalisés par INRAE depuis 2009 (Acolas *et al.*, 2011) dans les secteurs chalutables de l'estuaire de la Gironde (action 15 du premier PNA et action 8 du second PNA).
- un suivi plus récent qui débute en 2022, mis en place dans le cadre du projet MOMIE (Mouvements Migratoires de L'Esturgeon Européen, contrat recherche et développement INRAE OFB) (Acolas, 2021) qui vise à analyser l'ADN environnemental (ADNe) au niveau des zones de frayère en Dordogne et en Garonne.

Chapitre VI : Suivi de la population d'esturgeons européens en milieu naturel – Synthèse et analyse des résultats d'observations accidentelles en 2022 (Action 6)

Acolas M.L., Charbonnel A., Quinton E.

INRAE, Centre de Nouvelle Aquitaine Bordeaux, Unité EABX

Objectif

Recueil et bancarisation des données d'observations accidentelles.

Obtenir un indicateur de fonctionnement de la population attestant de la présence d'esturgeons européens aux différents stades de vie et de la répartition de l'espèce sur son aire de distribution. L'indicateur est d'ordre qualitatif car il n'est pas envisageable de quantifier la population à partir de ce seul indicateur.

VI.1 Méthodes

Les déclarations d'observations accidentelles d'un esturgeon européen peuvent être faites auprès des trois organismes impliqués (CNPMEM, CAPENA et INRAE) par des pêcheurs professionnels, des pêcheurs amateurs mais aussi par tous citoyens qui croise un esturgeon européen dans son activité (*i.e.* échouage). Ces 3 organismes interagissent par le biais d'une application web « STURWILD » depuis 2015 permettant de saisir, sauvegarder et extraire les informations concernant les captures (localisation de la capture, nombre d'individus capturés,

caractéristiques du poisson, engins de pêche...) de manière à faciliter les échanges d'informations entre les partenaires. Les déclarations concernent les fleuves, l'estuaire de la Gironde et la façade maritime Atlantique Manche et Mer du Nord. Certaines déclarations peuvent correspondre à des espèces d'esturgeons exotiques qui sont également recensées en tant que telles dans la base de données. Le CNPMM et CAPENA recontactent et remercient systématiquement les pêcheurs déclarants. INRAE assure la mise à jour de la base de données et transfère les données mises à jour environ tous les 3 mois aux partenaires (CNPMM, CAPENA) ainsi qu'au coordinateur et à l'animateur du PNA (DREAL et MIGADO respectivement).

VI.2 Résultats Discussions

Au total 918 observations accidentelles correspondant à 1847 individus ont été recensées de 2006 à 2022 en Europe dont la majorité en France (98% des observations correspondant à 1809 individus) (extraction BD STURWILD du 14/02/23) (**Figure 43**). Les observations s'étendent de la Galice en Espagne aux côtes norvégiennes (**Figure 44**). Sur cette période, la majeure partie des individus ont été observés vivants, et 37 individus ont été observés morts (soit 4% des observations correspondant à 2% des individus).

Depuis mi-2019 la localisation précise des observations n'est plus partagée par les partenaires. Cette réaction fait suite à une réunion concernant le site Natura 2000 de Carcans-Hourtin où des propositions de mesures de gestion basées sur des observations de poissons plats et des observations d'esturgeon européen ont été annoncées à la profession, ce qui a entraîné une réaction des pêcheurs. Les professionnels se sont accordés pour ne plus fournir la géolocalisation des déclarations de captures accidentelles aux membres du PNA. La situation ne s'est pas améliorée depuis suite à la remise en question de la pêche au filet en estuaire. Depuis 2020 on assiste ainsi à une réduction drastique du nombre de déclarations avec 2.5 à 19 fois moins d'individus observés respectivement en 2020 et 2022 comparé à 2019.

En 2022, 50% des individus ont été observés en mer (**Figure 43**). Etant donné le cycle de vie de l'espèce la majorité des individus est actuellement en mer mais la proportion observée en estuaire peut être le reflet à la fois du comportement de déclaration des observateurs (sensibilisation locale renforcée) et de l'opportunité de capturer un esturgeon dans ce milieu (estuaire de la Gironde plus restreint que l'environnement marin). De plus les esturgeons peuvent effectuer régulièrement des allers retours entre l'estuaire et l'océan (Castelnaud *et al.*, 1991). En parallèle des individus ont également été observés au printemps dans les fleuves Garonne et Dordogne depuis 2020 : 4 observations en 2020 et en 2021 et une en 2022 en Dordogne à l'amont de Libourne. Ces observations, même si elles sont peu nombreuses constituent des signes encourageant d'un début de remontée de géniteurs potentiels (**Figure 43**).

En parallèle de la présente action et suite au travail réalisé dans le cadre du projet MOMIE (Charbonnel & Acolas, 2022; Charbonnel *et al.*, 2023), les données de STURWILD sont actuellement utilisée pour la réalisation d'un travail de modélisation des habitats préférentiels en mer de l'esturgeon européen à l'échelle européenne (voir Chapitre V).

A la demande de CAPENA, un bilan des observations dans l'estuaire par type d'engin a été réalisé en 2022 sur la période 2008-2021 mettant en évidence que plus de 90% des observations ont été réalisées par des filets dits dérivants (Annexe 1).

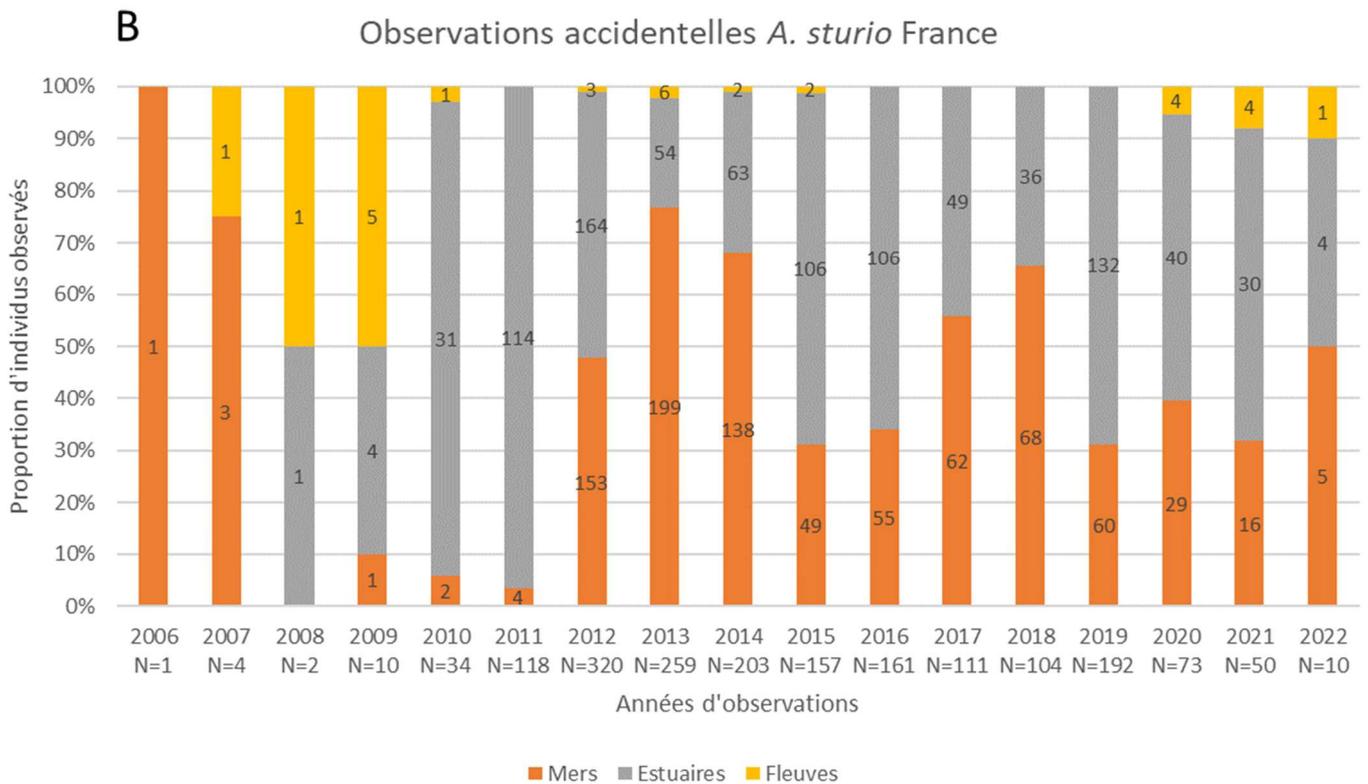
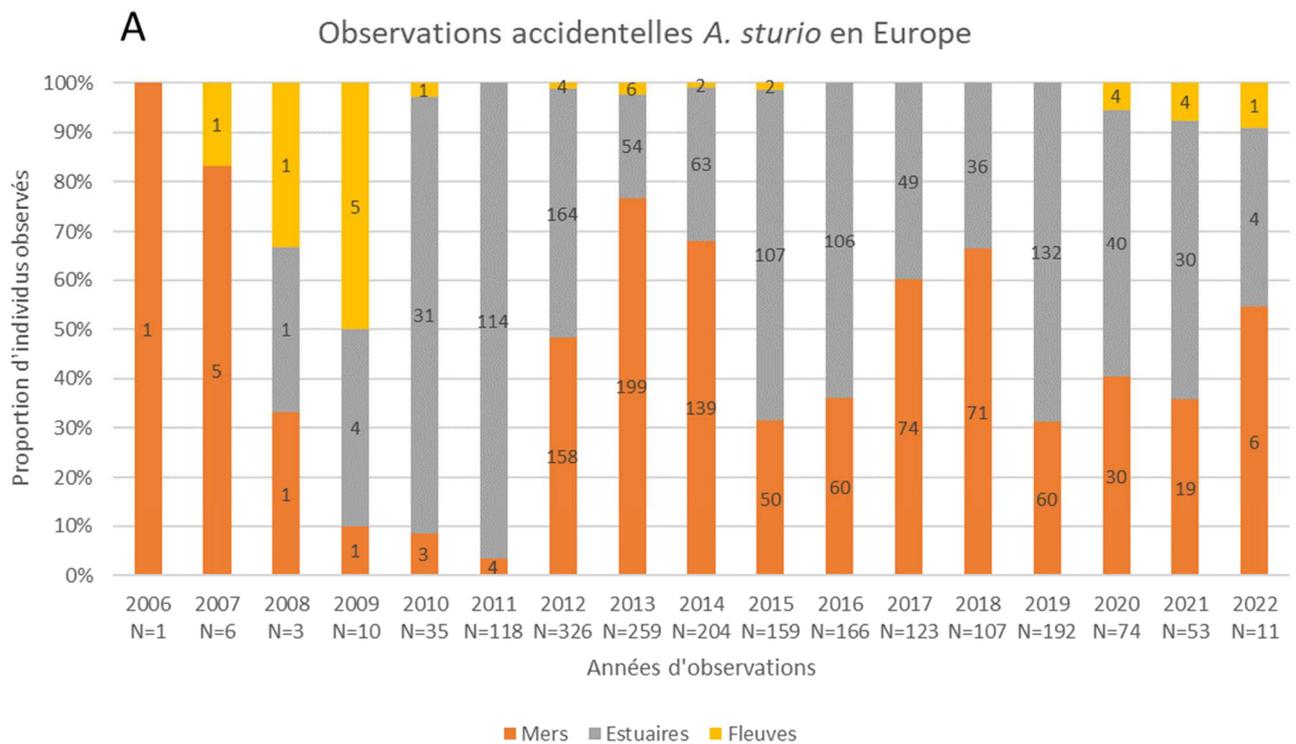


Figure 43 : Proportion d'individus *A. sturio* observés dans les différents milieux (fleuves, estuaires et mers) en fonction des années en Europe (A) et en France (B). Les nombres d'individus observés correspondants sont indiqués à côté des années et sur les barres du graphique pour chaque milieu.

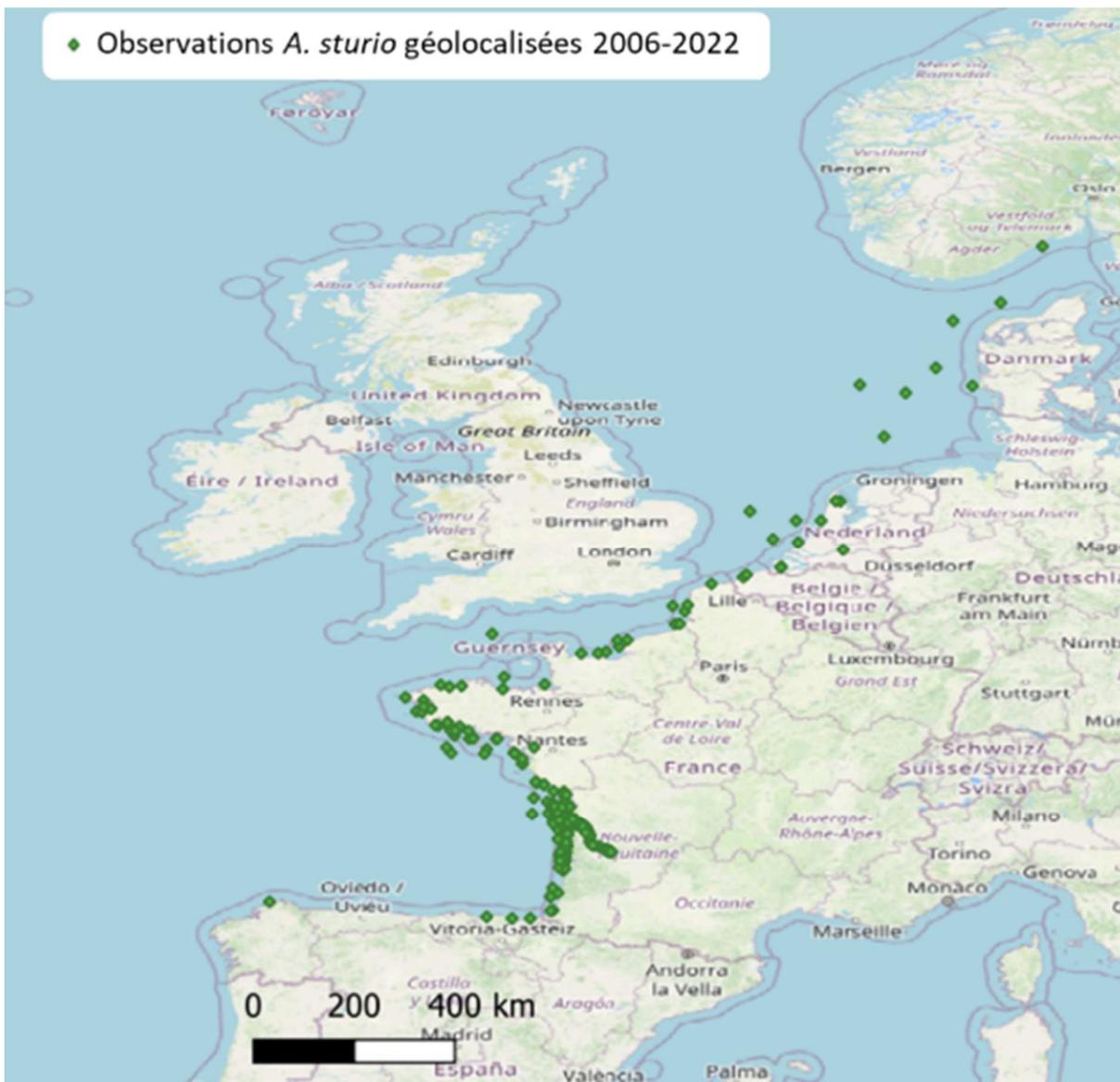


Figure 44 : Répartition des observations géolocalisées d'*A. sturio* sur la période 2006-2022

VI.2.1 Détails des observations *A. sturio* de 2022 (Figure 45) :

Concernant les 4 individus observés dans l'estuaire de la Gironde, nous n'avons pas les positions GPS. Ils ont été observés entre le 17 mai et le 12 juin durant la pêche aux maigres avec des filets maillants dérivants et déclarés par 3 pêcheurs professionnels à CAPENA. Leur longueur totale a été estimée entre 118 et 162cm, un individu n'ayant pas été mesuré. Leur état a été jugé bon à très bon. Deux individus étaient marqués. Un individu était marqué en externe avec une marque de type HP et une DST, cette dernière n'a pas été détachée par le pêcheur. Il s'agissait d'un individu marqué le 15/09/21 lors de STURAT (150cm LT 16.8 kg) issu de la cohorte 2011 lâché à 1 an. L'autre individu portait une HP et la trace d'une marque satellite (reste de fil), il avait été marqué lors de STURAT le 9 septembre 2020 (145 cm LT 16.2 kg). Des photos ont été prises et transmises pour l'ensemble des individus.



Figure 45 : Photographies issues des observations accidentelles au printemps 2022

L'individu observé en Dordogne a été estimé à 150 cm pour 35 kg, il a été capturé au filet maillant dérivant en amont de Libourne le 28 avril 2022.

Concernant les 5 individus observés en mer le long des côtes françaises, ils ont été observés en Atlantique : 2 individus en janvier, un en février capturés au filets fixes, un en avril au chalut de fond et un en août au chalut. Quatre positions GPS ont été déclarées (**Figure 46**). Les déclarations ont été faites soit à CAPENA, soit via le site internet sturio.fr soit directement à INRAE. Les longueurs totales ont été estimées entre 120 et 150cm pour des poids estimés entre 10 et 22 kg (pour 2 individus). Quatre individus ont été jugés en bon ou très bon état et un individu était en mauvais état, ce dernier ayant été capturés deux fois de suite au chalut. Des photographies ont été prises pour 4 individus sur les 5 (**Figure 47**).

Nous avons également eu en 2022 le signalement d'un esturgeon européen au niveau des côtes anglaises, au Nord Est mais sans plus de détails. Le poisson semble en bon état (**Figure 48**).

En 2022, il n'y a pas eu de déclaration d'individus observés morts.

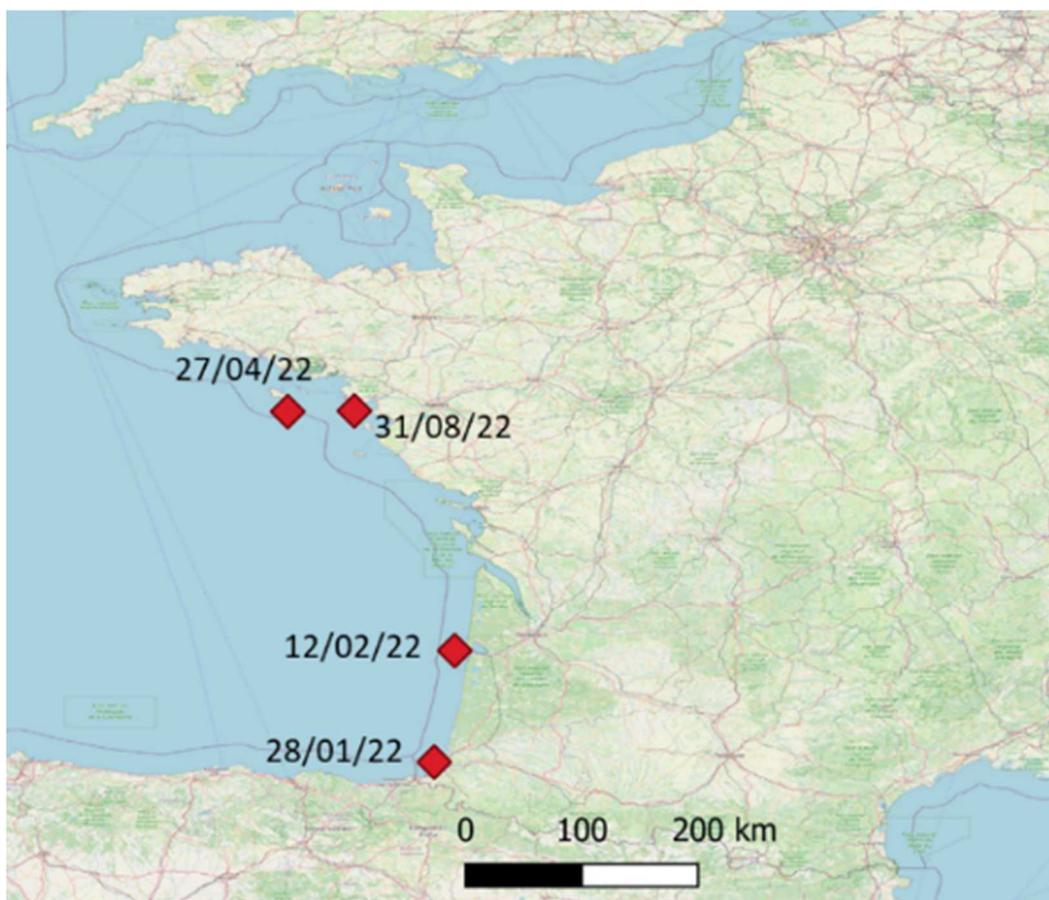


Figure 46 : Localisation et date des 4 observations d'*Acipenser sturio* déclarées en mer en 2022.



Figure 47 : *Acipenser sturio* observés en mer en 2022, l'individu à droite correspond à celui en mauvais état (© anonyme).



Blue Marine Foundation

15 581 abonnés

1 sem. • 🌐

On April 19, a fishing vessel captured a sturgeon off the North-East coast of England!

A huge thank you to Ryan Maguire and Jonny Jordan for following the correct advice and returning this amazing fish back to the water 🐟

Experts have since confirmed that this species was a European sturgeon (*Acipenser sturio*) 🐟

Please remember to record all sturgeon captures and sightings on www.savethesturgeon.com

Figure 48 : *Acipenser sturio* observé en avril 2022 près des côtes anglaises

VI.2.2 Observations d'esturgeons exotiques en 2021

Des observations d'esturgeons exotiques ont également été recensées dans la Base STURWILD. Après de nombreuses observations en 2020 suite à des échappements d'esturgeons sibériens (*A. baeri*) et d'osciètres (*A. gueldenstaedtii*) dans le bassin, quelques individus mesurant entre 1 et 1.4 m (4 individus mesurés sur 6) sont encore observés en Garonne (1 esturgeon sibérien), en Dordogne (4 esturgeons sibériens) et en estuaire (1 osciètre) au cours de l'année 2022 (**Figure 49** et **Figure 50**). Ces individus ont été observés entre mars et mai.

Même si le nombre a beaucoup diminué, la présence de ces individus pose question car il y a notamment un risque de confusion en cas de capture avec l'espèce autochtone, de transmission de pathogènes et de compétition alimentaire (Acolas *et al.*, 2018).

Observations esturgeons exotiques France

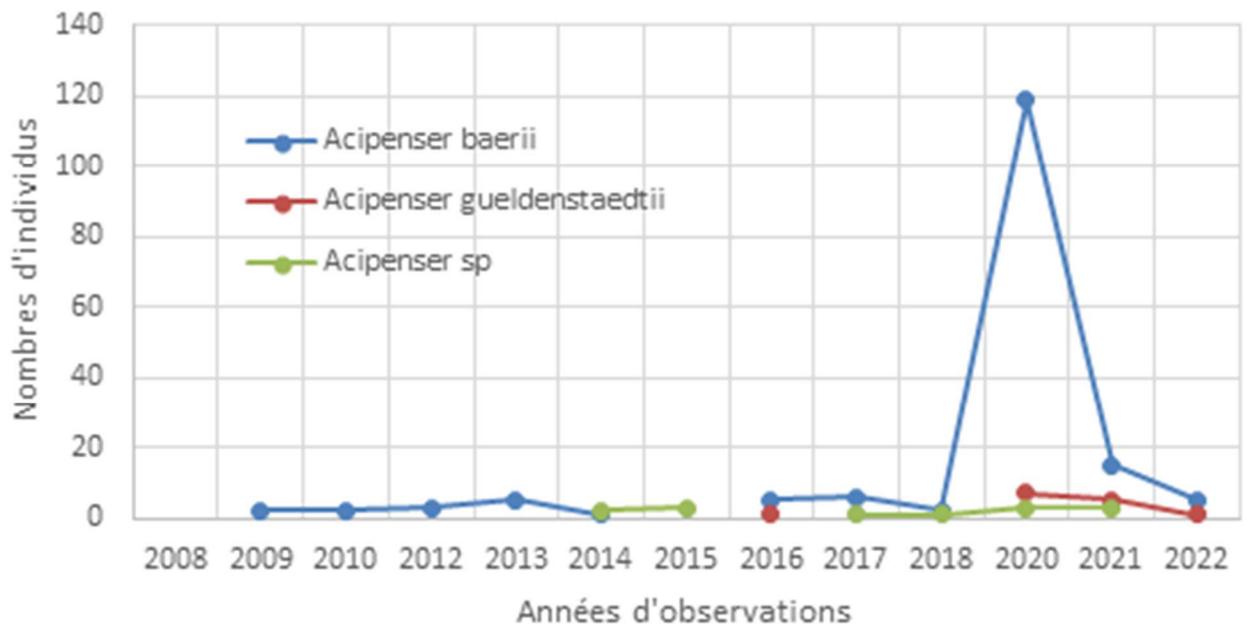


Figure 49 : Nombre d'individus correspondant à des esturgeons exotiques observés en France et déclarés dans la base STURWILD en 2022 (extraction BD STURWILD du 14/02/23).



Figure 50 : Esturgeons exotiques *A. baerii* observés en fleuve en 2022

VI.3 Conclusion-Perspectives

Les observations accidentelles de 2022 ont permis de préciser la présence d'esturgeons européens au sein de ses milieux de croissance principaux : la mer et l'estuaire de la Gironde avec des tailles correspondant aux tailles attendus pour des individus nés entre 2007 et 2014 issus des repeuplements. Un grand spécimen a de nouveau été observé en fleuve ce qui conforte le fait qu'il y a des individus qui débutent leur migration de reproduction. En l'absence d'observations de petits individus, il n'y a probablement pas eu de reproduction en milieu naturel en 2021, les grands individus des fleuves étant probablement des mâles qui théoriquement sont mûres plus tôt que les femelles. On notera toujours un point d'attention majeur : une baisse des déclarations significatives dû à un contexte local actuellement complexe. Une sensibilisation accrue de la profession dans les prochaines années sera primordiale au vu des signes annonçant des reproductions en milieu naturelle. Nous sommes vraiment à un moment crucial du programme de restauration et la mobilisation de tous les acteurs est particulièrement importante.

Remerciements

Merci à Lise Mas (CAPENA), Fanny Volage et Marie Lecompte (CNPMMEM, Fanny Volage ayant remplacé M. Lecompte en août 2022) pour les saisies et échanges dans le cadre de la base STURWILD.

Merci à E. Quinton pour la maintenance de la base STURWILD.

Merci à A. Charbonnel pour sa participation aux corrections dans la base.

Merci aux pêcheurs déclarants pour leur implication.

Chapitre VII : Suivi de la population d'esturgeons européens en milieu naturel – Synthèse et analyse des résultats d'échantillonnages scientifiques en 2022 (Action 8)

Acolas M.L., Lamour M., François B., Quinton E., Gazeau C., Jatteau P., Rochard E.

INRAE, Centre de Nouvelle Aquitaine Bordeaux, Unité EABX

Objectif

Obtenir une estimation, la plus proche possible de la réalité, de l'état et de la tendance d'évolution de la population d'*Acipenser sturio*. Intégrer dans cette évaluation l'ensemble des indicateurs qualitatifs ou quantitatifs disponibles.

Renseigner le fonctionnement de la population Girondine (migrations, abondance des juvéniles en estuaire, régime alimentaire, utilisation des habitats ...). Evaluer l'efficacité des actions de repeuplement, la part des futures reproductions naturelle et les critères d'arrêt des soutiens.

VII.1 Méthodes

Les campagnes de chalutage scientifiques (campagnes STURAT) sont mises en œuvre depuis 2009 sur le modèle des échantillonnages réalisés historiquement sur la population sauvage (Rochard *et al.*, 2001; Acolas *et al.*, 2011b). Dans ce rapport un point factuel sur les échantillonnages de 2022 est réalisé.

Les échantillonnages par chalutage dans l'estuaire de la Gironde sont réalisés environ tous les 2 mois à l'aide de deux grilles d'échantillonnage utilisées alternativement qui représentent les principaux secteurs chalutables de l'estuaire médian et aval (**Figure 51**). En effet, il est impossible de chaluter dans le chenal de navigation, dans les accès portuaires, dans les zones intertidales et dans les secteurs présentant des hauts fonds.



Figure 51 : Echantillonnage scientifique STURAT au chalut de fond dans l'estuaire de la Gironde en septembre 2022 (© INRAE M.L. Acolas).

Pour chaque trait, l'ensemble des espèces de poissons est caractérisé et dénombré, 30 individus de chaque espèce sont mesurés. A chaque trait les paramètres physico-chimiques sont relevés (température, oxygène, salinité, turbidité). En ce qui concerne les esturgeons, les individus capturés sont mesurés, pesés et marqués avec un identifiant unique en interne (pit-tag) et en externe (Hall-print) ; les marques externes permettant également d'être recensées lors de captures accidentelles. Des prélèvements de morceaux de nageoires sont réalisés en vue d'analyses génétiques d'assignation parentale (Roques *et al.*, 2018; Roques *et al.*, 2019) et d'analyses isotopiques (régime alimentaire et répartition spatiale). Sur une partie des individus, un prélèvement de rayon est réalisé afin d'estimer l'âge des individus (Rochard & Jatteau, 1991) et un lavage gastrique est réalisé afin de qualifier et de quantifier la nature des proies consommées (Brosse *et al.*, 2002; Vega, 2016).

Pour les plus gros individus des marques spécifiques sont mises en place. Il s'agit de DST (Data Storage Tags) qui enregistrent la température, la profondeur et la salinité rencontrées par l'individu équipé.

Les manipulations effectuées dans le cadre de ces campagnes ont été approuvées par le comité d'éthique CE73 (numéro 2020040117582634) et sont réalisées par du personnel formé à l'expérimentation animale.

Les campagnes d'échantillonnage « Sturat » sont effectuées à bord du navire l'Esturial. Le personnel navigant est composé d'un capitaine et de deux matelots dépendant de Genavir qui gère l'embarcation, et de deux biologistes INRAE.

VII.2 Résultats-discussions

Au total 100 traits de chalut ont été réalisés au cours de 5 campagnes qui ont eu lieu en mars, mai, juin, juillet et septembre. La campagne prévue initialement en novembre n'a pas pu être réalisée pour des raisons météorologique et le secours prévu en décembre n'a pas pu être réalisé pour les mêmes raisons. Le bilan de l'ensemble des espèces échantillonnées dans le cadre de ces campagnes est disponible en Annexe 2.

VII.2.1 Caractéristiques des individus échantillonnés en 2022 :

Dix esturgeons européens ont été observés au total, avec des captures en mars (N=1), mai (N=5), juin (N=2) et en septembre (N=2). Les individus mesuraient entre 140 et 181cm et pesaient entre 13,8 et 29,9kg (**Figure 52**). Les âges des individus ont été estimés soit par lecture des rayons pectoraux soit parce qu'ils étaient déjà marqués. Les âges ont été estimés entre 14 (cohorte 2012) et 10 ans (cohorte 2008) (**Figure 52**). Trois individus marqués ont été observés : celui de la cohorte 2008 qui a été lâché à 2 ans en 2010 à Bourg sur Gironde, un individu de la cohorte 2011 (LT 150cm, 14kg) qui a été lâché en 2015 et un individu de la cohorte 2012 (LT 175cm, 25 kg) qui a déjà été capturé lors des campagnes STURAT en septembre 2015 (LT 87cm, 3,35 kg) (lâcher larve ou 3 mois en Garonne).

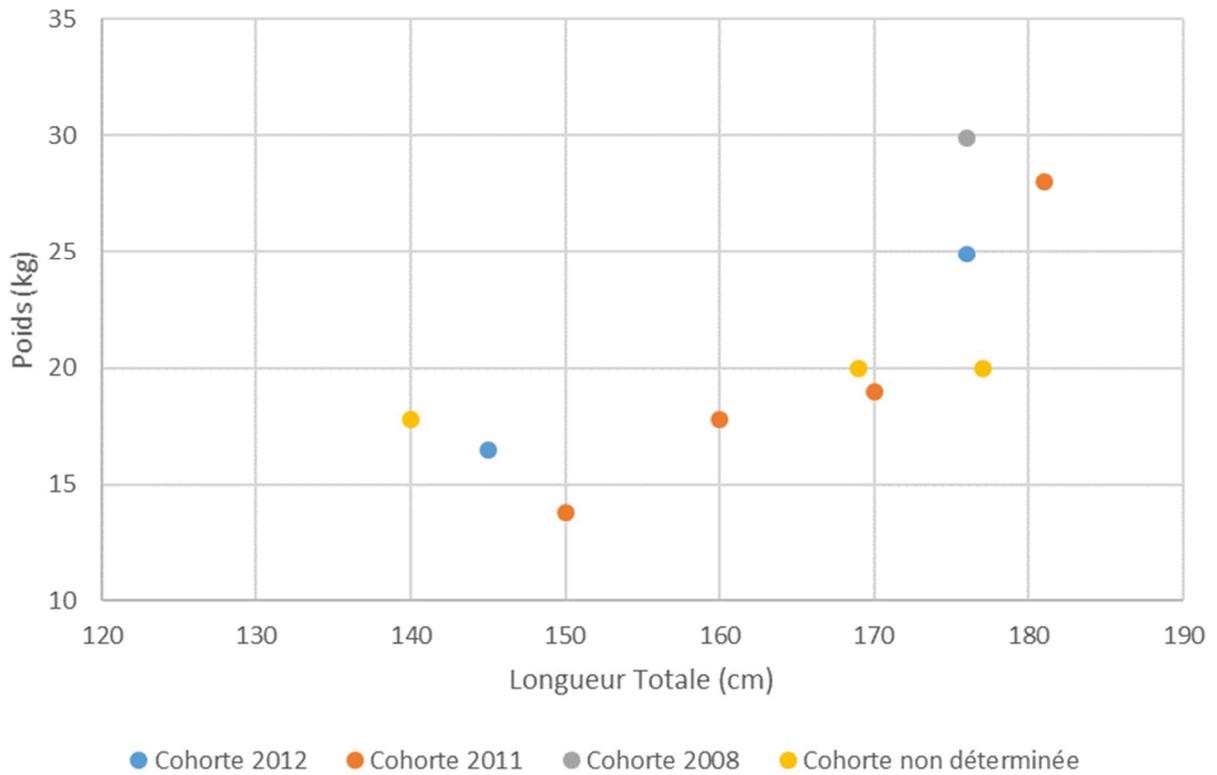


Figure 52 : Longueur totale et poids des *Acipenser sturio* capturés lors des campagnes STURAT en 2022. La cohorte, c'est-à-dire l'année de naissance est précisée. Lorsqu'elle est non déterminée il s'agit d'une lecture de rayon qui n'a pas encore ou n'a pas pu être réalisée.



Figure 53 : Zones de captures des esturgeons européens en 2022. Les zones d'échantillonnages sont en vert, celles où des esturgeons européens ont été capturés sont en jaune.

L'ensemble des esturgeons européens ont été capturés dans les secteurs les plus aval de la zone d'échantillonnage (zones 7A, 7A', 9A, 9A') (Figure 53).

Tous les poissons non marqués ont été équipés avec un pit-tag et une marque externe en cas de recapture par un pêcheur. Des prélèvements de nageoires en vue d'une analyse génétique ont également été réalisés sur l'ensemble des individus ainsi qu'un prélèvement de nageoire anal en vue d'analyses isotopiques futures. Deux individus ont été équipés de DST. Des photographies morphologiques et des échographies ont également été réalisées.

Des lavages gastriques ont été réalisés pour 3 individus. Quelques mysidacea en cours de digestion ont été déterminées pour un individu en mai. Pour 2 individus en juin ce sont essentiellement des mollusques qui ont été déterminés (*Barnea candida*) et quelques crustacées (*Crangon crangon*, *Corophium volutator*). Globalement il y avait peu de proies mais au vu de la taille des individus nous avons des doutes sur l'efficacité du lavage gastrique.

VII.2.2 Observations d'esturgeons exotiques en 2022 :

Quatre Esturgeons exotiques ont été capturés en avril (3), mai (1) et juillet (1). Les osciètres *Acipenser gueldenstaedtii* mesuraient entre 67 et 77 cm longueur fourche et l'esturgeon sibérien *Acipenser baeri* 93 cm. Ils ont été capturés dans des secteurs différents des esturgeons européens, plus médians (Figure 54).

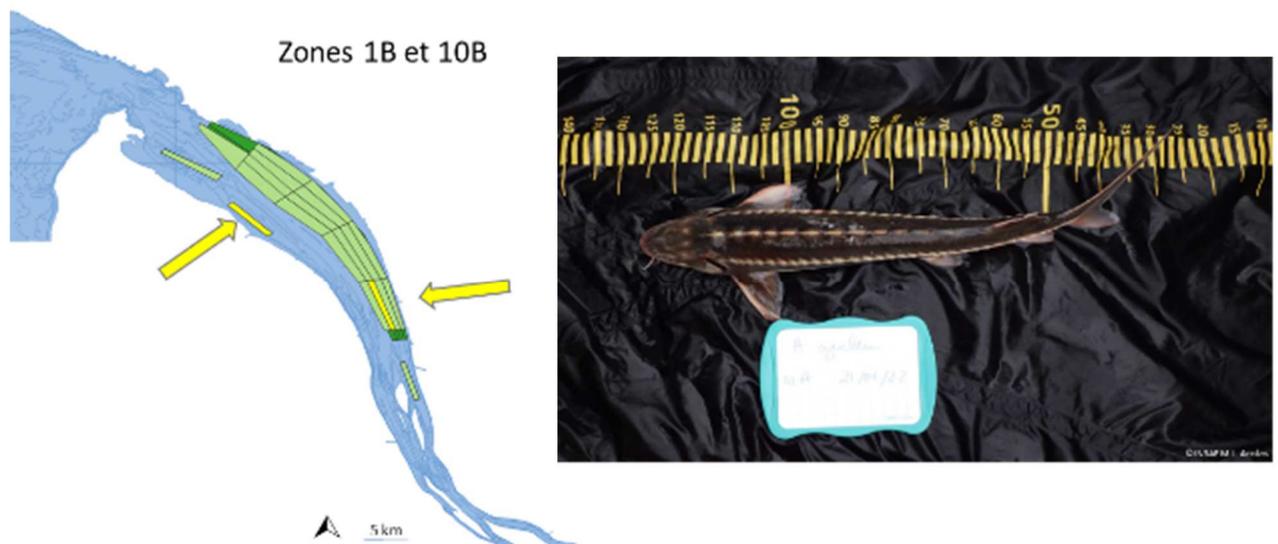


Figure 54 : Zones de captures des osciètres en 2022.

Les zones d'échantillonnages sont en vert, celles où des osciètres ont été capturés sont en jaune.

VII.3 Conclusions-Perspectives

Les échantillonnages scientifiques dans l'estuaire de la Gironde montrent une présence des esturgeons dans l'estuaire toute l'année contrairement aux observations accidentelles présentées dans la partie 1 qui sont plus réduites dans le temps (au printemps) ce qui illustre le fait que ces dernières observations sont bien un produit entre le comportement des observateurs et celui de l'espèce. La gamme de taille des individus présents en estuaire se recoupe entre les échantillonnages scientifiques et les observations accidentelles avec l'absence d'individus de petites taille indiquant l'absence de reproductions naturelles en 2021. Les résultats des suivis ADN environnemental réalisés en 2021 (projet MOME) confortent cette hypothèse, aucune trace correspondant à *A. sturio* n'a été mise en évidence à l'automne au niveau des frayères historiques dans la zone fluviale.

La présence des espèces exotiques, localisées à des endroits différents des *A. sturio* est également confirmée par les échantillonnages scientifiques avec des individus qui sont en très bon état (prise alimentaire confirmée).

Au vu de leur âge, la majorité des *A. sturio* issus des repeuplements sont théoriquement actuellement en mer pour effectuer la majeure partie de leur croissance. Les observations d'individus en estuaire posent question. Plusieurs hypothèses peuvent être posées. Il y a les mouvements d'aller-retour entre la mer et l'estuaire correspondant à ce qui a été nommé « la mouée de la Saint Jean » (Castelnaud *et al.*, 1991) mais qui n'expliquent pas la présence d'individus tout au long de l'année. Une recherche de proies ou de conditions environnementales particulières pourraient expliquer ces mouvements. Ces mouvements pourraient ne concerner que la fraction de la population qui vie en mer non loin de l'estuaire mais il ne faut pas exclure la présence d'individu qui vivent en mer assez loin de l'estuaire. Ces mouvements concerneraient également des individus en migration de reproduction c'est-à-dire au printemps (montaison) et en été (retour en mer).

En parallèle des échantillonnages STURAT, dans le cadre du projet REVE (Reconstruction tactiques de Vie Esturgeon européen, cofinancement Région Nouvelle Aquitaine et Agence de l'Eau Adour Garonne) le doctorat de Marie Lamour débuté en janvier 2021 se poursuit. Ce travail vise notamment à utiliser les données récoltées au cours des campagnes STURAT afin d'analyser la répartition des esturgeons en fonction des conditions environnementales. Dans le cadre de ce même projet le post doc de Melvin Samson a débuté en Décembre 2021, il vise à mettre au point différents traceurs environnementaux afin de reconstruire les trajets migratoires des individus de manière peu invasive.

Remerciements

Merci aux équipages GENAVIR mobilisés en 2022 pour la réalisation des campagnes STURAT : T. Fait, G. Raymond, P. Columeau, O. Le Pape, B. Riberolle, T. Muret, F. Quivoron.

Merci à S. Bons (INRAE EABX) et C. Le Pichon (INRAE HYCAR) pour leur participation occasionnelle aux campagnes STURAT de 2022.

B. François, M. Lamour, A. Rochard et M.L. Acolas (INARE EABX) ont réalisés les campagnes d'échantillonnage en tant que biologistes.

E. Quinton assure la maintenance de l'application STURAT permettant la saisie et la sauvegarde des données des campagnes. Il assure également les corrections et améliorations au fil de l'eau de l'application.

C. Gazeau réalise les préparations au laboratoire des rayons pectoraux pour la lecture d'âges. Les lectures d'âges sont réalisées par C. Gazeau, P. Jatteau et M.L. Acolas, afin de réaliser une lecture consensuelle des pièces pour améliorer la fiabilité des estimations.

B. François a réalisé la détermination des proies dans les contenus stomacaux avec une validation auprès des spécialistes de l'université de Bordeaux (EPOC, H. Blanchet).

Chapitre VIII : Veille sur la reproduction naturelle de l'esturgeon européen

Acolas M.L., François B., Bons S.

INRAE, Centre de Nouvelle Aquitaine Bordeaux, Unité EABX

Objectif

Définir une méthode de veille et construire un indicateur de fonctionnement de la population attestant des événements de reproduction annuel en Garonne et Dordogne. Objectif d'un premier indicateur qualitatif.

VIII.1 Méthode

Au vu du faible nombre de géniteurs susceptibles de réaliser une migration de reproduction durant les premières années et de l'étendue du bassin versant, nous avons choisi d'initier la détection précoce des reproductions naturelles en utilisant la méthode de l'ADNe. Les échantillonnages ADNe ont été réalisés sur le même principe que ceux réalisés dans le cadre du projet MOMIE (Acolas, 2021). Même s'il faut rester précautionneux dans les interprétations (Roussel *et al.*, 2015), l'utilisation de l'ADNe pour détecter la présence d'espèces rares nous semble être une méthode particulièrement prometteuse, celle-ci ayant déjà été développée pour des espèces d'esturgeons en Amérique du Nord (Bergman *et al.*, 2016; Pont *et al.*, 2018). Via cette méthode, il s'agit également de caractériser le cortège ichtyologique présent au niveau des frayères et notamment détecter les espèces exotiques d'esturgeons présents en milieu naturel, présence liée à des échappements accidentelles (piscicultures, étang privé, ...), afin d'identifier les risques (hybridation, transmission de pathogènes, risque de confusion à la capture) à l'échelle du bassin versant.

Une étude préliminaire a été réalisée en 2018 afin de tester la détectabilité du signal ADNe correspondant à l'esturgeon européen. Ce test a été réalisé en échantillonnant en plusieurs points à l'aval du rejet de la station d'expérimentation de Saint Seurin sur l'Isle où est hébergé le stock captif d'esturgeons européens et également une espèce modèle l'esturgeon sibérien (*Acipenser baerii*). Les analyses ont été réalisées en utilisant le protocole du bureau d'étude Spygen pour les prélèvements (analyses VigiDNA milieu courant, groupe taxonomique poissons). Les résultats ont mis en évidence que (1) les deux espèces étaient détectables dans l'Isle (2) que le signal n'était pas détectable en Dordogne à 53 km du rejet de la station (pas de « contamination » de la Dordogne) et (3) que la distance de détection obtenue répond au diagramme de Pont *et al.* (2018) qui simule la distance de détection du signal ADNe en fonction de la hauteur d'eau et de la vitesse du courant. Grâce à cette expérience préliminaire nous avons pu estimer le temps nécessaire à l'échantillonnage qui n'est pas négligeable : 2 répliques de 30 minutes à chaque site auquel s'ajoute la mise à l'eau de l'embarcation et le temps de route entre deux sites d'échantillonnage.

Au vu du temps d'échantillonnage nécessaire et de la faible quantité de géniteurs dans les premières années nous avons choisi de cibler la détection de juvéniles. En effet, nous ne

savons pas quelle est la durée de séjour en eau douce pour la reproduction, ce qui impliquerait un fort effort d'échantillonnage et un risque important de passer à côté de la présence de géniteurs. Par contre, la majorité des juvéniles reste en rivière plusieurs mois après leur naissance avant de migrer vers l'estuaire salé. D'après une étude par télémétrie sur des juvéniles repeuplés à trois mois, 82% des juvéniles resteraient dans un rayon de 13 km à l'aval de leur frayère pendant le mois suivant leur lâcher (Carrera-Garcia *et al.*, 2017).

elle a eu lieu et de localiser le secteur des frayères potentiellement fréquentées, les échantillonnages ont donc été réalisés à l'automne autour des frayères historiques (Jego *et al.*, 2002).

Les analyses en zone de marée dynamique n'étant pas satisfaisante, nous avons concentré notre échantillonnage au niveau des frayères historiques en eau douce à l'exception du site de Caudrot (Acolas, 2021) (**Figure 55** et **Figure 57**). Trois sites sont échantillonnés en Dordogne et 7 sites en Garonne (**Figure 55**). La distance entre les sites d'échantillonnage est comprise entre 11 et 22 km et deux répliques ont été réalisés à chaque site en réalisant un transect en zig-zag pour chaque réplique.

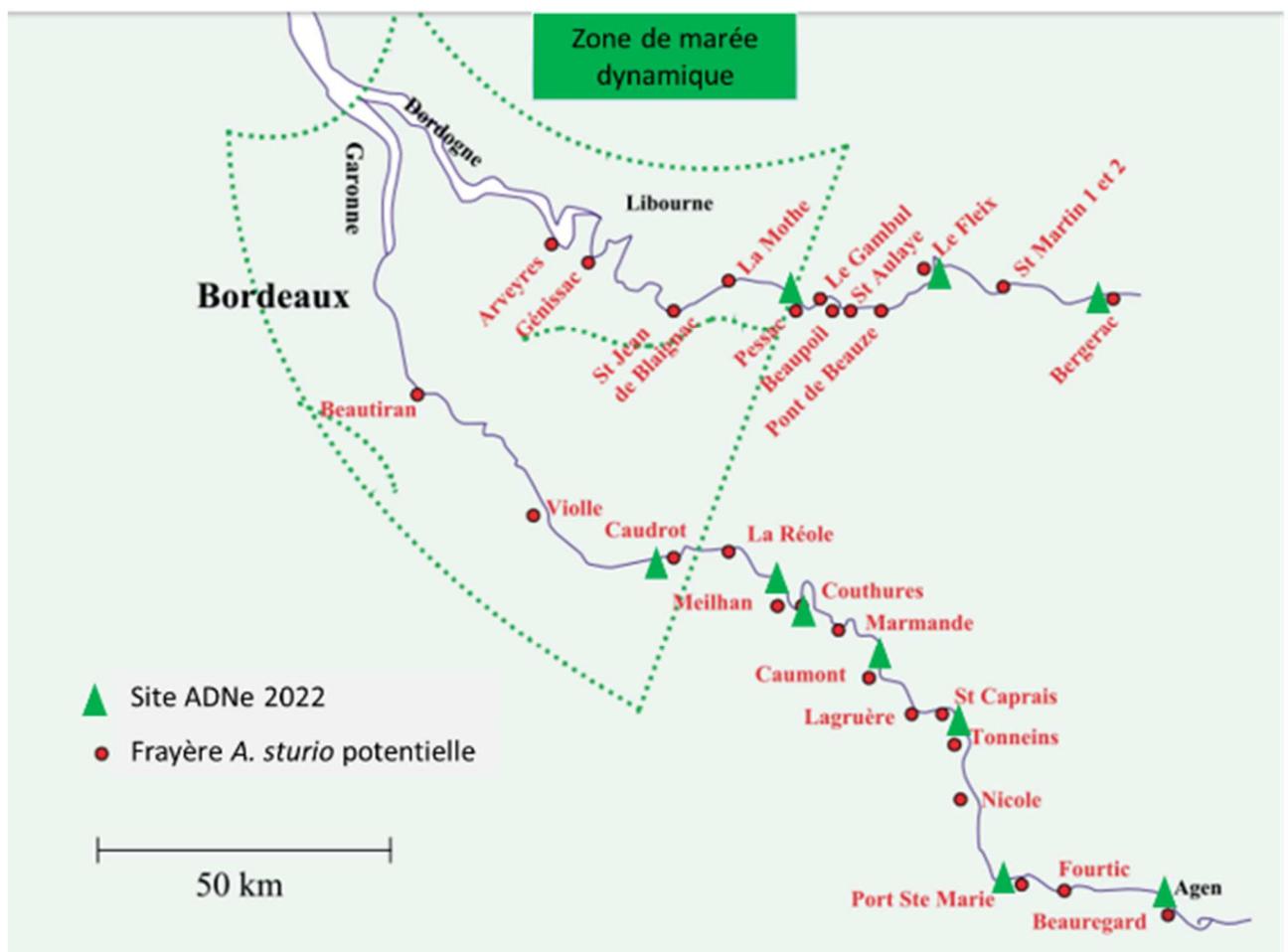


Figure 55 : Sites de prélèvement d'eau pour analyse de l'ADNe en 2022. Localisation en fonction des frayères historiques d' *A. sturio* (figure modifiée d'après Jego *et al.*, (2002)

Les prélèvements ont été réalisés par du personnel ayant suivi la formation du bureau d'étude notamment dédiée à la prise en compte des risques de contamination. Pour les prélèvements, une pompe électrique à main permet de filtrer l'eau dans une capsule spécifique (**Figure 56**). A un réplique est associée une capsule d'échantillonnage. A chaque point de prélèvement ont

été mesurés les paramètres suivants : profondeur, vitesse du courant, température, oxygène, conductivité, salinité, pH et turbidité. Selon la profondeur des sites les prélèvements sont réalisés à pied ou en bateau. En 2022 les prélèvements se sont déroulés entre le 24 août et le 27 septembre.



Figure 56 : Prélèvement ADNe à l'aide d'une pompe (A) et détail de la capsule de filtration (B) (©INRAE R. Le Barh).

En 2022, suite à la réussite d'une reproduction assistée en captivité, un lâcher de 314 juvéniles a été réalisé sur le site du Fleix le 22 septembre par MIGADO (**Figure 57**). Le poids moyen des juvéniles étant de 9.1 g, la biomasse totale a été estimée à environ 2.8 kg de juvéniles âgés de 4 mois. Nous avons donc réalisé un échantillonnage ADNe complémentaire en deux points à l'aval du site de lâcher pour identifier la qualité du signal ADNe en condition réelle. Nous avons réalisé un prélèvement d'eau juste à l'aval du site de lâcher (1 km) et environ 20 km à l'aval (à Pessac sur Dordogne). Cependant pour des raisons logistiques ces prélèvements, initialement prévu le lendemain, n'ont pu être réalisés que 5 jours après, c'est-à-dire le 27 septembre.

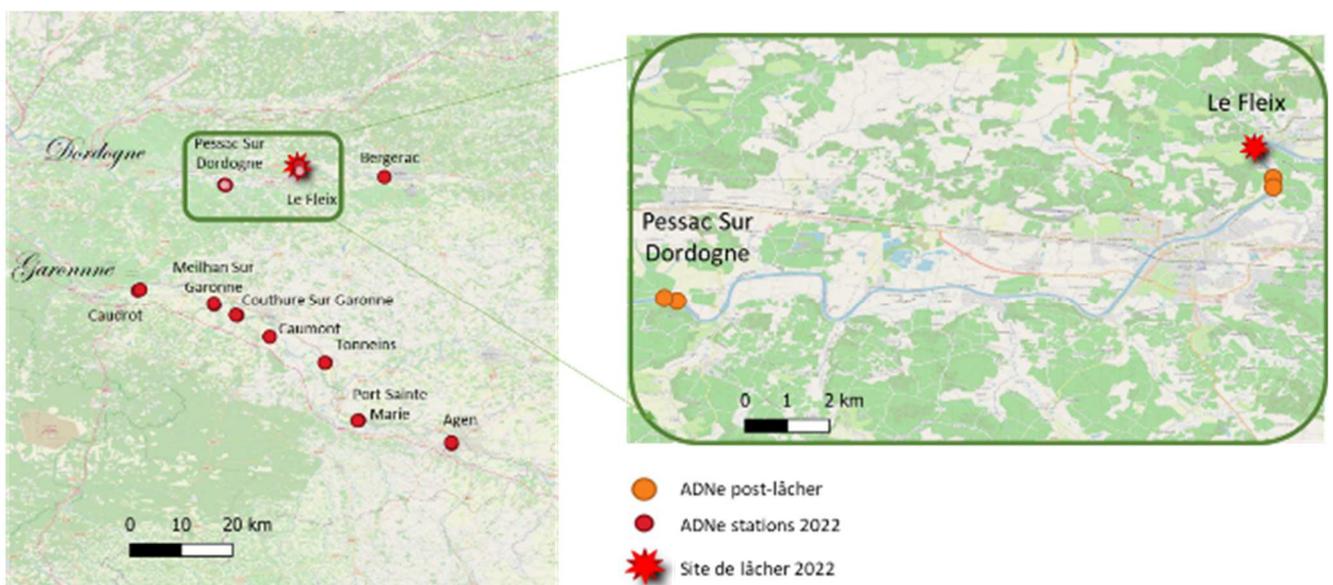


Figure 57 : Localisation des sites des prélèvements d'ADNe 2022, du site de lâcher des juvéniles et des sites de prélèvements ADNe post-lâcher en Dordogne (encart à droite).

VIII.2 Résultats et discussion

Dans la base de référence « esturgeons » constituée par Spygen, on notera qu'il n'est pas possible de distinguer *A. gueldenstadti* et *A. nacarii* sauf pour un haplotype de *A. gueldenstadti*. Il n'est pas non plus possible de distinguer *A. sturio* et *A. oxyrinchus*. On s'attendait à ce dernier cas car ces deux espèces sont très proches génétiquement (Chassaing *et al.*, 2016). Dans le bassin versant Garonne Dordogne cela ne devrait pas poser de problème car il n'y a pas d'*A. oxyrinchus* dans les piscicultures.

Les résultats des échantillonnages de 2022 ne détectent aucun signal correspondant à *A. sturio* ou à un esturgeon exotique. Les résultats bruts sont présentés en Annexe 3. Nous n'avons donc pas détecté de reproduction naturelle de grande ampleur en 2022 et il n'y a pas ou peu d'esturgeons exotiques présents au niveau des secteurs considérés à l'automne.

A l'aval du site de lâcher aucun signal d'esturgeon européen n'a été détecté (sites Le Fleix 2 et Pessac Sur Dordogne 2, Annexe 3). Plusieurs hypothèses sont possibles : (1) la biomasse était trop faible pour être détectée (maximum 2,8 kg), ce point n'ayant toujours pas été confirmé par le laboratoire d'analyse (2) pour le site à 1km à l'aval du lâcher il est possible que les poissons aient déjà dévalés car le prélèvement a été réalisé 5 jours après le lâcher. Pour le site à 20 km, les poissons seraient éventuellement localisés trop loin en amont pour être détectés ; (3) la majeure partie des juvéniles aurait été prédatés. Dans le travail de Carrera-Garcia *et al.* (2017), il a été mis en évidence que plus de 85% des individus effectuent des mouvements vers l'aval dans les 3 jours post lâchés et que plus de 80% des individus étaient localisés dans les 13km à l'aval du site de lâcher. Les individus élevés de manière traditionnelle (système d'élevage non enrichi) comme c'était le cas en 2022 montraient des mouvements principalement de jour que de nuit durant les 3 premiers jours ce qui peut augmenter les risques de prédatations. De plus leur taux de détection, qui peut être considéré comme un proxy du taux de survie, était de 52 et de 66% pour les deux familles testées. On peut donc suspecter une mortalité importante durant les 3 premiers jours post lâcher et en conséquence une très faible quantité d'ADNe présente dans l'eau après 5 jours qui minimiserait les probabilités de détection.

VIII.3 Conclusions-Perspectives

En terme de perspective, nous souhaitons poursuivre les prélèvements ADNe à l'automne 2023 en partant du principe qu'une reproduction naturelle impliquerait la présence de nombreux juvéniles. Si les reproductions assistées permettent un repeuplement nous ajusterons le protocole. Enfin, en 2023, nous souhaitons mettre en place un protocole de suivi direct des géniteurs par télémétrie acoustique avec des émetteurs longue durée (plusieurs années). Les marquages seraient réalisés dans le cadre des campagnes STURAT à partir de fin 2024 pour un suivi dans les fleuves au printemps 2025.

Remerciements

Merci à B. Villeneuve (INRAE EABX) pour sa participation à une des sorties terrain.
Merci à S. Bons et B. François pour la réalisation des campagnes d'échantillonnage ADNe.
Merci au laboratoire Spygen pour l'analyse des échantillons.

Chapitre IX : Actions de communication en 2022 dans le cadre du Plan National d'Actions

Jatteau Ph.

IX.1 Actions de communication grand public – présence dans les médias

IX.1.1 Presse format papier

1. La dernière chance de sauver l'esturgeon

Sud Ouest – 15 avril 2022

ESTUAIRE DE LA GIRONDE

« La dernière chance de sauver l'esturgeon »

L'association Défense des milieux aquatiques a obtenu l'annulation de l'arrêté réglementant la pêche professionnelle dans l'estuaire. La préfecture a fait appel du jugement. La profession est vent debout

Gwenael Badets
gbadets@sudouest.fr

NON SUSPENSIF

La préfecture a interjeté appel mais il n'est pas suspensif. L'État a donc six mois pour proposer un nouvel arrêté conforme. La Direction interrégionale de la mer Sud-Atlantique a engagé un travail avec les services de l'État concernés, ainsi que les présidents du Comité régional des pêches et des régions maritimes et des comités départementaux de Gironde et de Charente-Maritime, pour analyser les différentes péches de modulation de l'arrêté de 2014 pour répondre aux demandes du jury dans l'attente de la décision de la Cour administrative d'appel », indique-t-on à la préfecture. Le tribunal a assorti son injonction d'une astreinte de 50 euros par jour de retard. « Si nous constatons un délit d'excubation, nous saurons agir », prévient Philippe Garcia.

L'extinction Tardus sturio est le nom savant de l'esturgeon européen, localement surnommé « sauglita de la Gironde ». Une espèce classée en danger critique d'extinction sur la liste rouge de l'Union internationale pour la conservation de la nature.

Directive européenne

Selon l'association, « les pêches accidentelles sont la principale cause de sa disparition ». C'est ce qu'elle a argumenté dans sa requête, enregistrée le 21 février 2021 par le tribunal administratif. L'État ne lui a pas opposé de mémoire en défense. La préfecture n'était pas non plus représentée lors de l'audience du 16 décembre 2021. Elle était donc « réputée avoir acquiescé aux faits exposés dans les mémoires du requérant », comme l'a rappelé le tribunal dans son jugement, qui a donné raison à DMA.

La décision s'appuie sur l'article 12 de la directive européenne habitant l'eau douce du 21 mai 1982, qui exige que « les États membres prennent les mesures nécessaires pour faire en sorte que les captures ou mises à mort involontaires n'aient pas une incidence temporaire sur les espèces en question ». Dans ses « considérants », le tribunal a estimé que « la pêche professionnelle au moyen de filets fixes et dérivants porte atteinte, par ses captures accidentelles, à l'objectif de conservation de l'esturgeon européen [...] la seule limitation de la longueur des filets ne peut être regardée comme une mesure appropriée au regard du danger d'extinction » de l'espèce. Le jugement demande l'abrogation de l'arrêté pour les mêmes raisons concernant le saumon, la grande albore, l'alose feinte et la lamproie méridionale.

« Tout ne tient qu'à un fil »

Du côté de DMA, on ne cache pas sa satisfaction : « Ce sont les années de la dernière chance. En 2007, à Saint-Sever, on a réussi à "fabriquer" artificiellement des esturgeons en les al-

levant à partir des derniers survivants sauvés dans les années 1990. Ils arrivent à maturité et on pourrait espérer que les premiers mâles et les premières femelles se rencontrent dans les frayères de la Dordogne et de la Garonne. Or, aujourd'hui, on n'a aucune preuve que quoi que ce soit se passe. L'espoir n'est pas perdu, mais tout ne tient qu'à un fil. »

L'esturgeon d'Europe, auparavant recensé dans tous les États côtiers du continent, « des Pays Baltes à l'Espagne en op-

posant par la Russie, la Pologne ou l'Allemagne », n'est plus présent que dans l'estuaire, indique Philippe Garcia. « Ce qui est en jeu, c'est la disparition d'une espèce. Ce qui le menace, ce sont les barrages, la pollution, mais surtout le pêche. Car, pour les deux poissons, on ne peut trouver de solutions qu'à terre. Alors que, pour la pêche, on peut prendre des mesures à effet immédiat. Il ne reste que quelques dizaines d'individus et c'est maintenant qu'il faut les soulager. »

2. Ce n'est pas aux pêcheurs qu'il faut s'attaquer

Sud Ouest – 15 avril 2022

« Ce n'est pas aux pêcheurs qu'il faut s'attaquer »

La profession estime que l'association DMA lui fait un mauvais procès en demandant l'interdiction de la pêche au filet pour sauver l'esturgeon européen de la disparition

L'esturgeon européen est en voie de disparition dans l'estuaire de la Gironde. Mais les pêcheurs professionnels aussi. Et en interdisant les filets pour sauver les premiers, on va tuer les seconds. Voilà ce qu'explique en substance le Comité régional des pêcheurs et des élevages marins (CRPEM) de Nouvelle-Aquitaine.

Ce cri de détresse fait suite à une décision du tribunal administratif de Bordeaux qui a annulé les dispositions de l'arrêté préfectoral réglementant les engins de pêche professionnelle dans l'estuaire, donnant droit à une requête déposée par l'association Défense des milieux aquatiques (DMA). « C'est un déclenchement de chaîne de haine », confie-t-on en privé au sein de la profession.

Plus officiellement, le CRPEM affirme que « DMA ne s'attaque pas à la bonne profession si elle veut vraiment œuvrer pour les espèces et l'environnement ». Pour les pêcheurs, une nouvelle réglementation bannissant les filets serait un coup sous la ligne de flottaison. « Il est inconcevable qu'un métier aussi réglementé par l'Europe, par l'État français, par la profession elle-même, se retrouve à devoir encore restreindre ses activités. »

Et de pointer un risque d'ex-finction pur et simple : « Actuellement, il ne reste plus qu'une quarantaine de pêcheurs professionnels dans l'estuaire de la Gironde (zone maritime), contre 300 dans les années 1970. La pêche professionnelle a déjà payé un lourd tribut. »

« 99 % remis à l'eau »

Concernant les « captures accidentelles » pointées par le tribunal, les pêcheurs répondent que « plus de 99 % de ces esturgeons sont remis à l'eau vivants ».

Les pêcheurs trouvent d'autant plus injuste qu'on cible leur activité que, selon eux, d'autres facteurs expliquent la disparition des migrateurs : « réduction par le silure, diminution des débits en eau douce qui mettent à sec les zones de frayères, artificialisation des milieux et destruction des zones humides... »

Un argument prouve selon eux que la pêche n'est pas en cause : « C'est le cas de la grande alose, espèce interdite à la pêche par un moratoire depuis 2008. Les comptages actuels montrent des effectifs inférieurs à ceux comptabilisés avant la fermeture de la pêche, ce qui prouve que d'autres facteurs de mortalité que la pêche sont responsables du déclin des espèces. »

Les pêcheurs estiment même que leur activité est indispensable à la survie de l'esturgeon : « Le stock d'esturgeons européens de Saint-Seurin-sur-Isle, unique en France, est nourri avec des aliments naturels, dont des crevettes de l'estuaire, aliment que les esturgeons préfèrent dans leur ration quotidienne. Ces crevettes sont achetées à des pêcheurs professionnels. Si la profession venait à disparaître, nous n'aurions plus accès à ces aliments. »

La profession regrette enfin que la guérilla procédurière qui lui est menée ternisse son image et sème la confusion auprès des consommateurs : « Aujourd'hui, on nous annule des commandes de lamproie marine ou d'alose simple, alors que la pêche n'est pas fermée pour ces espèces. »

G. B.

3. Saumons, esturgeons, anguilles ... On peut encore sauver du déclin massif nos poissons migrateurs

Le Parisien – 18 mai 2022

<https://www.leparisien.fr/environnement/saumons-esturgeons-anguilles-on-peut-encore-sauver-du-declin-massif-nos-poissons-migrateurs-18-05-2022-4WAEKPWT2ZDQRHZWDYLNWH7YHI.php>

Pollution, réchauffement des eaux, barrages... La Fédération nationale de la pêche en France lance un appel à sauver les poissons migrateurs de nos rivières. De «super athlètes aquatiques» en voie de disparition pour des raisons multiples.



4. Dans le Sud-Ouest, le combat pour sauver la dernière population d'esturgeon européen

Le Monde – 10 juillet 2022



A l'écluserie du Centre de conservation de l'esturgeon européen, Baptiste Henri, technicien aquacole, nettoie les auge, où les larves et alevins grandissent, nourris d'artémias et de vers de vase. A droite, des spécimens plus âgés dans leurs bassins. A Saint-Seurin-sur-l'Isle, en Gironde, le 14 juin. UGO AMEZ POUR « LE MONDE »

Dans le Sud-Ouest, le combat pour sauver la dernière population d'esturgeon européen

Depuis quarante ans, des scientifiques tentent d'empêcher l'extinction du plus grand poisson migrateur des eaux françaises, l'une des espèces les plus menacées d'Europe

REPORTAGE

SAINT-SEURIN-SUR-L'ISLE (GIRONDE) - envoyée spéciale

A huit reprises, depuis qu'elle a commencé à pêcher avec son mari il y a sept ans, Florence Bernard a remonté dans ses filets un esturgeon. A chaque fois, elle a enchaîné les mêmes gestes. Arroser le gros poisson sur le pont du petit fileyeur. Réussir à allumer le lecteur de puce électronique malgré les épais gants bleus pour détecter une éventuelle balise interne posée par des scientifiques. Chercher aussi une possible marque externe. Noter la localisation GPS, la date, la taille de l'animal. Et, le plus vite possible, le remettre à l'eau par-dessus le pont du *Lithomer*, pour qu'il disparaisse d'un mouvement de nageoire au large de Royan (Charente-Maritime).

Après, il a encore fallu envoyer toutes les données à la structure d'études et d'assistance technique Capena, chargée de sensibiliser les pêcheurs à la protection des esturgeons. « Remonter un poisson aussi majestueux et emblématique de l'estuaire, c'est une fierté, assure Florence Bernard. Cela fait surtout plaisir de savoir que les scientifiques ne travaillent pas pour rien... »

Le combat des scientifiques pour sauver l'esturgeon européen est une lutte de longue haleine, entamée il y a une quarantaine d'années. A l'époque, l'espèce est sur le point de disparaître. La dernière population au monde, qui vit dans le bassin Garonne-Dordogne, ne compte plus suffisamment d'individus pour être viable. En 1994, une coalition d'acteurs décide de tenter quelque chose : quelques petits esturgeons sont capturés et installés dans deux bassins sur le site de la station d'expérimentation de l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (Inrae) de Saint-Seurin-sur-l'Isle, au nord-est de Bordeaux. Le pari est risqué ; personne ne sait si ces poissons sauvages, autrefois abondants dans la majorité des grands fleu-

ves européens, vont survivre en captivité. Plusieurs chercheurs se relaient à côté des bassins installés dans un bâtiment, 24 heures sur 24. La nuit, ils dorment sur un lit de camp. Pendant six mois, les poissons ne se nourrissent pas. « Ils n'étaient pas bien dans le bassin, se souvient Eric Rochard, directeur de recherche à l'Inrae Nouvelle-Aquitaine. Puis ils ont pesé les choses entre "je ne suis pas bien" et "je vais mourir", et ils ont commencé à manger. »

Décision est alors prise de constituer un stock captif : une cinquantaine de poissons sont capturés au chalut en 1995 – la dernière reproduction naturelle à avoir été observée date de 1994 –, puis une quinzaine d'individus de grande taille, issus de captures accidentelles, complètent les troupes. En 2007, un premier plan national d'action est mis en place. Au cours des sept années suivantes, des reproductions assistées, réalisées à partir de ces esturgeons, ont lieu chaque année et 1,8 million de larves et de juvéniles sont relâchés dans l'estuaire.

Favoriser la diversité génétique

En parallèle, la population captive grossit. La station de Saint-Seurin-sur-l'Isle abrite désormais une dizaine de bassins dans lesquels tournent en rond 176 esturgeons, dont les plus grands mesurent près de deux mètres. Température, luminosité, nourriture, salinité de l'eau... Les scientifiques tentent de reproduire au maximum les conditions de vie naturelles des animaux. Dans un autre bâtiment s'agitent un millier de minuscules larves, nées courant mai. Ces naissances sont les premières depuis 2014. « Ces dernières années, les poissons sauvages qui ont participé aux reproductions assistées de 2007 à 2014 étaient devenus trop vieux pour produire des œufs, et les poissons nés ici étaient trop jeunes pour produire de la semence », explique Vanessa Lauronce, chargée de mission de l'association de gestion et de restauration des poissons migrateurs (Migado).

« ILS N'ÉTAIENT PAS BIEN DANS LE BASSIN. APRÈS SIX MOIS, ILS ONT PESÉ LES CHOSSES ENTRE "JE NE SUIS PAS BIEN" ET "JE VAIS MOURIR", ET ILS ONT COMMENCÉ À MANGER »

ÉRIC ROCHARD
directeur de recherche à l'Inrae Nouvelle-Aquitaine

« Quand la femelle a pondu, on a tous sauté de joie, ajoute Baptiste Henri, l'un des techniciens de Migado. Puis on s'est vite reconcentrés, les premiers jours de nourrissage étaient très stressants. » Les membres de l'association se relaient, jusqu'à tard dans la soirée, pour alimenter les larves. En septembre, lorsqu'elles pèsent environ 5 grammes, elles seront relâchées dans la Garonne et la Dordogne, sur des sites que des pêcheurs ont identifiés comme ayant été de potentielles frayères.

Parmi les « pères » de ces larves, l'un était un individu sauvage. Après sa mort, sa semence a été conservée sous forme de paillettes dans la banque de sperme de l'Inrae, afin de favoriser la diversité génétique. Les autres géniteurs étaient nés en captivité : le succès de cette première reproduction d'esturgeons non sauvages est, pour les scientifiques, un signal positif. « Les poissons que l'on a remis à l'eau suivent leur cycle biologique naturel, ils restent dans l'estuaire quelques années, partent en mer, et on voit maintenant de gros poissons qui s'approchent de l'estuaire à la bonne saison avec un embonpoint et un état de santé convenables. C'est assez rassurant », souligne Vanessa Lauronce.

La prochaine étape serait que des reproductions soient observées en milieu naturel. « L'idée n'est pas de soutenir les esturgeons pour toujours, mais pour qu'une

population parvienne à fonctionner, il faut que les reproductions s'installent sur plusieurs années », précise le spécialiste. Aujourd'hui, l'espèce est toujours considérée comme en danger critique d'extinction. « Pour l'instant, on a repoussé la disparition de l'esturgeon, c'est déjà bien. Mais tant qu'il n'y aura qu'une seule population au monde, il sera menacé », ajoute Eric Rochard.

La surpêche, le braconnage pour le prélèvement de ceufs liés à la production de caviar et l'extraction de granulats qui perturbent les frayères ont expliqué le déclin des esturgeons jusqu'au début des années 1980. Depuis 1982, la pêche de ce qui était le plus grand poisson migrateur des eaux françaises et ouest-européennes, considéré comme un « fossile vivant », est strictement interdite. Sensibilisés, la grande majorité des professionnels appliquent le protocole et remettent systématiquement à l'eau les animaux capturés accidentellement. Mais alors que le secteur est en grande difficulté et soumis à des pressions et restrictions croissantes, Eric Rochard craint que certains cessent progressivement de jouer le jeu et de signaler les prises.

Parmi les autres menaces, le silure, une sorte de poisson-chat vorace et opportuniste introduit dans le bassin de la Gironde dans les années 1980, s'est multiplié et pourrait s'attaquer aux jeunes esturgeons. La pollution chimique de certains sites de frayères est également considérée comme un facteur de risques, et étudiée par l'Inrae. Pour multiplier les chances de survie de l'espèce, des larves ont déjà été relâchées dans l'Elbe, en Allemagne, et des analyses sont en cours pour évaluer la possibilité de lancer des campagnes de repeuplement dans le Rhin aux Pays-Bas et dans l'Ebre en Espagne. A Saint-Seurin-sur-l'Isle, les quatre derniers esturgeons sauvages vivant dans les bassins ont été mis à la retraite : ils ne seront plus sollicités pour participer aux reproductions. ■

5. Lâcher d'esturgeon européen (*Acipenser sturio*) dans la Garonne

La Gazette du Laboratoire – 18 octobre 2022

Sud Ouest Edition Lot et Garonne – 19 octobre 2022

Espèce migratrice menacée d'extinction, l'esturgeon européen fait l'objet d'un ambitieux plan national d'action de conservation de l'espèce, coordonné par la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) de Nouvelle-Aquitaine, en tant que service déconcentré du Ministère de la Transition écologique.

Au cours des années 1990, les derniers esturgeons sauvages ont été capturés afin de réaliser des essais de reproduction assistée. Depuis cette époque, les organismes **INRAE** et MIGADO mettent tout en œuvre pour réintroduire durablement cette espèce emblématique du bassin Garonne-Dordogne, avec l'aide des pouvoirs publics. Un nouveau lâcher en milieu naturel d'individus juvéniles issus de reproductions assistées a ainsi eu lieu le 14 octobre.

6. Lâcher d'esturgeon européen dans la Garonne

H2 – 19 octobre 2022



Espèce migratrice menacée d'extinction, l'esturgeon européen (*Acipenser sturio*) fait l'objet d'un ambitieux plan national d'action de conservation de l'espèce, coordonné par la Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL) de Nouvelle-Aquitaine, en tant que service déconcentré du ministère de la Transition écologique.

Au cours des années 1990, les derniers esturgeons sauvages ont été capturés afin de réaliser des essais de reproduction assistée. Depuis cette époque, l'**INRAE** et l'Association Migrateurs Garonne Dordogne (MIGADO) œuvrent pour réintroduire durablement cette espèce emblématique du bassin Garonne-Dordogne, avec l'aide des pouvoirs publics. Un nouveau lâcher en milieu naturel d'individus juvéniles issus de reproductions assistées a ainsi eu lieu le 14 octobre. La première reproduction assistée à partir de spécimens nés dans le milieu naturel puis conservés en captivité a été réussie en 2007. Elle a permis de réaliser plusieurs lâchers dans le milieu naturel entre 2007 et 2014. Depuis 2 ans, les pêcheurs professionnels observent que les géniteurs issus de ces lâchers se dirigent vers les zones de frayères potentielles. Le signal d'une reproduction naturelle, essentielle à la survie de l'espèce, est désormais attendu. En 2022, après 15 ans d'effort et pour la première fois, une reproduction assistée a en outre pu être réalisée avec les individus nés en captivité en 2007. Il s'agit d'un pas supplémentaire vers la réussite de la réintroduction de cette espèce. Afin de poursuivre le repeuplement du milieu naturel, un nouveau lâcher a eu lieu le 14 octobre à Couthures-sur-Garonne, en présence des membres du projet ainsi que des financeurs.

7. Dans le Sud-Ouest, le combat pour sauver la dernière population d'esturgeon européen

Le Littoral de la Charente Maritime – 21 octobre 2022



Relâchés dans la Gironde et dans la Dordogne, les petits esturgeons vont lentement remonter vers la Charente-Maritime. © Capena

Autrefois omniprésent en Charente-Maritime, jusqu'à faire la richesse des pêcheurs de l'estuaire de la Gironde, l'esturgeon européen a complètement disparu aujourd'hui. S'agissant des spécimens sauvages en tout cas. En s'appuyant sur les tout derniers individus pêchés accidentellement, les scientifiques de la station de Saint-Seurin-sur-l'Isle (Gironde) ont en effet réussi à maîtriser la reproduction artificielle en 1994.

Des juvéniles ont ensuite été relâchés dans le milieu entre 2007 et 2014 par les organismes Inrae et Migado, dans le cadre d'un plan d'actions national. Mais le programme s'est ensuite arrêté, la faute à des géniteurs devenus trop vieux et à des petits esturgeons encore trop jeunes pour se reproduire. Il faut dire que les mâles n'atteignent la maturité sexuelle qu'à 10 ou 11 ans ; 15 à 16 ans pour les femelles. Après de longues années d'attente, les grandes manœuvres ont repris grâce à une femelle née en 2007. Des petits esturgeons de trois mois ont été lâchés fin septembre à Le Fleix (Dordogne) et le 14 octobre à Couthures-sur-Garonne (Lot-et-Garonne).

Ces juvéniles vont lentement remonter vers la Charente-Maritime en direction de l'estuaire de la Gironde avant de regagner la mer. Une espèce dont la pêche est interdite depuis 1982. En charge de l'antenne bordelaise du Centre pour l'aquaculture, la pêche et l'environnement de Nouvelle-Aquitaine, Lise Mas assure un suivi auprès des pêcheurs professionnels et de loisirs. Chaque spécimen capturé accidentellement doit être signalé, pesé et relâché, mort ou vivant. **D. L.**

Rens. www.sturio.fr ■

8. Un lâcher de jeunes esturgeons, en danger de disparition, dans la Garonne à Couthures

Le Républicain Lot et Garonne – 5 novembre 2022

https://actu.fr/nouvelle-aquitaine/couthures-sur-garonne_47074/un-lacher-de-jeunes-esturgeons-en-danger-de-disparition-dans-la-garonne-a-couthures_54989923.html

L'association MIGADO en charge de la gestion des populations de poissons migrateurs, a investi les quais de la Garonne pour un lâcher de juvéniles d'esturgeons fin octobre 2022.



Esturgeon juvénile remis dans la Garonne (©Le Républicain 47)

À la fin du mois d'octobre 2022, l'association MIGADO en charge de la gestion des populations de poissons migrateurs a réalisé un lâcher de juvéniles esturgeons.

Sur neuf grands migrateurs : saumon atlantique, truite de mer, anguille, mulot, esturgeon, grande alose, alose feinte, lamproie, huit espèces ont un classement défavorable.

Trois d'entre elles sont en danger critique d'extinction avec une baisse de 93 % des populations entre 1970 et 2016. Ce lâcher d'esturgeons fait partie d'un plan national d'actions destiné à l'éducation à l'environnement des jeunes publics.

À cet effet, les élèves de l'école de Couthures ont assisté à l'événement. Jacqueline Rabic, présidente depuis 1966 de l'AAPPED (association des pêcheurs professionnels) était également présente au milieu du public, car elle défend âprement la biodiversité et déplore le déclin constaté depuis 50 ans des poissons migrateurs.

Curieux, les enfants ont été renseignés sur ce petit poisson inconnu et ont pu le contempler de près. L'esturgeon est un véritable animal préhistorique. Son squelette est cartilagineux et son corps recouvert de plaques osseuses.

Il peut atteindre plus de 100 kg en fin de vie, à 80 ans et ne pourra se reproduire qu'à partir de 10 ou 15 ans. Les sujets remis dans le fleuve ne mesuraient que 6 à 8 cm et on imagine tous les dangers qu'il leur faudra affronter d'ici leur âge adulte, en particulier l'appétit d'ogre des silures, mais aussi les phénomènes naturels comme la hausse des températures ou les activités humaines qui dégradent l'environnement.

Il faudrait une mobilisation collective, un cri d'alarme et que tous se sentent concernés par la situation.

9. Dans le Sud-Ouest, le combat pour sauver la dernière population d'esturgeon européen

Sud Ouest – 15 novembre 2022

L'esturgeon européen, un revenant de la préhistoire

L'espèce européenne renaît de ses cendres dans le bassin Adour-Garonne grâce à l'effort des scientifiques. Un lâcher prometteur a eu lieu dernièrement à Couthures-sur-Garonne (47)

Jean-Marc Lemoult
j.m.lemoult@sudouest.fr

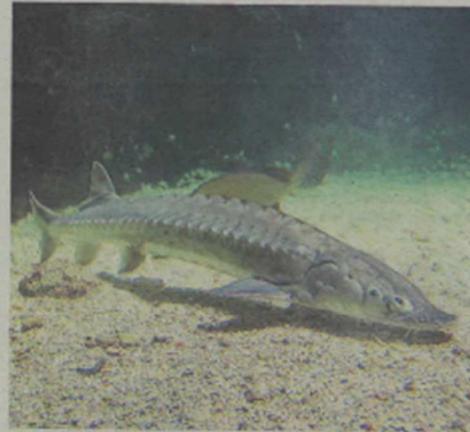
En septembre dernier, une soixantaine d'esturgeons frétillants, des juvéniles de 4 mois de la très rare espèce européenne, étaient relâchés par l'association Migado (Migrateurs Adour-Garonne) à Couthures-sur-Garonne (47). Ce n'est pas le premier lâcher du genre, mais les prélèvements génétiques relevés dans l'estuaire de la Gironde et même au-delà montrent que ce solide poisson est capable de se reproduire à l'état naturel, alors que sa population a frisé la disparition totale.

« Ce poisson appartient aux huit migrateurs amphihalins, et le bassin Garonne-Dordogne est le dernier estuaire européen à les accueillir tous, rappelle Vanessa Lauronce, chargée de mission à Migado. C'est aussi le dernier au plan mondial à recevoir cet esturgeon européen, dont la dernière reproduction naturelle date de 1994 sur le bassin.

« C'est un poisson que l'on occupe comme préhistorique, apparu il y a 200 millions d'années, cartilagineux et solide, capable de vivre entre 80 et 100 ans. Dans l'estuaire de la Gironde, la longueur maximale pêchée est d'environ 350 cm, mais on voit plus régulièrement des spécimens mesurant de 2 à 2,5 m. À la taille adulte, ils peuvent atteindre 100 kg. »



Les bébés esturgeons sont cajolés au centre de Saint-Seurin-sur-L'Isle, en Gironde (en bas à droite). L'un des lâchers a eu lieu à Couthures-sur-Garonne (47), l'une des grosses frayères historiques (à gauche). VANESSA LAURONCE / MIGADO / ARCHIVES - SUD OUEST



« Un poisson capable de vivre entre 80 et 100 ans »

Il se reproduit en rivière. 24 zones de reproduction ont été identifiées sur le bassin Adour-Garonne. En Lot-et-Garonne, elle se situe sous le seuil de Beauregard, à Boé, celle le plus en amont du fleuve avec une fosse de 10 à 18 m de profondeur, avec des galets ronds de 6 cm de diamètre.

Disparition progressive

Ce poisson a peu à peu disparu de la Garonne. « Cela a commencé dans les années 1920-1930, poursuit Vanessa Lauronce. Il y a eu des captures de gros poissons dans la Gironde, et cela permettait de nourrir un village pendant une semaine. Puis on a exploité les œufs pour produire du caviar. Vers 1940-1950, les pêcheurs professionnels ont donné l'alerte en ne voyant plus de gros spécimens. Et en 1982, on a interdit complètement leur pêche à l'échelle mondiale, l'espèce européenne étant alors protégée que l'ours polaire, et il a fallu sauvegarder l'espèce acipenser sturio que l'on ne trouve qu'ici. Cela a coïncidé avec l'interdiction de l'extraction du

granulat en rivière, qui affectait les frayères. » Lorsque les scientifiques ont commencé à vraiment étudier ce poisson, il était déjà rare. On ne possède donc pas sa carte d'identité complète. « On pense que les femelles traversent l'estuaire vers les frayères, où elles restent à peine vingt-quatre heures pour pondre avant de repartir en mer, précise Vanessa Lauronce. Les mâles resteraient un peu plus. Par contre, les femelles peuvent se reproduire plusieurs fois, tous les trois ou quatre ans. Elles sont matures à 15 ans, contre 10 ans pour les mâles. Et plus les poissons grandissent, plus ils s'éloignent : on en retrouve sur toute la façade atlantique, jusqu'aux Pays-Bas et au Portugal, à 40 m de profondeur. »

Reconditionnement

Dans les années 1990, le Cemagref (Inrae maintenant, l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement) a capturé des spécimens dans l'estuaire de la Gironde et les a amenés au centre de reconditionnement des esturgeons sauvages européens, à Saint-Seurin-sur-l'Isle (33). Le site accueillait une soixantaine d'adultes qui ont été acclimatés aux bassins (il a

fallu se faire livrer de l'eau de mer, reproduire les cycles solaires, certains sont restés un an sans vouloir manger...) et a mis au point un protocole de reproduction assistée, en 2007. Migado a ensuite repris la gestion de cet élevage et des lâchers entre 2007 et 2014.

« L'espèce européenne est autant protégée que l'ours polaire »

Mais à partir de 2015, les vieux poissons ont cessé de se reproduire. Jusqu'à cette année, où une femelle, née en 2007, est arrivée à maturité et a donné des juvéniles, les premiers nés sur site. Le centre dispose également de semence de mâles congelée. Les lâchers ont donc repris en Dordogne et en Garonne, dont celui de Couthures, une grosse frayère historique, avec une cinquantaine de juvéniles nés en mai dernier. L'ensemble des lâchers représente 300 esturgeons.

Des retours encourageants

« Nous avons de bons espoirs en termes de survie, car l'Inrae en a identifié dans l'estuaire de la Gi-

DIX MINUTES POUR IDENTIFIER L'ESPÈCE

Dès que les pêcheurs professionnels capturent par accident un esturgeon, ils envoient une photo de leur prise à Vanessa Lauronce, toujours en alerte. « J'ai dix minutes pour identifier s'il s'agit d'un esturgeon européen ou d'une autre espèce, car au-delà de ce temps imparti, ils doivent remettre le poisson à l'eau. Ce n'est pas facile, mais avec l'expérience, je peux repérer s'il s'agit de l'espèce sauvage, et dans ce cas, on la relâche. » La question se pose en effet car en mai 2020, des pisci-

cultures privées, qui produisaient du caviar, ont débordé lors de crues, et d'autres espèces d'esturgeons ont rejoint la Garonne, alors qu'elles sont interdites en milieu naturel. Certains de ces poissons ont été repris rapidement, et on pense qu'une hybridation avec l'espèce européenne, pour peu qu'elle soit possible, reste statistiquement peu probable (les périodes de reproduction ne sont pas les mêmes). La pureté génétique de l'esturgeon local ne devrait donc pas en souffrir.

ronde grâce à la génétique, se réjouit Vanessa Lauronce. Mais on ne sait pas combien ils sont. On sait grâce à leur taille que les poissons sont partis au bon moment et dans la bonne direction : par exemple, ceux capturés vers l'île d'Oléron (17) sont plus petits que ceux repérés aux Pays-Bas. Ils suivent donc leur cycle biologique normal. Et depuis 2009, on voit des poissons adultes revenir sur leurs frayères naturelles, ce qui est très encourageant. On les a repérés grâce à des caméras sonars ou avec les captures de pêcheurs professionnels, qui en ont capturé en 2020 et 2021 à Libourne (33), des poissons de

près de 2 mètres. J'en ai vu également deux en 2019 sur la frayère de Couthures-sur-Garonne », ajoute-t-elle.

Il est difficile d'établir un compte exact, vu la dispersion et le nombre des frayères, surtout sur la Garonne où il y a moins de pêche professionnelle qu'auparavant, « mais la tendance est bonne, et lors du lâcher de Couthures-sur-Garonne, nous avons invité nos financeurs pour qu'ils voient que leurs efforts commencent à porter leurs fruits : on arrive au bout du tunnel. Maintenant, il faut que l'espèce soit capable de se reproduire toute seule... », conclut la membre de Migado.

IX. 1.2 Actualités WEB

1. Les esturgeons du labo à l'océan – M.L. Acolas

La boucle est bouclée – Podcast INRAE – 2 mai 2022

<https://podcast.ausha.co/la-boucle-est-bouclée/les-esturgeons-du-labo-a-l-ocean>

Comment les scientifiques ont réintroduit l'esturgeon européen, espèce menacée d'extinction jusqu'alors ? Et quelles sont les causes de sa disparition ? Laure a demandé à Marie-Laure Acolas, chercheuse au centre INRAE Bordeaux de nous raconter l'aventure scientifique autour de la réintroduction de l'esturgeon européen et comment elle et ses équipes guettent aujourd'hui des signes de reproduction !

Pour en savoir plus :

Un article sur l'adaptation des esturgeons à la pollution et au changement climatique :

<https://www.inrae.fr/actualites/lesturgeon-europeen-capable-sadapter-pollution-au-changement-climatique>

Le site de l'association Migado : <http://www.migado.fr/>

2. L'esturgeon européen : une espèce préhistorique et convoitée

SMEAG – 24 novembre 2022

<https://www.smeag.fr/ndeg24-novembre-2022.html>

L'esturgeon européen, espèce classée Natura 2000, est un poisson migrateur qui vit alternativement entre l'eau douce et l'eau salée. Ne ressemblant à aucun autre type de poisson, l'esturgeon européen peut être considéré comme un fossile vivant et témoigne de l'extraordinaire créativité de la vie au cours de centaines de millions d'années d'évolution. Il vit la majorité de son existence en eaux salées (saumâtres puis marines) mais se reproduit sur les parties basses des fleuves, en eau douce. Sa dernière population relictuelle se situe sur le bassin Gironde-Garonne-Dordogne. Cette espèce est inscrite sur le site Natura 2000 de la Garonne en Nouvelle-Aquitaine.

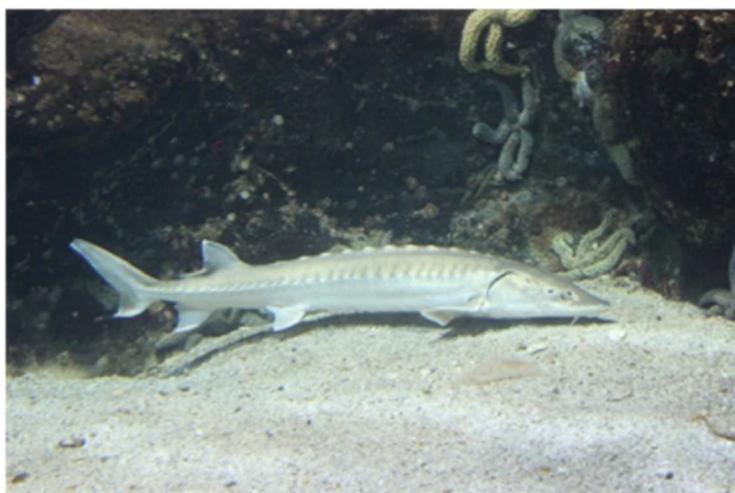


Photo d'un esturgeon européen (Source MIGADO)

IX. 1.3 Actualités radio - TV

1. Les sentinelles des estuaires

Les Films du Bouchon -

<https://lfdproduction.com/portfolio/les-sentinelles-des-estuaires/>

A l'heure où la ressource se raréfie, les estuaires sont les derniers territoires riches en poissons. Dans ces zones de transition, particulièrement riches en nourriture, les enjeux sont d'importance. Aujourd'hui, les premiers succès sont au rendez-vous.

Une partie centrée sur l'esturgeon, avec la présentation des travaux de Migado sur la station d'expérimentation de St Seurin/Isle, la sensibilisation des pêcheurs de l'estuaire et le suivi de la population en milieu naturel.

2. Revue de presse de France Inter

France Inter – 15 novembre 2022

<https://www.radiofrance.fr/franceinter/podcasts/la-revue-de-presse/la-revue-de-presse-du-mardi-15-novembre-2022-6941753>

Mention du lâcher d'esturgeons réalisés sur la Garonne lors de la revue de presse de France Inter

IX.2 Actions de communications scientifiques

IX. 2.1 Colloque

Acolas, M.L., Gessner, J. Rochard, E. – 2022

Lessons learned from Acipenser sturio and Acipenser oxyrinchus restoration programs

Diadromous fish stocking weaknesses, strengths and future challenges

Bordeaux 7-8 juillet 2022

Dans le cadre d'une conférence internationale « Initiatives locales et globales : quand la science informe les modes de gestion des poissons migrateurs amphihalins » (<https://diadromous-species-2022.colloque.inrae.fr/>) organisée à Bordeaux en juillet 2022, nous avons proposé une session consacrée aux soutiens de populations « Diadromous fish stocking : weaknesses, strengths and futures challenges », lors de laquelle nous avons présenté les travaux que nous avons mené jusqu'à lors sur les esturgeons en France et en Allemagne.



Figure XX : Conférence - Bordeaux 7-8 juillet 2022



Gessner, J., Acolas, M.L., Rochard, E. Bronzi, P. – 2022
How common is common? Experience and results of restoration programs in Acipenser naccarii, A. oxyrinchus and A. sturio
 Aquaculture Europe 2022 – Sturgeon conservation & restoration
 Rimini 28 September 2022

Nous avons participé à une session « Aquaculture de Conservation » lors d'un colloque international sur l'aquaculture qui s'est tenu en septembre 2022 à Rimini (Italie - <https://aquaeas.org/Program/Sessions>), pour présenter une communication rassemblant les expériences française, allemande et italienne sur cette question.



*Acolas, M.L., Le Barh, R., Lamour, M., Paquignon, G., Eynaudi, A., Lassalle, G. – 2022
Marquage satellite sturgeon européen – Analyse exploratoire des premiers résultats
Rencontres télémétrie
Bordeaux Octobre 2022*

Nous avons participé aux rencontres télémétrie en octobre à Bordeaux afin de présenter les premiers résultats issus de marques satellites posées des esturgeons européens dans le cadre des projets MOMIE et DiadES lors des campagnes de suivis STURAT (**Voir chapitre XX**).



*Charbonnel, A., Lambert, P., Lassalle, Quinton, E., Mas, L., Guisan, A., Acolas, M.L. – 2021
New insights on marine ecological requirements and spatial distribution of one of the most
endangered fish species in Europe, the European sturgeon
Ecology Across Borders
Liverpool, 12-15 December 2021*

Nous avons participé au congrès Ecology Across Borders à Liverpool en Décembre 2021 afin de présenter l'avancement de l'analyse des habitats préférentiels des esturgeons européens en mer menée dans le cadre du projet MOMIE en collaboration avec les partenaires du PNA impliqués dans les déclarations d'observations accidentelles (lien chapitre STURWILD).



Ecology Across Borders 2021 – Liverpool, UK – December 12-15th 2021

IX.2.2 Actions de coopération internationales (Action 18)

Nos échanges réguliers avec les collègues de l'IGB structurent la trame générale de nos implications à l'international, nous partageons nos points de vue et nous nous tenons au courant des avancées ou des difficultés rencontrées en Europe pour la conservation des esturgeons.

Montage d'un projet en appui au plan d'action Pan européen

Ces dernières années nous avons participé à l'élaboration d'un Plan d'action pan européen pour la conservation des différentes espèces d'esturgeons présentes en Europe (Friedrich *et al.*, 2018). Suite à cela nous avons contribué au montage d'une proposition visant à évaluer la mise en œuvre des actions contenues dans ce plan dans les différents pays. Cette proposition « SCUTE » fait désormais l'objet d'un contrat entre la direction de l'environnement de l'UE et le consortium auquel nous participons et qui est porté par WWF Europe. L'action COST envisagée initialement bénéficiera des travaux menés dans le cadre de ce contrat qui pointera explicitement les manques.

Convention de Berne

La convention de Berne a organisé une conférence des parties en octobre 2022 dans les locaux du Conseil de l'Europe à Strasbourg lors de laquelle nous avons présenté l'état d'avancement des actions menées dans le cadre du PNA français. Cette réunion a été l'occasion de disposer d'un état d'avancement des différents pays dans la conservation des esturgeons, d'échanger avec les représentants des autres pays et de mesurer les difficultés rencontrées. L'absence de plusieurs référents nationaux (les points focaux nationaux de France, Allemagne, Pays-Bas) a été déploré et a limité les échanges concernant les points réglementaires.

Plan National d'Actions 2020-2029
Esturgeon européen

Plan National d'Actions 2011-2015
Esturgeon européen

MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES

INRAE

Bonn CONVENTION

COUNCIL OF EUROPE

European sturgeon conservation in France: approach, successes, limits and continuing threats





22 September 2022, La Fleix, Dordogne river

Collective work presented by Eric Rochard

Eric.rochard@inrae.fr Research unit « Aquatic ecosystems and Global Changes »
50 avenue de Verdun F 33612 Cestas
<https://www6.bordeaux-aquitaine.inrae.fr/salle/EABK/FREEM5>

INRAE
Bonn Convention, Strasbourg, October 5-8 2022
French National Action Plan N. 27600

1



Conférence des acteurs impliqués dans la sauvegarde des esturgeons en Europe – Strasbourg - Octobre 2022

Collaboration avec la Roumanie

Nous menons depuis plusieurs années une collaboration avec l'université de Galati (Roumanie) autour d'expérimentations visant à évaluer les effets de certains fongicides sur le développement embryonnaire des esturgeons. En juillet 2022, Clémentine Ely, la stagiaire

travaillant sur ce sujet (cf 1.1), a effectué un séjour de plusieurs semaines à Galati pour présenter le travail qu'elle avait effectué et expliquer les méthodes utilisées. Elle a en retour découvert les travaux menés par les collègues de Galati.

Emergence d'actions au Royaume Uni

Suite à la réunion Ospar de janvier 2020 des contacts ont été repris avec des scientifiques britanniques (UK Sturgeon Alliance et Blue Marine Foundation), cela s'est traduit par une conférence présentant les plans d'action français et allemand pour la conservation de l'esturgeon. Suite à cela les échanges se sont intensifiés et nous avons participé à une réunion à Londres en Octobre 2022 pour contribuer à une première structuration d'actions en faveur de la protection des esturgeons *A. sturio* et *A. oxyrinchus* sur le territoire britannique. Cela devrait aboutir en 2023 à un premier document de cadrage des actions de conservation à mener.



Brainstorming pour la structuration des actions à mener au Royaume uni – Londres - Octobre 2022.

WSCS

Nous avons participé le 8 décembre 2022 à l'assemblée générale de la World Sturgeon Conservation Society (WSCS). Suite à la pandémie, le symposium mondial prévu en Chine a été annulé. Une consultation est ouverte pour identifier le lieu du prochain symposium, désormais prévu en 2025. Le nouveau Brunswick (Canada) a annoncé sa candidature. Nous transmettons régulièrement des infos concernant nos actions de conservation qui sont pour certaines mise en ligne sur le site web de la WSCS (<https://www.wscs.info/>).

Quarterly sturgeon online meetings

Pour faciliter les échanges et la communication entre les différents acteurs impliqués dans la conservation des esturgeons à l'échelle européenne, nous avons initié des rendez-vous trimestriels pour présenter des travaux, des initiatives, des questionnements. En 2022 nous avons organisé quatre de ces rencontres désormais intitulées "Quarterly sturgeon online meetings" (9 février, 12 mai, 21 septembre, 20 décembre). Relativement confidentielles lors des premières rencontres, ces réunions rassemblent aujourd'hui une trentaine de participants de différents pays (Allemagne, France, Italie, Pays Bas, Roumanie, Royaume Uni, Turquie, ...)

Difficultés rencontrées avec les Pays Bas

Les échanges sont fréquents avec les porteurs (Ark Nature et Association des pêcheurs sportifs) de la réintroduction de l'esturgeon européen *A. sturio* dans le Rhin. En 2022 nous avons été sollicité pour répondre à une enquête d'une étudiante en master « Aquaculture and Fisheries » de l'université de Wageningen (Kateryna Urbanovych) sur la façon dont nous percevons/imaginons l'importance des captures accidentelles dans la conservation des esturgeons migrateurs (*A. sturio* et *A. oxyrinchus*). Nous avons été plusieurs à répondre à cette enquête lors d'entretiens téléphoniques ou en visio. Cette enquête a également été menée auprès de pêcheurs commerciaux dans différents pays dont la France. Au-delà de ce master une publication issue de ce travail est en cours. Cette année les relations sont devenues tendues avec le collègue représentant de l'association des pêcheurs sportifs. Nous n'avons probablement pas la même façon d'envisager les collaborations scientifiques, mais nous n'avons pas apprécié que des données transmises pour un travail bien précis aient été utilisées pour autre chose sans que nous en ayons discuté ni même été informés.

Références bibliographiques

- Acolas, M. L. (2012). Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* ; bilan scientifique et technique 2011. p. 61. Bordeaux: Irstea.
- Acolas, M. L. (2013). Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* ; Bilan scientifique et technique 2012., p. 75: Irstea Bordeaux, étude N°153.
- Acolas, M. L. (2021). Etat d'avancement du projet MOMIE Mouvements Migratoires de l'Esturgeon européen *Acipenser sturio* : habitats en mer et retour des géniteurs en fleuves. . p. 34. Bordeaux: INRAE.
- Acolas, M. L., Castelnaud, G., Lepage, M. & Rochard, E. (2011a). Biological cycle and migrations. In *Biology and conservation of the Atlantic European sturgeon Acipenser sturio L., 1758* (Williot, P., Rochard, E., Desse-Berset, N., Kirschbaum, F. & Gessner, J., eds.), pp. 147-152: Springer.
- Acolas, M. L., Gardes, C., Adam, G. & Rochard, E. (2018). Synthesis of escapments of farmed Siberian sturgeon in French catchments: some extreme events and a lot of punctual incidents. In *The Siberian sturgeon (Acipenser baerii, Brandt, 1869)* (P. Williot, G. N., V. Cantonnet, M. Chebanov, ed.): Spinger.
- Acolas, M. L., Roqueplo, C., Rouleau, E. & Rochard, E. (2011b). Post release monitoring techniques. In *Biology and conservation of the Atlantic European sturgeon Acipenser sturio L., 1758* (Williot, P., Rochard, E., Desse-Berset, N., Kirschbaum, F. & Gessner, J., eds.), pp. 407-416. Berlin Heidelberg: Springer.
- Aiello-Lammens, M. E., Boria, R. A., Radosavljevic, A., Vilela, B. & Anderson, R. P. (2015). spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models. *Ecography* **38**, 541-545.
- Allouche, O., Steinitz, O., Rotem, D., Rosenfeld, A. & Kadmon, R. (2008). Incorporating distance constraints into species distribution models. *Journal of Applied Ecology* **45**, 599-609.
- Allouche, O., Tsoar, A. & Kadmon, R. (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). *Journal of Applied Ecology* **43**, 1223-1232.
- Belenguer, V., Martinez-Capel, F., Masia, A. & Pico, Y. (2014). Patterns of presence and concentration of pesticides in fish and waters of the Jucar River (Eastern Spain). *Journal of Hazardous Materials* **265**, 271-279.
- Bergman, P. S., Schumer, G., Blankenship, S. & Campbell, E. (2016). Detection of Adult Green Sturgeon Using Environmental DNA Analysis. *PLoS ONE* **11**, 8.
- Breve, N. W. P., Vis, H., Houben, B., Breukelaar, A. & Acolas, M. L. (2019). Outmigration pathways of stocked juvenile European sturgeon (*Acipenser sturio* L., 1758) in the Lower Rhine River, as revealed by telemetry. *Journal of Applied Ichthyology* **35**, 61-68.
- Brevé, N. W. P., Vis, H., Houben, B., de Laak, G. A. J., Breukelaar, A. W., Acolas, M. L., de Bruijn, Q. A. A. & Spierts, I. (2014). Exploring the possibilities of seaward migrating juvenile European sturgeon *Acipenser sturio* L., in the Dutch part of the River Rhine. *Journal of Coastal Conservation* **18**, 131-143.

- Brosse, L. (2003). Caractérisation des habitats des juvéniles d'esturgeon européen, *Acipenser sturio*, dans l'estuaire de la Gironde. In p. 258. Toulouse: Université Paul Sabatié.
- Brosse, L., Dumont, P., Lepage, M. & Rochard, E. (2002). Evaluation of a gastric lavage method for sturgeons. *North American Journal of Fisheries Management* **22**, 955-960.
- Brosse, L., Rochard, E., Dumont, P. & Lepage, M. (2000). Premiers résultats sur l'alimentation de l'esturgeon européen, *Acipenser sturio* Linnaeus, 1758 dans l'estuaire de la Gironde et comparaison avec la macrofaune estuarienne présente. *Cybium* **24**, 49-61.
- Caha, J. (2023). Spatial KDE: Kernel Density Estimation for Spatial Data. In *R Package version 0.8.2*. <https://cran.r-project.org/web/packages/SpatialKDE/SpatialKDE.pdf>.
- Carrera-Garcia, E., Rochard, E. & Acolas, M. L. (2017). Effects of rearing practice on post-release young-of-the-year behavior: *Acipenser sturio* early life in freshwater. *Endangered Species Research* **34**, 269-281.
- Castelnaud, G., Rochard, E., Jatteau, P. & Lepage, M. (1991). Données actuelles sur la biologie d'*Acipenser sturio* dans l'estuaire de la Gironde. In *Acipenser, Actes du premier colloque international sur l'esturgeon* (Williot, P., ed.), pp. 251-275. Bordeaux: Cemagref Publication, Antony, France.
- Ccancapa, A., Masia, A., Andreu, V. & Pico, Y. (2016). Spatio-temporal patterns of pesticide residues in the Turia and Jucar Rivers (Spain). *Science of the Total Environment* **540**, 200-210.
- Chambers, R. C., Davis, D. D., Habeck, E. A., Roy, N. K. & Wirgin, I. (2012). Toxic effects of PCB126 and TCDD on shortnose sturgeon and Atlantic sturgeon. *Environmental Toxicology and Chemistry* **31**, 2324-2337.
- Charbonnel, A. & Acolas, M. L. (2022). Identification des habitats marins utilisés par l'esturgeon européen et fréquentation des aires marines protégées, projet MOMIE MOuvements Migratoires de l'Esturgeon européen *Acipenser sturio* : habitats en mer et retour des géniteurs en fleuves. Rapport final Tâche 1 - Contrat de recherche et Développement 2019-2022: INRAE/OFB.
- Charbonnel, A., Lambert, P., Lassalle, G., Quinton, E., Guisan, A., Mas, L., Paquignon, G., Lecomte, M. & Acolas, M. L. (2023). Developing species distribution models for critically endangered species using participatory data: The European sturgeon marine habitat suitability. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **280**.
- Chassaing, O., Desse-Berset, N., Hänni, C., Hughes, S. & Berrebi, P. (2016). Phylogeography of the European sturgeon (*Acipenser sturio*): A critically endangered species. *Molecular Phylogenetics and Evolution* **94, Part A**, 346-357.
- Cristina, R. T., Baroga, M., Grozea, A., Mihailov, S. A., Sirb, N. M., Dimitrescu, E. & Muselin, F. (2018). An early embryo model of sterlet (*Acipenser ruthenus*) for the assessment of lead effects *Applied Ecology and Environmental Research* **17**, 917-929.
- Cristina, R. T., Baroga, M., Grozea, A., Mihailov, S. A., Sirb, N. M., Dumitrescu, E. & Muselin, F. (2019). An early embryo model of sterlet (*Acipenser ruthenus*) for the assessment of lead effects *Applied Ecology and Environmental Research* **17**, 917-929.
- Deknock, A., De Troyer, N., Houbraken, M., Dominguez-Granda, L., Nolivos, I., Van Echelpoel, W., Forio, M. A. E., Spanoghe, P. & Goethals, P. (2019). Distribution of agricultural pesticides in the freshwater environment of the Guayas river basin (Ecuador). *Science of the Total Environment* **646**, 996-1008.

- Delage, N. (2015). Etude expérimentale des effets des conditions environnementales (température, oxygène, polluants) sur la survie, le développement et le comportement des stades embryo-larvaires d'esturgeon européen, *Acipenser sturio*., p. 232. Bordeaux: Université Bordeaux.
- Delage, N., Cachot, J., Rochard, E., Fraty, R. & Jatteau, P. (2014). Hypoxia tolerance of European sturgeon (*Acipenser sturio* L., 1758) young stages at two temperatures. *Journal of Applied Ichthyology* **30**, 1195-1202.
- Delage, N., Couturier, B., Jatteau, P., Larcher, T., Ledevin, M., Goubin, H., Cachot, J. & Rochard, E. (2020). Oxythermal window drastically constraints the survival and development of European sturgeon early life phases. *Environmental Science and Pollution Research* **27**, 3651-3660.
- Dettlaff, T. A., Ginsburg, A. S. & Schmalhausen, O. I. (1993). *Sturgeon fishes: Developmental biology and aquaculture*: Springer-Verlag.
- Dorsey, K. M., Guthrie, H. D., Welch, G. R., Mohler, J., Theisen, D. D., Siewerdt, F., Vinyard, B. T. & Woods, L. C. (2011). Quality Assessment of Wild Atlantic Sturgeon Semen under Conditions of Short-Term Storage. *North American Journal of Aquaculture* **73**, 418-425.
- Dreal (2011). Plan National d'Actions en faveur de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* 2011-2015. p. 69: Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable -DREAL Aquitaine.
- Dreal (2020). Plan National d'Actions en faveur de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* 2020-2029. p. 84: Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable -DREAL Aquitaine.
- Dubos, N., Fieldsend, T. W., Roesch, M. A., Augros, S., Besnard, A., Choer, A., Ineich, I., Krysko, K., Leroy, B., Malone, S. L., Probst, J. M., Raxworthy, C. & Crottini, A. (2023). Choice of climate data influences predictions for current and future global invasion risks for two *Phelsuma* geckos. *Biological Invasions*, 20.
- Ely, C. (2022). Mise en évidence des effets de l'exposition d'embryons d'esturgeon à deux fongicides : Boscalid et Imazalil. p. 40. Toulon: Université de Toulon.
- Friedrich, T., Gessner, J., Reinartz, R. & Striebel-Greiter, B. (2018). Pan European action plan for sturgeons. p. 85. Strasbourg: Convention on the conservation of European wildlife and natural habitats.
- Gazo, I., Franek, R., Sindelka, R., Lebeda, I., Shivaramu, S., Psenicka, M. & Steinbach, C. (2021). Ancient Sturgeons Possess Effective DNA Repair Mechanisms: Influence of Model Genotoxicants on Embryo Development of Sterlet, *Acipenser ruthenus*. *International Journal of Molecular Sciences* **22**, 18.
- Gessner, J., Tautenhahn, M., Von Nordheim, H. & Borchers, T. (2010). Plan national d'actions pour la protection et la conservation de l'Esturgeon européen (*Acipenser sturio*). p. 86. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Rostock: Gesellschaft zur Rettung des Störes *Acipenser sturio* L. .
- Guisan, A., Thuiller, W. & Zimmermann, N. E. (2017). *Habitat Suitability and Distribution Models: With Applications in R*. Cambridge: Cambridge University Press
- Hijmans, R. J. (2012). Cross-validation of species distribution models: removing spatial sorting bias and calibration with a null model. *Ecology* **93**, 679-688.
- Horvath, A., Chèvre, P. & Urbanyi, B. (2011). Sperm cryopreservation in sturgeon with a special focus on *A. sturio*. In *Biology and Conservation of the European sturgeon *Acipenser sturio* L. 1758: the reunion of the European and Atlantic sturgeons* (Williot, P., Rochard, E.,

- Berset, N., Kirschbaum, F. & Gessner, J., eds.), pp. 465-475: Springer.
- Horvath, A., Wayman, W. R., Urbanyi, B., Ware, K. M., Dean, J. C. & Tiersch, T. R. (2005). The relationship of the cryoprotectants methanol and dimethyl sulfoxide and hyperosmotic extenders on sperm cryopreservation of two North-American sturgeon species. *Aquaculture* **247**, 243-251.
- Houbraken, M., Habimana, V., Senaeva, D., Lopez-Davila, E. & Spanoghe, P. (2017). Multi-residue determination and ecological risk assessment of pesticides in the lakes of Rwanda. *Science of the Total Environment* **576**, 888-894.
- INERIS (2015). IMAZALIL. N° CAS : **35554-44-0**.
- Jatteau, P. (2014). Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* ; bilan scientifique et technique 2013. p. 112. Bordeaux: Irstea.
- Jatteau, P. (2015). Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* ; bilan scientifique et technique 2014. p. 133. Bordeaux: Irstea.
- Jatteau, P. (2016). Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* ; bilan scientifique et technique 2015. p. 61. Bordeaux: Irstea.
- Jego, S., Gazeau, C., Jatteau, P., Elie, P. & Rochard, E. (2002). Les frayères potentielles de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* L. 1758 dans le bassin Garonne-Dordogne. Méthodes d'investigation, état actuel et perspectives. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture* **365-366**, 487-505.
- Jin, C. Y., Luo, T., Zhu, Z. H., Pan, Z. H., Yang, J. J., Wang, W. C., Fu, Z. W. & Jin, Y. X. (2017). Imazalil exposure induces gut microbiota dysbiosis and hepatic metabolism disorder in zebrafish. *Comparative Biochemistry and Physiology C-Toxicology & Pharmacology* **202**, 85-93.
- Jin, Y., Zhu, Z., Wang, Y., Yang, E., Feng, X. & Fu, Z. (2016). The fungicide imazalil induces developmental abnormalities and alters locomotor activity during early developmental stages in zebrafish. *Chemosphere* **153**, 455-461.
- Jonsson, B. & Jonsson, N. (2006). Life-history effects of migratory costs in anadromous brown trout. *Journal of Fish Biology* **69**, 860-869.
- Kay, S. (2020). Marine biogeochemistry data for the Northwest European Shelf and Mediterranean Sea from 2006 up to 2100 derived from climate projections. In *Copernicus Climate Change Service - Climate Data Store*. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-marine-properties>.
- Lassalle, G., Crouzet, P., Gessner, J. & Rochard, E. (2010). Global warming impacts and conservation responses for the critically endangered European Atlantic sturgeon. *Biological Conservation* **143**, 2441-2452.
- Lauronce, V., Henri, B., Gauthier, J. & Bismuth, A. (2019). Conservation du stock d'esturgeons européens *A. sturio*, reproduction assistées, production de juvéniles de repeuplement, lâchers en milieu naturel et animation du Plan National d'Actions - Année 2019
- p. 168: MIGADO.
- Lauronce, V., Henri, B., Gauthier, J. & Bismuth, A. (2020). Conservation du stock d'esturgeons européens *A. sturio*, reproduction assistées, production de juvéniles de repeuplement, lâchers en milieu naturel et animation du Plan National d'Actions - Année 2020. p. 107: MIGADO.
- Lauronce, V., Henri, B., Gauthier, J. & Buisson, Q. (2021). Conservation du stock d'esturgeons européens *A. sturio*, reproduction assistées, production de juvéniles de repeuplement, lâchers

en milieu naturel et animation du Plan National d'Actions - Année 2021. p. 88: MIGADO.

Lepage, M. & Rochard, E. (2011). Fishery by-catch of European sturgeon in the Bay of Biscay In *Biology and conservation of the Atlantic European sturgeon Acipenser sturio L., 1758* (Williot, P., Rochard, E., Desse-Berset, N., Kirschbaum, F. & Gessner, J., eds.), pp. 335-342: Springer.

Leroy, B., Delsol, R., Hugueny, B., Meynard, C. N., Barhoumi, C., Barbet-Massin, M. & Bellard, C. (2018). Without quality presence-absence data, discrimination metrics such as TSS can be misleading measures of model performance. *Journal of Biogeography* **45**, 1994-2002.

Letaconnoux, R. (1961). Note sur la fréquence de la distribution des captures d'esturgeons (*Acipenser sturio* L.) dans le Golfe de Gascogne. *Revue des Travaux de l' Institut des Pêches Maritimes* **25**, 253-261.

Linhart, O., Cheng, Y., Xin, M., Rodina, M., Tučková, V., Shelton, W. L. & Kašpar, V. (2020). Standardization of egg activation and fertilization in sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Aquaculture Reports* **17**.

Liu, C. R., White, M. & Newell, G. (2013). Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence-only data. *Journal of Biogeography* **40**, 778-789.

Livak, K. J. & Schmittgen, T. D. (2001). Analysis of relative gene expression data using real-time quantitative PCR and the 2(T)(-Delta Delta C) method. *Methods* **25**, 402-408.

Lobo, J. M., Jimenez-Valverde, A. & Real, R. (2008). AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography* **17**, 145-151.

McBreen, F., Wilson, J. G., Mackie, A. S. Y. & Aonghusa, C. N. (2008). Seabed mapping in the southern Irish Sea: predicting benthic biological communities based on sediment characteristics. *Hydrobiologia* **606**, 93-103.

Muscalu-Nagy, C. & Muscalu-Nagy, R. (2009). Observation regarding the embryonary and larval development of sterlet (*Acipenser ruthenus*). *Lucrări științifice Zootehnie și Biotehnologii* **42**, 71-77.

Pont, D., Rocle, M., Valentini, A., Civade, R., Jean, P., Maire, A., Roset, N., Schabuss, M., Zornig, H. & Dejean, T. (2018). Environmental DNA reveals quantitative patterns of fish biodiversity in large rivers despite its downstream transportation. *Scientific Reports* **8**, 13.

Qian, L., Cui, F., Yang, Y., Liu, Y., Qi, S. Z. & Wang, C. J. (2018). Mechanisms of developmental toxicity in zebrafish embryos (*Danio rerio*) induced by boscalid. *Science of the Total Environment* **634**, 478-487.

Qian, L., Qi, S. Z., Wang, Z., Magnuson, J. T., Volz, D. C., Schlenk, D., Jiang, J. Z. & Wang, C. J. (2021). Environmentally relevant concentrations of boscalid exposure affects the neurobehavioral response of zebrafish by disrupting visual and nervous systems. *Journal of Hazardous Materials* **404**, 12.

Qian, L., Zhang, J., Chen, X., Qi, S., Wu, P., Wang, C. & Wang, C. (2019). Toxic effects of boscalid in adult zebrafish (*Danio rerio*) on carbohydrate and lipid metabolism. *Environmental Pollution* **247**, 775-782.

Robinson, C. (2021). Effets de deux fongicides sur le développement embryonnaire de l'esturgeon du Danube, *Acipenser ruthenus*. p. 57. Université de Bordeaux: INRAE - EPOC.

Rochard, E., ed. (2009). *Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen Acipenser sturio ; bilan scientifique et technique 2008*. Bordeaux: Cemagref, Etude N°133.

- Rochard, E., ed. (2011). *Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* ; bilan scientifique et technique 2009*. Bordeaux: Cemagref, Etude N°141.
- Rochard, E. & Jatteau, P. (1991). Amélioration de la méthode de détermination de l'âge de l'esturgeon commun *Acipenser sturio* et premières applications. In *Acipenser, Actes du premier colloque international sur l'esturgeon* (Williot, P., ed.), pp. 193-208. Bordeaux: Cemagref Publication, Antony, France.
- Rochard, E., Lepage, M., Dumont, P., Tremblay, S. & Gazeau, C. (2001). Downstream migration of juvenile European sturgeon *Acipenser sturio* L. in the Gironde estuary. *Estuaries* **24**, 108-115.
- Rochard, E., Lepage, M. & Meauze, L. (1997). Identification et caractérisation de l'aire de répartition marine de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* à partir de déclarations de captures. *Aquatic Living Resources* **10**, 101-109.
- Roques, S., Berrebi, P., Rochard, E. & Acolas, M. L. (2018). Genetic monitoring for the successful re-stocking of a critically endangered diadromous fish with low diversity. *Biological Conservation* **221**, 91-102.
- Roques, S., Chancerel, E., Boury, C., Pierre, M. & Acolas, M. L. (2019). From microsatellites to single nucleotide polymorphisms for the genetic monitoring of a critically endangered sturgeon. *Ecology and Evolution* **9**, 7017-7029.
- Rosenthal, H., Bronzi, P., Gessner, J., Moreau, D. & Rochard, E. (2007). Action plan for the conservation and the restoration of the european sturgeon. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats (Berne Convention). p. 125. Council of Europe Publishing: Nature and Environment N°152.
- Rouault, T., Chèvre, P., Rochard, E., Jatteau, P., Jacobs, L. & Gonthier, P. (2008). Programme de recherche et de conservation de l'esturgeon européen *Acipenser sturio* ; bilan scientifique et technique 2007. p. 79: Cemagref de Bordeaux.
- Roussel, J. M., Paillisson, J. M., Treguier, A. & Petit, E. (2015). The downside of eDNA as a survey tool in water bodies. *Journal of Applied Ecology* **52**, 823-826.
- Rybníkář, J., Prokeš, M., Mareš, J. & Čileček, M. (2011). Early development and growth of sterlet (*Acipenser ruthenus*) in the Czech Republic. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* **59**, 217-226.
- Shelton, A. O., Sullaway, G. H., Ward, E. J., Feist, B. E., Somers, K. A., Tuttle, V. J., Watson, J. T. & Satterthwaite, W. H. (2021). Redistribution of salmon populations in the northeast Pacific ocean in response to climate. *Fish and Fisheries* **22**, 503-517.
- Sillero, N., Arenas-Castro, S., Enriquez-Urzelai, U., Vale, C. G., Sousa-Guedes, D., Martinez-Freiria, F., Real, R. & Barbosa, A. M. (2021). Want to model a species niche? A step-by-step guideline on correlative ecological niche modelling. *Ecological Modelling* **456**, 19.
- Silvestre, F., Linares-Casenave, J., Doroshov, S. I. & Kültz, D. (2010). A proteomic analysis of green and white sturgeon larvae exposed to heat stress and selenium. *Science of the Total Environment* **408**, 3176-3188.
- Thuiller, W., Lafourcade, B., Engler, R. & Araujo, M. B. (2009). BIOMOD - a platform for ensemble forecasting of species distributions. *Ecography* **32**, 369-373.
- Trimoreau, E., Archambault, B., Brind'Amour, A., Lepage, M., Guitton, J. & Le Pape, O. (2013). A quantitative estimate of the function of soft-bottom sheltered coastal areas as essential flatfish nursery habitat. *Estuarine Coastal and Shelf Science* **133**, 193-205.

Vega, J. (2016). Etude de la capacité d'accueil trophique de l'estuaire de la Gironde pour les juvéniles d'esturgeon européen *Acipenser sturio*. . p. 49: Université de Lille 1 et Université du littoral Côte d'opale.

Vu, H. T., Keough, M. J., Long, S. M. & Pettigrove, V. J. (2016). Effects of the Boscalid fungicide Filan (R) on the marine amphipod *Allorchestes compressa* at environmentally relevant concentrations. *Environmental Toxicology and Chemistry* **35**, 1130-1137.

Wang, H. L., Meng, Z., Liu, F. S., Zhou, L. Q., Su, M. L., Meng, Y. L., Zhang, S. H., Liao, X. J., Cao, Z. G. & Lu, H. Q. (2020). Characterization of boscalid-induced oxidative stress and neurodevelopmental toxicity in zebrafish embryos. *Chemosphere* **238**, 10.

Williot, P., Rochard, E., Castelnaud, G., Rouault, T., Brun, R., Lepage, M. & Elie, P. (1997). Biological characteristics of European Atlantic sturgeon, *Acipenser sturio*, as the basis for a restoration program in France. *Environmental Biology of Fishes* **48**, 359-372.

Zega, G., De Bernardi, F., Groppelli, S. & Pennati, R. (2009). Effects of the azole fungicide Imazalil on the development of the ascidian *Ciona intestinalis* (Chordata, Tunicata): Morphological and molecular characterization of the induced phenotype. *Aquatic Toxicology* **91**, 255-261.

Annexe 1



Bilan provisoire des observations accidentelles d'esturgeons européens *Acipenser sturio* dans l'estuaire de la Gironde, période 2008-2021

Date 31/05/2022

Ces données brutes sont extraites de la base de données Sturwild qui renseigne dans le cadre du Programme National d'Actions en faveur de l'esturgeon européen les observations accidentelles de l'espèce. Les données sont rassemblées par 3 organismes CNPME¹, Capena² et INRAE³ soit directement auprès des observateurs soit via des correspondants.

Les limites de l'estuaire de la Gironde définies ici sont le bec d'Ambès à l'amont correspondant à la confluence de la Dordogne et de la Garonne et la ligne rejoignant la pointe de Grave rive gauche (45°34'20"N 1°03'41"O) à la pointe de Suzac rive droite entre St Georges de Didonne et Royan (45°34'40"N 1°03'41"O).

Tableaux des observations accidentelles d'esturgeons européens déclarées entre 2008 et 2021 dans l'estuaire de la Gironde :

La catégorie de déclarant, l'état observé des poissons et les modalités d'observation sont précisés.

Dans cette extraction Sturwild au 10 mars 2022, certaines captures en 2021 n'ont peut-être pas encore été déclarées à ce jour ; les données de l'année en cours 2022 étant incomplètes elles ont été exclues de ce bilan.

1 Comité National des Pêches Maritimes et des Elevages Marins

2 Centre pour l'Aquaculture, la Pêche et l'Environnement en Nouvelle Aquitaine

3 Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement

Tableau 1 correspondant aux nombres d'observations**

** Une observation correspond à un événement d'observation ou de capture accidentelle, un ou plusieurs individus pouvant être observés lors du même événement.

*** C'est la marque du poisson et non le poisson qui a été « capturée »

Catégorie de déclarant	Pêche Amateur			Autres Observateurs	Pêche Professionnelle								Pêche scientifique	Total	
	Très bon état	Bon état	Mort		Bon état	Très bon état	Bon état	Etat moyen	Blessé	Maigre	Vivant	Mort			Poisson non observé***
Modalités d'observation															
Carrelet		1													1
Chalut														1	1
Filet					1										1
Filet dérivant					1	11	1				1				14
Filet droit fixe					1	1									2
Filet maillant dérivant					111	264	4	6	1						386
Filet trémail					1	1									1
Filet trémail dérivant					1	48									49
Filet trémail fixe	1					2									3
Filtre Centrale Blayais				1											1
Lavaneau						1									1
Ligne de fond		2										1			3
Palangre						7									7
Palangre de fond					6	11	1								18
Tamis pibalour										2					2
Observé en surface			1				1						2		4
Total	1	3	1	1	122	346	7	6	3	1	2	1	1	494	

Tableau 2 correspondant aux nombres d'individus observés

Catégorie de déclarant	Pêche Amateur			Autres Observateurs	Pêche Professionnelle								Pêche scientifique	Total	
	Très bon état	Bon état	Mort		Bon état	Très bon état	Bon état	Etat moyen	Blessé	Maigre	Vivant	Mort			Poisson non observé***
Modalités d'observation															
Carrelet		1													1
Chalut														1	1
Filet					1										1
Filet dérivant					1	12	1				1				15
Filet droit fixe					1	1									2
Filet maillant dérivant					204	590	4	7	1						806
Filet trémail					1	1									1
Filet trémail dérivant					1	60									61
Filet trémail fixe	1					2									3
Filtre Centrale Blayais				1											1
Lavaneau						1									1
Ligne de fond		4										1			5
Palangre						7									7
Palangre de fond					6	11	1								18
Tamis pibalour										2					2
Observé en surface			1				1						2		4
Total	1	5	1	1	214	685	7	7	3	1	2	1	1	929	

*** c'est la marque du poisson et non le poisson qui a été "capturée"

Les filets dit dérivants (filet maillant dérivant + filet trémail dérivant + filet dérivant) ont permis 449 observations de l'espèce *Acipenser sturio* dans l'estuaire de la Gironde correspondant à 882 individus sur la période 2008-2021 soit plus de 90% des observations.

Les pêches scientifiques au chalut mentionnées ici correspondent aux campagnes Ifremer du projet NourDem 2019-2021 (étude des nourriceries dans les estuaires de Seine, Loire et Gironde).

Annexe 2

Liste des espèces capturées dans le cadre des campagnes Sturat 2022

Nom espèces	Nombre d'individus capturés	Dont nombre de morts observés
<i>Acipenser gueldenstaedti</i>	2	0
<i>Acipenser sturio</i>	10	0
<i>Alosa alosa</i>	21	10
<i>Alosa alosa, Alosa fallax</i>	90	82
<i>Alosa fallax</i>	105	67
<i>Anguilla anguilla</i>	139	0
<i>Argyrosomus regius</i>	1738	15
<i>Barbus barbus</i>	3	0
<i>Chelidonichthys lucernus</i>	4	0
<i>Clupea harengus</i>	1	0
<i>Conger conger</i>	32	0
<i>Dicentrarchus sp</i>	1	0
<i>Dicentrarchus labrax</i>	105	3
<i>Dicentrarchus punctatus</i>	161	5
<i>Engraulis encrasicolus</i>	28	25
<i>Hippocampus hippocampus</i>	2	0
<i>Liza ramada</i>	3619	28
<i>Petromyzon marinus</i>	4	0
<i>Platichthys flesus</i>	20	1
<i>Pomatoschistus sp</i>	611	254
<i>Raja clavata</i>	15	0
<i>Scophthalmus rhombus</i>	1	0
<i>Solea solea</i>	81	0
<i>Sprattus sprattus</i>	295	294
<i>Symphodus melops</i>	1	0
<i>Syngnathus sp</i>	1	0
<i>Syngnathus acus</i>	1	1
<i>Trachurus trachurus</i>	2	2
<i>Umbrina canariensis</i>	285	8
Total	7378	795
<i>Attention données brutes</i>		

Annexe 3

Résultats des prélèvements ADNe 2022 par site. Extraits du rapports Spygen 2023.

Pour chaque site il y a 2 répliquas

Les extractions d'ADN ont été réalisées dans une salle dédiée à l'ADN rare ou dégradé. Une amplification de l'ADN a ensuite été effectuée avec un couple d'amorces universel pour les Poissons (12 répliquas par échantillon) puis les échantillons amplifiés ont été séquencés à l'aide d'un séquenceur nouvelle génération (de type MiSeq - Illumina). À chaque étape du protocole des témoins négatifs ont été analysés en parallèle aux échantillons, afin de contrôler la pureté des consommables utilisés et de détecter d'éventuelles contaminations croisées au cours de la manipulation (cf. *Extraction (-) & PCR (-) dans Contrôles qualité*).

Les séquences obtenues ont été analysées avec des outils bio-informatiques permettant d'éliminer les erreurs dues à l'amplification ou au séquençage (à l'aide de différents filtres) et de comparer chaque séquence avec les bases de référence SPYGEN® et GenBank®. Une liste d'espèces a ensuite été établie pour chaque échantillon avec la base de référence utilisée ainsi que le nombre de séquences ADN et le nombre de répliquas positifs attribués à chaque espèce.

Certaines espèces peuvent présenter des séquences ADN identiques sur la région d'ADN étudiée, ce qui ne permet pas de les différencier. Dans ce cas, ces espèces sont identifiées au genre ou à la famille (cf. 3) *Résultats pour plus de détails*).

➤ Contrôles qualité :

Type de contrôle	Résultat	Commentaires
Extraction (-)	Négatif	Aucune contamination détectée lors de l'analyse
PCR (-)	Négatif	

➤ VigidNA M Poissons

Certains taxons de Poissons sont identifiés au genre ou à la famille avec la base de référence SPYGEN (cf. Tableau annexe).

Il convient d'être vigilant lorsque *Barbus meridionalis* est détecté dans un échantillon où *Barbus barbus* est présent car ces deux espèces sont génétiquement proches.

Tableau annexe : Liste des taxons ne pouvant pas être identifiés à l'espèce.

Nom scientifique affiché sur les rapports	Nom scientifique du(des) espèce(s) associée(s)	Nom vernaculaire
<i>Alosa</i> sp.	<i>Alosa alosa</i> ou <i>Alosa fallax</i>	-
Ammodytidae	<i>Ammodytes marinus</i> , <i>Ammodytes tobianus</i> ou <i>Hyperoplus lanceolatus</i>	-
<i>Barbatula</i> sp.	<i>Barbatula barbatula</i> ou <i>Barbatula quignardi</i>	-
<i>Carassius</i> sp.	<i>Carassius carassius</i> ou <i>Carassius gibelio</i> ou <i>Carassius auratus</i>	-
<i>Coregonus</i> sp.	<i>Coregonus lavaretus</i> ou <i>Coregonus oxyrinchus</i>	-
<i>Cottus</i> sp.	<i>Cottus aturi</i> , <i>Cottus duranii</i> , <i>Cottus gobio</i> , <i>Cottus hispaniolensis</i> , <i>Cottus perifretum</i> , <i>Cottus petiti</i> ou <i>Cottus rhenanus</i>	-
Cyprinidae - Complexe 1	<i>Chondrostoma nasus</i> , <i>Parachondrostoma toxostoma</i> ou <i>Telestes souffia</i>	Hotu & Toxostome & Blageon
Cyprinidae - Complexe 2	<i>Ctenopharyngodon idella</i> ou <i>Hypophthalmichthys molitrix</i>	Amour blanc & Carpe argentée
Cyprinidae - Complexe 3	<i>Abramis brama</i> ou <i>Blicca bjoerkna</i>	Brème commune & Brème bordelière
Cyprinidae - Complexe 4	<i>Alburnus alburnus</i> ou <i>Scardinus erythrophthalmus</i>	Ablette & Rotengle
<i>Gobio</i> sp.	<i>Gobio alverniae</i> , <i>Gobio gobio</i> , <i>Gobio lozanoi</i> ou <i>Gobio occitaniae</i>	-
<i>Lampetra</i> sp.	<i>Lampetra fluviatilis</i> ou <i>Lampetra planeri</i>	-
<i>Leuciscus</i> sp.	<i>Leuciscus idus</i> ou <i>Leuciscus leuciscus</i>	-
<i>Phoxinus</i> sp.	<i>Phoxinus bigerri</i> , <i>Phoxinus phoxinus</i> ou <i>Phoxinus septimaniae</i>	-
Pleuronectidae - Complexe 1	<i>Platichthys flesus</i> ou <i>Pleuronectes platessa</i>	Flet d'Europe & Plie d'Europe
Pleuronectidae - Complexe 2	<i>Hippoglossoides platessoides</i> ou <i>Limanda limanda</i>	Balai & Limande
<i>Pomatoschistus</i> sp.	<i>Pomatoschistus microps</i> ou <i>Pomatoschistus minutus</i>	-
<i>Salvelinus</i> sp.	<i>Salvelinus fontinalis</i> ou <i>Salvelinus alpinus</i>	-
<i>Squalius</i> sp.	<i>Squalius cephalus</i> ou <i>Squalius laietanus</i>	-

Les résultats concernant la détection d'espèces consommées doivent être interprétés avec précaution. En effet l'ADN de ces espèces peut se retrouver dans le milieu même si les individus ne sont pas réellement présents (suite à des rejets de station d'épuration ou de pisciculture par exemple).

Les résultats obtenus avec GenBank® doivent également être interprétés avec précaution car nous ne pouvons pas garantir la fiabilité des données présentes dans cette base de référence publique.

Tableau I : Liste des taxons de Poissons détectés (" * " : Quantité d'ADN insuffisante pour certifier la détection du taxon dans l'échantillon).

Nom scientifique	Base de référence	Agen Beauregard				Beynac				Caudrot			
		SPY222121		SPY222122		SPY222503		SPY222504		SPY222115		SPY222116	
		Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN
<i>Abramis brama</i>	SPYGEN					7	8 216	10	10 993	7	17 409	0	5 223
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	SPYGEN	9	1 536	7	617								
<i>Alburnus alburnus</i>	SPYGEN	12	153 257	12	119 923	12	21 633	12	24 112	12	135 191	12	86 814
<i>Alopius sp.</i>	SPYGEN	2	156	2	61					1	214	2	364
<i>Anguilla anguilla</i>	SPYGEN	9	620	8	490	5	602	3	309	9	3 732	12	5 347
<i>Bardachia barbatula</i>	GenBank												
<i>Bardachia sp.</i>	SPYGEN	8	463	5	347	3	273	5	304				
<i>Bardus barbus</i>	SPYGEN	12	96 102	12	110 388	12	5 143	12	10 328	12	20 062	12	26 769
<i>Bardus meridionalis</i>	SPYGEN		*										
<i>Bleiza bleizina</i>	SPYGEN	5	5 163	7	8 081	11	12 574	11	18 399				
<i>Carassius sp.</i>	SPYGEN					7	462	5	534				
<i>Chelon ramada</i>	SPYGEN	12	3 638	12	2 337	12	11 351	12	5 233	11	44 359	12	23 223
<i>Cyprinidae - Complexe 2</i>	SPYGEN	5	598	12	2 814	4	377	6	816	2	854	8	1 450
<i>Cyprinidae - Complexe 3</i>	SPYGEN	12	4 500	10	5 135	12	17 397	11	18 053	3	3 726	12	15 474
<i>Cyprinus carpio</i>	SPYGEN	12	5 244	12	6 117	12	12 535	12	10 788	6	1 472	12	1 247
<i>Dicentrarchus labrax</i>	SPYGEN										*		*
<i>Esox lucius</i>	SPYGEN					5	560	9	429				*
<i>Gambusia holbrooki</i>	SPYGEN		*										*
<i>Gobio sp.</i>	SPYGEN	12	16 926	12	18 388	12	19 307	12	9 889	1	428	9	1 347
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	SPYGEN	12	2 620	12	5 331	12	6 484	12	10 054	8	2 227	9	1 348
<i>Lepomis gibbosus</i>	SPYGEN		*			12	11 804	12	15 792		*		*
<i>Leuciscus burdigalensis</i>	SPYGEN					12	19 493	12	22 826			10	1 784
<i>Leuciscus sp.</i>	SPYGEN												
<i>Micropterus salmoides</i>	SPYGEN					9	1 473	10	1 827				*
<i>Oscorhamphus mykiss</i>	SPYGEN	11	1 755	11	1 535								
<i>Pachychilus pictus</i>	SPYGEN	3	161	3	248		*		*				
<i>Perca fluviatilis</i>	SPYGEN	2	186	1	11	7	831	9	1 084	1	1 784	5	1 037
<i>Petromyzon marinus</i>	SPYGEN												
<i>Pseudorasbora parva</i>	SPYGEN	12	15 288	12	12 893	12	3 413	12	3 777				*
<i>Rhodeus amarus</i>	SPYGEN	12	26 298	12	24 569	11	3 776	11	3 991			7	1 777
<i>Rutilus rutilus</i>	SPYGEN	12	4 227	12	4 485	12	40 526	12	35 154	12	23 822	12	17 261
<i>Salaria fluviatilis</i>	SPYGEN	2	171	3	179								
<i>Salaria salar</i>	SPYGEN	12	1 527	9	1 252								
<i>Sander lucioperca</i>	SPYGEN	9	699	4	396	12	2 344	11	4 998			5	474
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	SPYGEN					2	394	3	559				
<i>Silurus glanis</i>	SPYGEN	12	12 013	12	5 831	12	16 874	12	29 195	10	12 526	12	8 958
<i>Squalius cephalus</i>	SPYGEN	12	18 384	11	26 296	5	3 273	5	5 968	10	11 713	12	8 329
<i>Squalius sp.</i>	SPYGEN	4	4 347	4	3 802					2	1 510	9	6 445
<i>Thrasops</i>	SPYGEN					12	3 213	11	2 960				

Tableau II : Liste des taxons de Poissons détectés (" * " : Quantité d'ADN insuffisante pour certifier la détection du taxon dans l'échantillon).

Nom scientifique	Base de référence	Caumont				Couthures sur Garonne				Le Fleix			
		SPY222500		SPY222501		SPY222119		SPY222120		SPY222495		SPY222456	
		Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN
<i>Abramis brama</i>	SPYGEN					7	4 677	11	3 924				
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	SPYGEN		*										
<i>Alburnus alburnus</i>	SPYGEN	12	157 156	12	78 154	12	77 106	12	114 438	12	136 640	9	21 498
<i>Alopius sp.</i>	SPYGEN	9	1 362	4	222	4	572	11	1 411		*		*
<i>Anguilla anguilla</i>	SPYGEN	10	1 235	8	2 234	8	6 475	11	2 657	11	685	2	60
<i>Bardachia barbatula</i>	GenBank												
<i>Bardachia sp.</i>	SPYGEN	5	890	12	2 920				*	12	2 963	4	273
<i>Bardus barbus</i>	SPYGEN	12	154 809	12	40 716	12	67 308	12	106 086	12	26 062	7	4 991
<i>Bardus meridionalis</i>	SPYGEN												*
<i>Bleiza bleizina</i>	SPYGEN	8	9 728	7	7 016	6	3 834	4	5 891	7	9 476	5	2 782
<i>Carassius sp.</i>	SPYGEN					5	333			11	808	3	67
<i>Chelon ramada</i>	SPYGEN	10	2 832	12	33 233	12	16 383	12	9 560	12	2 691	6	501
<i>Cyprinidae - Complexe 2</i>	SPYGEN	9	2 289	10	945	5	1 288	8	899	12	2 295	5	797
<i>Cyprinidae - Complexe 3</i>	SPYGEN	7	2 107	11	4 143					12	5 520	3	800
<i>Cyprinus carpio</i>	SPYGEN	11	2 473	12	9 807	12	4 096	12	8 151	12	13 860	7	3 070
<i>Dicentrarchus labrax</i>	SPYGEN												
<i>Esox lucius</i>	SPYGEN				*								
<i>Gambusia holbrooki</i>	SPYGEN												
<i>Gobio sp.</i>	SPYGEN	12	19 428	12	36 466	12	23 382	12	31 251	12	36 205	7	8 643
<i>Gymnocephalus cernuus</i>	SPYGEN	8	1 448	12	1 823	4	1 722	12	2 811	12	1 647	7	724
<i>Lepomis gibbosus</i>	SPYGEN		*			5	4 212	10	1 476	8	1 109		
<i>Leuciscus burdigalensis</i>	SPYGEN	5	755	12	37 668			7	520	12	17 905	7	2 088
<i>Leuciscus sp.</i>	SPYGEN												
<i>Micropterus salmoides</i>	SPYGEN										*		
<i>Oscorhamphus mykiss</i>	SPYGEN								*				
<i>Pachychilus pictus</i>	SPYGEN												
<i>Perca fluviatilis</i>	SPYGEN	2	87	5	279	3	894	4	401	8	301	4	142
<i>Petromyzon marinus</i>	SPYGEN				*								
<i>Pseudorasbora parva</i>	SPYGEN	10	3 071	12	1 579	9	3 254	12	4 357	12	5 318	6	947
<i>Rhodeus amarus</i>	SPYGEN	12	9 969	4	193	12	13 558	12	18 787	11	1 223	4	297
<i>Rutilus rutilus</i>	SPYGEN	12	33 716	12	51 326	11	9 672	12	17 713	12	62 245	8	10 696
<i>Salaria fluviatilis</i>	SPYGEN												
<i>Salaria salar</i>	SPYGEN												
<i>Sander lucioperca</i>	SPYGEN	1	51	12	1 944	1	1 061	5	382	12	835	3	109
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	SPYGEN						*			9	867	2	80
<i>Silurus glanis</i>	SPYGEN	12	3 094	12	11 188	10	7 261	12	9 208	12	9 947	7	2 276
<i>Squalius cephalus</i>	SPYGEN	12	21 043	12	15 768	10	12 082	12	23 695	12	25 292	7	4 583
<i>Squalius sp.</i>	SPYGEN	6	8 217			5	2 417	7	9 025				
<i>Thrasops</i>	SPYGEN												

Tableau III : Liste des taxons de Poissons détectés (" * " : Quantité d'ADN insuffisante pour certifier la détection du taxon dans l'échantillon).

Nom scientifique	Base de référence	Le Fleix 2				Mèthan sur Garonne				Pescas sur Dordogne			
		SPY223497		SPY223498		SPY222111		SPY222112		SPY223505		SPY223506	
		Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN
<i>Ablettus blema</i>	SPYGEN					4	1 727	3	606	2	404	10	6 149
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	SPYGEN					3	117	2	46				
<i>Alburnus alburnus</i>	SPYGEN	12	103 957	12	83 194	12	161 723	11	87 951	12	43 528	12	62 582
<i>Aloea sp.</i>	SPYGEN				*	8	631	6	614	1	131	3	331
<i>Anguilla anguilla</i>	SPYGEN	3	349	7	225	12	1 857	11	14 420	3	43	6	716
<i>Bardulus bardulus</i>	GenBank												
<i>Bardulus sp.</i>	SPYGEN	10	3 054	12	2 852	5	248	2	87	4	576	11	1 917
<i>Barbus barbus</i>	SPYGEN	12	37 096	12	24 888	12	98 251	11	53 653	12	25 096	12	43 983
<i>Barbus meridionalis</i>	SPYGEN												
<i>Blicca bjoerkna</i>	SPYGEN	11	19 047	12	13 188	2	1 230	1	349				
<i>Carassius sp.</i>	SPYGEN	3	325	3	164					2	129	6	355
<i>Chelon variegata</i>	SPYGEN	9	3 617	11	2 537	12	12 645	11	47 472	7	711	12	6 136
<i>Cyprinidae - Complexe 2</i>	SPYGEN	6	1 701	12	2 616	10	2 209	10	1 158	5	730	7	582
<i>Cyprinidae - Complexe 3</i>	SPYGEN	8	6 413	11	6 607	8	3 360	8	2 330	5	2 495	11	8 510
<i>Cyprinus carpio</i>	SPYGEN	12	14 189	12	8 704	12	4 631	11	4 029	12	4 298	12	4 246
<i>Dacentrarchus labrax</i>	SPYGEN												
<i>Esox lucius</i>	SPYGEN	2	70	3	118								*
<i>Gambusia holbrooki</i>	SPYGEN									1	96	3	258
<i>Gobio sp.</i>	SPYGEN	12	39 863	12	33 184	12	25 114	12	13 380	12	32 333	12	38 730
<i>Gymnocypris anurus</i>	SPYGEN	5	1 122	12	1 268	10	1 033	10	841	10	1 490	12	2 223
<i>Lepomis gibbosus</i>	SPYGEN	5	2 016	11	2 548	6	940	11	2 434				
<i>Leuciscus bairdianus</i>	SPYGEN	12	20 142	12	14 271	6	871	5	357	12	9 778	12	19 458
<i>Leuciscus sp.</i>	SPYGEN					5	529						
<i>Microperca salmoides</i>	SPYGEN												
<i>Oreochromis mykiss</i>	SPYGEN						*						
<i>Pachychiton pictum</i>	SPYGEN												
<i>Pisces fixatiis</i>	SPYGEN	3	464	4	85	3	102	1	35	2	152	10	552
<i>Pomoxystes marinus</i>	SPYGEN												
<i>Pseudorasbora parva</i>	SPYGEN	8	3 958	12	3 059	12	3 119	11	2 528	7	1 109	12	1 824
<i>Rhodeus amarus</i>	SPYGEN	4	1 677	7	1 517	12	13 477	11	8 750	2	221	2	121
<i>Rutilus rutilus</i>	SPYGEN	12	69 827	12	62 822	12	20 912	11	10 372	12	24 218	12	45 994
<i>Salaria fluviatilis</i>	SPYGEN												
<i>Salaria raiter</i>	SPYGEN												
<i>Sander lucioperca</i>	SPYGEN	6	1 743	11	1 169	5	426	2	122	6	851	12	2 635
<i>Scardinus erythrophthalmus</i>	SPYGEN	7	323	3	515		*			2	225	4	130
<i>Silurus glanis</i>	SPYGEN	12	7 738	12	5 433	12	8 639	11	5 103	12	3 507	12	10 501
<i>Squalius cephalus</i>	SPYGEN	8	9 954	9	9 723	12	16 890	11	12 255	12	20 189	12	26 756
<i>Squalius sp.</i>	SPYGEN					11	15 895	5	3 029				
<i>Thrasops</i>	SPYGEN				*								

Tableau IV : Liste des taxons de Poissons détectés (" * " : Quantité d'ADN insuffisante pour certifier la détection du taxon dans l'échantillon).

Nom scientifique	Base de référence	Pescas sur Dordogne 2		Port Sainte Marie		Torreilles							
		SPY223499		SPY223502		SPY222113		SPY222117					
		Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN	Nombre de répliquats positifs (/12)	Nombre de séquences ADN				
<i>Ablettus blema</i>	SPYGEN		*			1	230	4	646	3	1 837	3	4 621
<i>Alburnoides bipunctatus</i>	SPYGEN				*	7	435	6	613				*
<i>Alburnus alburnus</i>	SPYGEN	12	70 859	12	74 231	12	69 950	12	91 130	12	56 590	12	79 833
<i>Aloea sp.</i>	SPYGEN	1	595	5	338	4	319	4	244				*
<i>Anguilla anguilla</i>	SPYGEN	12	1 884	10	4 551	6	485	10	619	8	2 718	7	6 846
<i>Bardulus bardulus</i>	GenBank				*								
<i>Bardulus sp.</i>	SPYGEN	4	1 063	7	824	7	380	5	580				
<i>Barbus barbus</i>	SPYGEN	12	32 742	12	101 985	12	96 309	12	122 683	12	47 348	12	63 302
<i>Barbus meridionalis</i>	SPYGEN												
<i>Blicca bjoerkna</i>	SPYGEN	3	2 445	7	3 930				*	5	6 161	7	9 864
<i>Carassius sp.</i>	SPYGEN												
<i>Chelon variegata</i>	SPYGEN	11	4 757	12	4 112	12	12 026	12	7 823	8	15 312	8	32 659
<i>Cyprinidae - Complexe 2</i>	SPYGEN			5	898	11	589	9	1 074		*		*
<i>Cyprinidae - Complexe 3</i>	SPYGEN	5	3 115	8	2 288	4	583	9	1 749				
<i>Cyprinus carpio</i>	SPYGEN	12	10 120	10	1 990	12	2 138	12	3 026	8	1 014	9	1 972
<i>Dacentrarchus labrax</i>	SPYGEN												
<i>Esox lucius</i>	SPYGEN												
<i>Gambusia holbrooki</i>	SPYGEN												
<i>Gobio sp.</i>	SPYGEN	12	28 224	12	22 154	12	9 949	12	11 974	12	8 724	8	14 870
<i>Gymnocypris anurus</i>	SPYGEN	5	716	11	1 567	11	898	10	891	2	1 192	2	1 680
<i>Lepomis gibbosus</i>	SPYGEN					12	2 527	10	1 345	4	963	3	1 850
<i>Leuciscus bairdianus</i>	SPYGEN	12	26 551	8	1 126								*
<i>Leuciscus sp.</i>	SPYGEN												
<i>Microperca salmoides</i>	SPYGEN												
<i>Oreochromis mykiss</i>	SPYGEN												
<i>Pachychiton pictum</i>	SPYGEN					4	237	4	221				
<i>Pisces fixatiis</i>	SPYGEN												*
<i>Pomoxystes marinus</i>	SPYGEN												
<i>Pseudorasbora parva</i>	SPYGEN	8	1 952	10	1 761	12	5 057	12	5 975	6	1 595	7	4 644
<i>Rhodeus amarus</i>	SPYGEN	1	312	11	3 208	12	8 856	12	8 852	12	12 416	10	20 157
<i>Rutilus rutilus</i>	SPYGEN	12	56 775	12	19 802	12	5 453	12	6 131	10	7 691	12	14 716
<i>Salaria fluviatilis</i>	SPYGEN					1	58	2	34				
<i>Salaria raiter</i>	SPYGEN												
<i>Sander lucioperca</i>	SPYGEN	7	1 262	1	50	3	101	1	29				
<i>Scardinus erythrophthalmus</i>	SPYGEN												
<i>Silurus glanis</i>	SPYGEN	12	3 320	12	3 891	12	8 465	12	5 876	10	5 132	11	15 479
<i>Squalius cephalus</i>	SPYGEN	12	15 569	12	9 393	12	9 835	12	12 745	8	6 162	7	9 835
<i>Squalius sp.</i>	SPYGEN			10	6 523	7	4 034	6	5 342	5	4 009	4	2 656
<i>Thrasops</i>	SPYGEN												



Centre Nouvelle-Aquitaine
Bordeaux UR Écosystèmes
Aquatiques et Changements
Globaux
50 avenue de
Verdun 33612
Cestas Cedex

Rejoignez-nous sur :



site internet du centre

**Institut national de recherche pour
l'agriculture, l'alimentation et
l'environnement**

INRAE
la science pour la vie, l'humain, la terre

