



Amélioration d'un tableau de bord pour l'évaluation de l'état des populations de poissons migrateurs de la Charente et de la Seudre (2021-2022)

Léonie Cloërec

M2 : Ecosystèmes et Bioproduction marine (EBM)

Soutenu le 10 juillet 2023

Maître de stage : Eric Buard (Chargé de missions poissons migrateurs, CAPENA)

Résumé :

Le travail réalisé ici permet de mettre en évidence les fonctionnalités d'un tableau de bord axé sur l'étude des poissons migrateurs, en se concentrant sur la construction d'un indicateur basé sur les niveaux d'oxygène dissous et la température de l'eau. Cet indicateur prend en compte l'impact des variations environnementales sur les juvéniles d'aloses, en particulier lors de leur dévalaison vers l'océan. Il complète le tableau de bord dédié à l'alose feinte et à la grande alose. Les données environnementales ont été collectées à partir de la sonde Magest à Tonnay-Charente, tandis que les seuils ont été adaptés à partir d'études littéraires. Certaines années, comme en 2022, des conditions environnementales très chaudes sur une longue période ont eu un impact sur la dévalaison des aloses, mais l'ampleur précise de cet impact n'est pas encore connue. Grâce à cet indicateur, on peut classer l'état de l'indicateur comme étant « Bon » pour 2021 et « Mauvais » pour 2022. L'ajout de cet indicateur fournit des informations supplémentaires sur l'état des populations d'aloses et de leur environnement, permettant ainsi aux gestionnaires de prendre des décisions éclairées en matière de conservation et de gestion des populations de poissons migrateurs amphihalins.

Mots-clés : Tableau de bord, poisson migrateur, indicateur, oxygène dissous, température, alose, Charente.

Abstract :

The work conducted here highlights the functionalities of a dashboard focused on the study of migratory fish, with a specific emphasis on developing an indicator based on dissolved oxygen levels and water temperature. This indicator takes into account the impact of environmental variations on juvenile shads, particularly during their downstream migration towards the ocean. It complements the dashboard dedicated to the twaite shad and the allis shad. Environmental data was collected from the Magest probe in Tonnay-Charente, while thresholds were adapted from literary studies. In certain years, such as 2022, prolonged and extremely warm environmental conditions had an impact on shad migration, although the precise extent of this impact is not yet known. With the help of this indicator, the indicator's state can be classified as "Good" for 2021 and "Poor" for 2022. The addition of this indicator provides supplementary information on the status of shad populations and their environment, enabling managers to make informed decisions regarding the conservation and management of amphihaline migratory fish populations.

Keywords : Dashboard, migratory fish, indicator, dissolved oxygen, temperature, shad, Charente.

Il convient de prendre en considération que le rapport a été réalisé par une étudiante de Master 2 de l'université de Nantes. Il est donc important d'aborder les résultats et les conclusions avec prudence et de les interpréter dans ce contexte.

Cellule Migrateurs Charente Seudre



Remerciements

Suite à ces 5 mois de stage au sein du Centre pour l'Aquaculture la Pêche et l'Environnement de Nouvelle-Aquitaine (CAPENA) je tenais à remercier toute la structure. Merci à Diane Duffour (directrice administrative et financière) et Laurent Soulier (Directeur scientifique) de m'avoir permis d'effectuer mon stage dans les locaux de CAPENA sur l'île d'Oléron.

Un grand merci à Éric Buard, mon maître de stage, qui a su, de par son professionnalisme et sa bienveillance, me mettre en confiance et me partager de nombreuses connaissances indispensables tout au long de mon stage, et d'avoir fait que mon stage se déroule dans la bonne humeur.

J'adresse aussi mes remerciements à tous les acteurs de la Cellule Migrateurs Charente Seudre, Audrey, Francois, Maxime, Robin, Alisson, Marc-Antoine pour leur accueil, et avec qui j'ai pu travailler sur différents suivis. Toutes ces études terrains furent riches d'enseignements et d'échanges humainement et professionnellement enrichissants. Je remercie plus particulièrement, Francois, Audrey et Robin pour avoir suivi l'avancement du site web et des cartes interactives. Je suis aussi heureuse d'avoir pu prendre part au suivi alose d'Alisson où j'ai eu la chance de voir et d'écouter mon premier bull d'alose.

Je remercie aussi Philippe Jatteau (INRAe Cestas) et Valérie Bolliet (INRAe St Pée sur Nivelle) pour leurs précieux conseils. Ils m'ont ainsi permis d'orienter la création de l'indicateur.

Je remercie Lise Andro (EPTB Chatente) et Jean-Philippe David (SMBS) d'avoir partagé avec moi les différentes données environnementales.

Merci à Emilie et Hermine de l'agence de communication La Petite Boite avec qui j'ai pu échanger toute au long de mon stage sur la création de cartes interactives pour le site web.

Et pour finir je remercie évidemment tous mes proches pour leur soutien, mes parents, mes sœurs et mes amis. Je dédicace plus particulièrement ces quelques mots à Joséphine avec qui j'ai découvert l'île d'Oléron, je te remercie infiniment d'avoir été présente pour moi tout au long de ce stage.

Avant-propos

Le Centre pour l'Aquaculture, la Pêche et l'Environnement de Nouvelle Aquitaine (CAPENA) est issu de la récente fusion (1er janvier 2021) entre le Centre Régional d'Expérimentation et d'Application Aquacole (CREAA) et l'Institut pour les Milieux Aquatiques (IMA). CAPENA est une association de loi 1901, visant à apporter une expertise technique et scientifique aux acteurs de la pêche et de l'aquaculture, ainsi qu'aux acteurs publics et privés, sur l'environnement, les ressources et les modes de productions en milieux aquatiques, afin d'en assurer un développement durable. A l'interface entre les professionnels, les scientifiques et les établissements publics ou administratifs, CAPENA répond aux préoccupations actuelles par le développement de projets innovants, de programmes de recherche appliquée ou de connaissances fondamentales sur les milieux aquatiques. Le siège de CAPENA est localisé à Gujan-Mestras (33), et les bureaux s'étendent sur 3 autres sites : Bayonne (64), Artigues-près-Bordeaux (33), et la ferme aquacole du Château d'Oléron (17). Depuis 2009, l'antenne Oléronaise suit également la pêche professionnelle maritime et œuvre pour la connaissance et la sauvegarde des poissons migrateurs.

La Cellule Migrateurs Charente Seudre (CMCS) est une entité formée par la fusion de trois structures, à savoir l'EPTB Charente, MIGADO et CAPENA. Son objectif principal est la préservation et la restauration des populations de poissons migrateurs sur les bassins versants de la Charente et de la Seudre. Ces structures collaborent pour mener une politique multi-partenariale, en concertation avec les acteurs locaux, régionaux et financiers. Elles mettent en œuvre un programme d'actions pluriannuel visant à préserver les poissons migrateurs et les milieux aquatiques avec un financement provenant de l'Agence de l'Eau Adour Garonne, de l'Union Européenne et de la Région Nouvelle Aquitaine.

Table des matières

I.	Introduction.....	2
1.	Gestion des poissons migrateurs.....	2
2.	Les aloses et les concentrations d'oxygène dissous	5
3.	Objectifs.....	7
II.	Matériel et Méthodes	7
1.	Site d'étude.....	7
2.	Acquisition des variables environnementales	9
3.	Construction de l'indicateur	10
4.	Traitements statistiques	13
III.	Résultats	13
IV.	Discussion	20
V.	Conclusion	22
VI.	Bibliographie.....	23
VII.	Webographie	25
VIII.	Annexes	26

Table des figures

Figure 1 : Le cycle de vie complexe des espèces diadromes nécessite des mesures de gestion spécifiques (DiadES, 2023)	3
Figure 2 : Présentation d'un Tableau de bord pour l'Alose feinte sur le site web de la CMCS, ©Cellule migrateurs Charente-Seudre	4
Figure 3 : Cycle biologique de l'Alose feinte (©Cellule migrateurs Charente Seudre)	5
Figure 4 : Présentation des bassins versants de la Charente et de la Seudre (Production personnelle, source : Open Street map, données personnelles, CMCS), cartographie réalisée à partir du logiciel Qgis Desktop 3.30.1.....	8
Figure 5 : Photographies prise lors du nettoyage de la sonde Wimo sur la Charente à Tonny-Charente (©Lise-Andro).....	9
Figure 6 : Frise chronologique sur les différentes périodes d'études et informations clés associées, *un bull est l'acte de reproduction des alose où elles effectuent un mouvement circulaire.....	10
Figure 7 : Proposition de seuils pour la création de l'indicateur oxygène sur la dévalaison des Alosons.....	12
Figure 8 : Les concentrations d'oxygène dissous pour la Seudre et la Charente sur la période 2021 et 2022, les barres d'erreur représentent l'écart type des données.....	14
Figure 9 : Matrice de corrélation avec les variables environnementales Charente 2022, turbidité (NTU), salinité (g/L), oxygène dissous (mg/L), température (°C), * valeur avec une différence significative de 0,05 et ** valeur avec une différence significative de 0,01.....	15
Figure 10 : Régression linéaire entre la température et l'oxygène pour les données de 2022 à Tonny-Charente	16
Figure 11 : Représentations graphiques de la température en fonction de l'OD et du nombre de jour dans chaque catégorie pour l'ensemble de l'année 2022, du 1 Janvier au 22 Décembre (Charente).....	16
Figure 12 : Représentations graphiques de la température en fonction de l'OD et du nombre de jour dans chaque catégorie sur la période de dévalaison des alosons 2022, du 15 mai au 15 octobre (Charente)....	17
Figure 13 : Représentations graphiques de la température en fonction de l'OD et du nombre de jour dans chaque catégorie sur la période de dévalaison des alosons 2021, du 15 mai au 15 octobre (Charente)....	17
Figure 14 : Heatmap 2022 de la Charente, en fonction de la période de dévalaison 15 mai- 15 octobre et des seuils.	18
Figure 15 : Heatmap 2021 de la Charente 15 mai- 15 octobre, en fonction de la période de dévalaison 15 mai- 15 octobre et des seuils.....	19

Table des tableaux

Tableau 1 : Classement de protection des poissons migrateurs à intérêt sur la Seudre et la Charente, par l'UICN (Union International pour la Conservation de la Nature) Comité français, MNHN, SFI & AFB, 2019. ...	2
Tableau 2 : Grille de proposition pour la surveillance et le classement de la qualité des masses d'eau de transition Française en oxygène dissous, température pour les poissons. (Taverny et al., 2009)	11
Tableau 3 : Proposition de seuils pour évaluer l'hypoxie sur la dévalaison des Alosons (Collin et Rochard, 2012).....	11
Tableau 4 : Proposition de seuils pour la création de l'indicateur oxygène sur la dévalaison des Alosons ..	12
Tableau 5 : Etat final de l'indicateur (Charente)	19

I. Introduction

1. Gestion des poissons migrateurs

Les poissons migrateurs amphihalins, ou diadromes, sont des poissons qui effectuent une migration entre des milieux de salinité différents (Lassalle *et al.*, 2008). Parmi ces poissons migrateurs, on trouve des espèces telles que le saumon Atlantique (*Salmo salar*, Linnaeus, 1758), la truite de mer (*Salmo trutta trutta*, Linnaeus, 1758), la grande alose (*Alosa alosa*, Linnaeus, 1758), l'alose feinte (*Alosa fallax*, Lacépède, 1803), l'anguille européenne (*Anguilla anguilla*, Linnaeus, 1758), ainsi que deux espèces de lamproies, la lamproie marine (*Petromyzon marinus*, Linnaeus, 1758) et la lamproie fluviatile (*Lampetra fluviatilis*, Linnaeus, 1758). Ces espèces sont présentes dans de nombreux fleuves et cours d'eau français, notamment la Charente. Elles parcourent souvent de longues distances pour rejoindre ces fleuves afin de se reproduire ou de s'y développer. Les poissons migrateurs sont généralement classés en deux catégories : les anadromes, qui se reproduisent dans les cours d'eau, tels que l'alose feinte et la lamproie marine, et les catadromes, qui se reproduisent dans l'océan, comme l'anguille européenne. Ces espèces sont considérées comme ayant une grande valeur patrimoniale, cependant, elles sont menacées en France (Tableau 1).

Tableau 1 : Classement de protection des poissons migrateurs à intérêt sur la Seudre et la Charente, par l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature) Comité français, MNHN, SFI & AFB, 2019.

Famille	Nom latin	Nom vulgaire	UICN France	UICN Mondiale
Anguilliformes	<i>Anguilla anguilla</i>	Anguille européenne	En danger critique	En danger critique
Clupeiformes	<i>Alosa fallax</i>	Alose feinte atlantique	Quasi menacée	Préoccupation mineure
Clupeiformes	<i>Alosa alosa</i>	Grande Alose	En danger critique	Préoccupation mineure
Petromyzontiformes	<i>Lampetra fluviatilis</i>	Lamproie de rivière	Vulnérable	Préoccupation mineure
Petromyzontiformes	<i>Petromyzon marinus</i>	Lamproie marine	En danger	Préoccupation mineure
Salmoniformes	<i>Salmo salar</i>	Saumon atlantique	Quasi menacée	Préoccupation mineure
Salmoniformes	<i>Salmo trutta trutta</i>	Truite de mer	Préoccupation mineure	Préoccupation mineure

Certaines espèces de poissons migrateurs sont reconnues comme des espèces clés des écosystèmes et ont une valeur économique significative, ce qui a conduit à des réglementations strictes et à des mesures de protection (Lassalle *et al.*, 2008). La préservation et la restauration des poissons migrateurs sont d'une importance capitale, à la fois pour leur valeur écologique en tant que composantes essentielles de la biodiversité et en tant qu'indicateurs de la qualité du milieu. Malheureusement, ces dernières années, les poissons migrateurs ont subi un déclin important en raison de l'impact néfaste de l'activité humaine sur leur environnement (Limburg & Waldman, 2009 ; Hasselman & Limburg, 2012). La construction d'ouvrages, la

modification de l'habitat, des pratiques de pêche excessives et la pollution sont autant de facteurs responsables de cette diminution alarmante. Parallèlement, le réchauffement climatique représente aussi une menace majeure pour ces espèces. Il entraîne une diminution du débit des cours d'eau, une augmentation des hypoxies et des anoxies, une augmentation de la température et d'autres effets néfastes qui compromettent leur survie. (Jatteau, *et al.*, 2017; Boisneau *et al.*, 2008 ; Wang *et al.*, 2021). Cette accumulation de pressions environnementales souligne la nécessité de mesures de conservation et de gestion adaptées pour préserver ces espèces. En France, la conservation et la restauration des poissons migrateurs sont mises en place à travers des structures décentralisées, telles que les comités de gestion des poissons migrateurs (COGEPOMI) et les Plans de Gestion des Poissons Migrateurs (PLAGEPOMI). Différentes structures et associations régionales contribuent à ces efforts en fournissant leur expertise et en mettant en œuvre des programmes d'actions. Des outils tels que des tableaux de bord sont utilisés pour suivre l'état des populations de poissons migrateurs dans le temps. Un tableau de bord est un outil de pilotage complexe qui permet de visualiser et suivre l'état des populations de poissons migrateurs dans le temps. Ces tableaux de bord permettent de prendre en compte différents facteurs tels que la pêche, l'aménagement des ouvrages, les effectifs des populations, la migration et la qualité de l'environnement. Ils ne se limitent pas à afficher les résultats récents, mais visent à réduire l'incertitude en stabilisant l'information, contribuant ainsi à une meilleure maîtrise du risque. Ils favorisent également la communication et la réflexion (Fernandez, 2018). Ces outils facilitent la diffusion des connaissances scientifiques et techniques aux gestionnaires et aux citoyens. Les données sont centralisées, gérées et diffusées grâce à ces tableaux de bord, ce qui est essentiel compte tenu du nombre d'acteurs impliqués dans la gestion des poissons migrateurs (Collin & Rochard, 2012). Egalement, chaque fleuve, chaque bassin versant a une dynamique différente et n'est pas impacté de la même manière (Fig. 1). Le but est de trouver un management adapté pour être le plus efficace dans la gestion des cours d'eau.

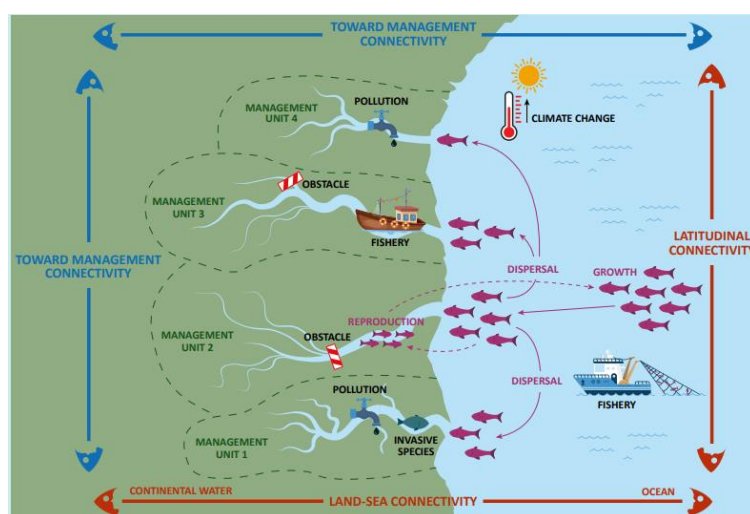


Figure 1 : Le cycle de vie complexe des espèces diadromes nécessite des mesures de gestion spécifiques (DiadES, 2023)

Chaque espèce a un état global et une tendance évolutive fixés par la cellule migrateurs Charente Seudre (CMCS) à partir des indicateurs validés lors d'un groupe de travail annuel qui rassemble des partenaires scientifiques et techniques (l'office Français de la biodiversité, la fédération départementale des associations agréées de pêche et de protection des milieux aquatique ...). Le tableau de bord de chaque espèce (Fig. 2) est constitué de 3 items généraux « Population », « Prélèvements par la pêche » et « Milieu et continuité ». De plus, il comprend un item spécifique intitulée « Variables générales » qui se concentre sur l'état du milieu.

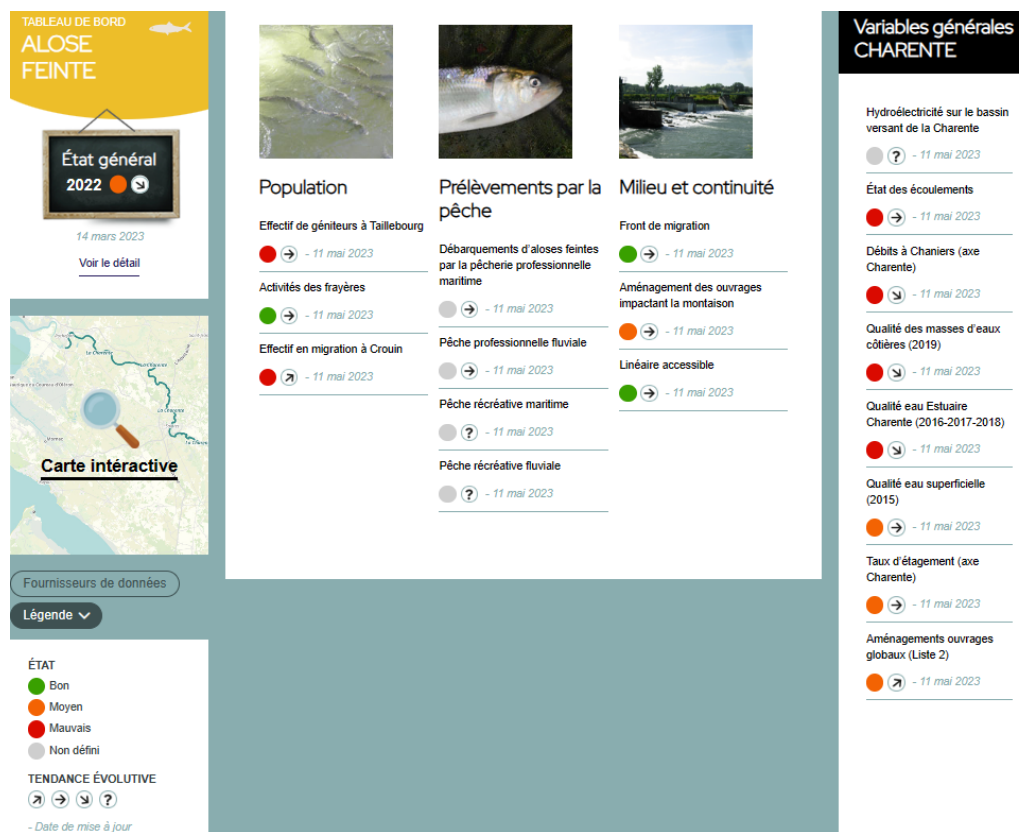


Figure 2 : Présentation d'un Tableau de bord pour l'Alose feinte sur le site web de la CMCS, ©Cellule migrateurs Charente-Seudre

Chaque item contient plusieurs indicateurs. Dans la catégorie « Variables générales », on trouve des indicateurs relatifs aux débits, à la qualité des eaux côtières et de l'estuaire, des états des écoulements... La catégorie « Population » fournit des informations sur les effectifs et les activités des populations de poissons migrateurs. Quant à la catégorie « Prélèvements par la pêche », elle présente des informations sur la pêche maritime et fluviale. Enfin, la catégorie « Milieu et continuité » comprend des informations tel que l'avancement des aménagements d'ouvrages et l'accessibilité des poissons migrateurs à ces ouvrages. Les indicateurs sont créés à partir de données historiques, ou de seuils basés sur des publications scientifiques. Ils sont classés dans trois catégories « Mauvais, Moyen, Bon ». Pour chaque indicateur, différents calculs permettent de les classer dans une des trois catégories. Les descripteurs n'ont pas de seuils ou de valeurs de références, ils sont là pour donner des informations complémentaires et sont classés dans la catégorie « Non défini ». Ils peuvent ainsi aider à interpréter les indicateurs et permettre au mieux la compréhension de l'état des populations et du milieu. Les tendances évolutives peuvent être en augmentation, stable, en

diminution ou indéterminées lorsqu'il manque des informations. Elles sont fixées à partir de la base de données des 5 dernières années. Le tableau de bord est consultable sur le site web : www.migrateurs-charenteseudre.fr. Cette étude vise à élaborer un nouvel indicateur en se basant sur les variations de l'oxygène dissous et de la température de l'eau pour évaluer l'état des populations d'aloses, en particulier l'alose feinte et la grande alose.

2. Les aloses et les concentrations d'oxygène dissous

1. Les aloses

La plupart des populations d'aloses françaises ont vu leurs effectifs décliner depuis le début du 21ème siècle (Tentelier *et al.*, 2021). Les aloses appartiennent au genre *Alosa* de la famille des Clupéides et de l'ordre des Clupéiformes (Elie & Baglinière, 2000). Bien qu'elles partagent de nombreuses caractéristiques, il existe suffisamment de différences biologiques et génétiques entre la grande alose et l'alose feinte pour les considérer comme deux espèces distinctes. Ces différences comprennent la morphologie, le comportement, la génétique et la distribution géographique (Alexandrino *et al.*, 2006). La distinction entre la grande alose et l'alose feinte repose sur des caractéristiques spécifiques. La grande alose peut atteindre une taille maximale de 70 cm, tandis que l'alose feinte a une taille maximale de 55 cm (Taverny & Elie, 2001). De plus, la différence se remarque également au niveau du nombre de branchiospines, qui s'élève entre 90 et 160 pour la grande alose, tandis que l'alose feinte en possède entre 30 et 60 (Spillman, 1961). La migration des aloses varie en fonction des conditions environnementales. En dessous d'un seuil thermique situé entre 10 et 11°C, la migration est fortement ralentie, voire stoppée. La migration des géniteurs de la grande alose vers les zones de fraie se déroule de février à juin en France, tandis que pour l'alose feinte, elle est plus tardive (Fig. 3), s'étalant entre mars et juillet (Elie & Baglinière, 2000).

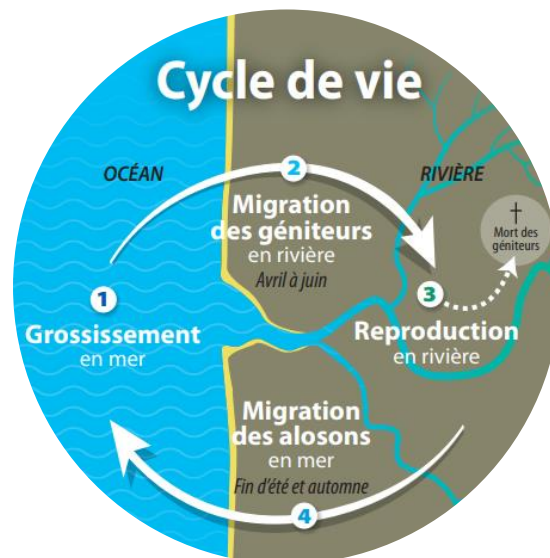


Figure 3 : Cycle biologique de l'Alose feinte (©Cellule migrateurs Charente Seudre)

Les périodes de migration varient également en fonction des zones géographiques, avec une migration plus précoce vers le sud et plus tardive vers le nord. La grande alose est une espèce sémelpare, ce qui signifie qu'elle meurt après la reproduction, bien qu'il puisse y avoir des exceptions. Après la reproduction, les géniteurs de grande alose subissent une forte altération musculaire et présentent de faibles teneurs en lipides et protéines, témoignant de leur extrême détérioration physiologique (Bengen, 1992). En revanche, l'alose feinte est une espèce itéropare, capable de se reproduire plusieurs fois au cours de sa vie. Les œufs pondus par les aloses éclosent après 4 à 5 jours à 20°C, et les larves se métamorphosent environ 20 jours après l'éclosion. Les juvéniles, appelés alosons, restent au moins 3 mois en eau douce avant de descendre vers l'estuaire, où ils ne séjournent en moyenne que 13 jours avant d'aller en mer (Lochet, 2006). La période de dévalaison s'étend de mi-mai à mi-septembre pour les géniteurs survivants et les juvéniles (Elie & Baglinière, 2000). La dévalaison est plus longue chez la grande alose entre 3 à 6 mois que pour l'alose feinte entre 1 à 2 mois (Taverny, 1991).

2. L'oxygène dissous et les aloses

Les aloses, sont au centre de cette étude en raison de leur sensibilité aux conditions environnementales difficiles telles que les faibles concentrations d'oxygène dissous (OD) et les fortes températures (Boisneau *et al.*, 2008 ; Charles & Jatteau, 2010 ; Jatteau & Fraty, 2012 ; Baumann *et al.*, 2021). L'hypoxie dans le milieu aquatique fait référence à une condition où la concentration d'OD dans l'eau est insuffisante pour soutenir les organismes aquatiques (Díaz & Breitburg, 2009). Cette situation peut survenir en raison de divers facteurs tels que la décomposition de la matière organique, la prolifération d'algues ou de plantes aquatiques, la pollution, les changements dans les conditions météorologiques ou la stratification de l'eau. Lorsque les niveaux d'oxygène dissous chutent en dessous d'un seuil critique, cela peut entraîner des effets néfastes sur les organismes aquatiques, y compris la mortalité des poissons, des invertébrés et d'autres espèces sensibles. De plus, l'hypoxie peut perturber les écosystèmes aquatiques en modifiant les interactions biologiques et la composition des espèces présentes (Díaz & Rosenberg, 2008). Le réchauffement climatique, devrait avoir une répercussion négative sur la qualité de l'eau, car il entraîne une réduction de la solubilité de l'oxygène et augmente la respiration des organismes (Bendtsen & Hansen, 2013). Les périodes de chaleur intense, les sécheresses et la multiplication des zones hypoxiques sur de plus grandes étendues géographiques et pour des durées plus longues sont considérées comme une menace majeure pour les années à venir en particulier pour les poissons migrateurs (Alabaster & Gough, 1986 ; Hrycik *et al.*, 2017). La tolérance des poissons aux conditions hypoxiques varie en fonction de l'espèce, de l'âge et des facteurs environnementaux tels que le niveau d'alimentation et la température (Person-Le Ruyet, 1986). Pour préserver toutes les espèces de poissons résidentes et migratrices tout au long de l'année, il est recommandé d'avoir une concentration minimale d'oxygène dissous de 5 mg/L (Breitburg, 2002 ; Taverny *et al.*, 2009). En estuaire, un autre phénomène qui peut se produire est la formation d'un bouchon vaseux. Ce phénomène est influencé par des paramètres tels que le débit, la température, la turbidité et le coefficient

de marée. Le bouchon vaseux, constitué de particules fines, obstrue les fonds et peut causer des lésions aux branchies des poissons (Veyssy, 2019). L'oxygène dissous est l'un des paramètres physico-chimiques de la qualité de l'eau qui doit être pris en compte pour définir le "bon état écologique" selon les règles de l'Union européenne (Schmidt *et al.*, 2019).

3. Objectifs

Cette étude vise à créer un indicateur permettant d'évaluer l'impact de la teneur en oxygène dissous sur les aloses dans le but de faciliter la prise de décision concernant leur santé, en se concentrant spécifiquement sur les aloses présentes dans la Charente. Les données relatives à l'oxygène dissous (OD) et à la température du fleuve pour les années 2021 et 2022 seront utilisées pour cette étude. De plus, une comparaison des variations de la concentration en OD et de la température sera effectuée entre deux fleuves, la Seudre et la Charente, bien que ces données ne soient pas spécifiquement liées à la dévalaison des aloses. L'indicateur proposé permettra de déterminer le nombre de jours pendant lesquels les températures et la concentration d'oxygène se situent dans les différents seuils définis pendant la période de dévalaison des aloses. L'objectif est de mettre en évidence le nombre de jours favorables à la dévalaison des aloses, leur permettant ainsi de migrer sans impact négatif sur leur santé. Cette étude tachera de répondre aux questions suivantes: Comment l'indicateur proposé peut-il contribuer à améliorer le tableau de bord existant pour les poissons migrateurs, en particulier pour les aloses ? Quelles nouvelles informations seront disponibles grâce à cet indicateur et comment peuvent-elles soutenir la prise de décision en matière de gestion et de conservation des poissons migrateurs ?

II. Matériel et Méthodes

1. Site d'étude

La Charente, un fleuve long de 365 km, se jette dans la Baie de Marennes-Oléron. L'estuaire de la Charente s'étend sur une longueur de 50 km et se termine au premier barrage à Saint-Savinien (Toublanc *et al.*, 2014). En ce qui concerne le fleuve Seudre, qui s'étend sur 71 km, son estuaire mesure 21 km et prend fin à la limite amont de salure des eaux, au barrage de Ribérou à Saujon (CMCS, 2021). Le bassin versant de la Charente couvre une superficie de 10 550 km², tandis que celui de la Seudre s'étend sur 780 km². Ces deux fleuves se trouvent sur les côtes françaises de la Nouvelle-Aquitaine. Le bassin versant de la Charente abrite plusieurs espèces de poissons migrateurs amphihalins, notamment le saumon Atlantique, la truite de mer, les deux espèces d'aloses la grande et la feinte, l'anguille européenne ainsi que deux espèces de lamproies la marine et la fluviatile. Le territoire accueille également d'autres migrateurs moins connus car moins étudiés, tels que le mulot porc (*Liza ramada*), le flet commun (*Platichthys flesus*) et l'éperlan d'Europe (*Osmerus eperlanus*). Dans le bassin de la Seudre, les poissons migrateurs comprennent l'anguille européenne, le

mulet porc et le flet commun. Ces deux fleuves présentent des dynamiques différentes, la Seudre s'étendant beaucoup moins loin que la Charente et a des débits plus faibles. En 2022, le débit moyen de la Seudre à Saint-André-de-Lidon (40km de l'océan) était de 0,363 m³/s, tandis que celui de la Charente à Chaniers (75km de l'océan) était de 32,034 m³/s, (Fig. 4). En raison de son débit relativement faible, la Seudre n'attire pas suffisamment les poissons migrateurs tels que les aloses, les lamproies et les salmonidés. La Seudre est principalement influencée par la marée, avec l'infiltration de l'eau de mer sur plusieurs kilomètres qui se disperse dans les marais salés. Selon Toublanc *et al.*, (2016), l'estuaire de la Charente est un système très turbide, avec des niveaux de turbidité maximale se situant généralement entre l'embouchure de la rivière et le secteur de Rochefort, situé à environ 20 à 30 kilomètres en amont. L'étude de ces fleuves est intéressante car ils sont sujets à la formation de bouchons vaseux et à l'hypoxie, ce qui aura un impact sur les poissons migrateurs qui colonisent ces deux cours d'eau. Ces informations soulignent la nécessité de créer un indicateur d'oxygène afin de mettre en évidence ces différents phénomènes qui auront un impact croissant dans les années à venir.



Figure 4 : Présentation des bassins versants de la Charente et de la Seudre (Production personnelle, source : Open Street map, données personnelles, CMCS), cartographie réalisée à partir du logiciel Qgis Desktop 3.30.1.

2. Acquisition des variables environnementales

Afin d'évaluer le degré d'hypoxie, les données provenant de la sonde située à Tonnay-Charente en Charente-Maritime, à environ 25 km de la mer, ainsi que celles de la sonde à l'Eguille sur la Seudre, à environ 17 km de la mer, ont été utilisées. Ces deux sondes font partie du réseau de sondes [MAGEST \(u-bordeaux.fr\)](http://u-bordeaux.fr), qui comprend 10 sondes en Garonne-Dordogne, ainsi qu'une sonde sur la Seudre et une sur la Charente. Ce réseau permet la surveillance de la qualité de l'eau des estuaires nord-aquitains. Les deux sondes charentaises utilisent le même modèle, WiMo+ de la marque NKE (Fig. 5), et ont été installées en 2020. Les données exploitées dans notre étude concernent les années 2021 et 2022. Les paramètres physico-chimiques mesurés, tels que la température (°C), la salinité (g/L), la turbidité (NTU) et l'oxygène dissous (mg/L), ont été enregistrés. À Tonnay-Charente, la sonde Magest a été installée par l'EPTB Charente à une profondeur d'environ 50 cm à 1 mètre d'un ponton au bout d'une perche immergée. À l'Eguille sur la Seudre, la sonde a été placée par le Syndicat Mixte du Bassin de la Seudre (SMBS) à environ 90 cm du fond. Les données sont collectées toutes les 15 minutes, et une moyenne par jour a été réalisée à partir des données collectées afin d'obtenir une valeur journalière. Cependant, il convient de noter que les données de la sonde située à l'Eguille sur la Seudre ne seront utilisées que pour une comparaison entre les deux sites et ne contribueront pas à la construction de l'indicateur, puisque les aloses ne remontent pas la Seudre. Ils serviront à fournir une observation supplémentaire sur les conditions environnementales.



Figure 5 : Photographies prise lors du nettoyage de la sonde Wimo sur la Charente à Tonnay-Charente (@Lise-Andro)

Les données recueillies vont du 1er janvier 2021 au 31 décembre 2022 pour les deux sondes. Il y a cependant un manque de données pour certains jours : 6 et 19 jours manquants en 2021 et 2022 pour la Charente, et 7 jours manquants en 2022 pour la Seudre. Ces jours ont été exclus de l'analyse statistique et pour la construction de l'indicateur une catégorie est prévue pour les données manquantes.

3. Construction de l'indicateur

L'étude ne présente pas l'impact de l'hypoxie sur les géniteurs, car leur montaison a lieu entre mars et début juillet. Pendant cette période, les épisodes d'hypoxie sont plus rares, et les adultes sont généralement plus tolérants que les juvéniles aux faibles concentrations d'oxygène dissous (com. pers. P. Jatteau). C'est pourquoi l'indicateur d'oxygène est construit sur la période de dévalaison des juvéniles, mais il peut être adapté aux autres stades si nécessaire. Seules les données d'OD et de température ont été prises en compte pour la construction de l'indicateur. D'après Elie et Baglinière, 2000, la dévalaison des juvéniles a lieu entre mi-mai et mi-septembre. Le principe de précaution a été appliqué pour déterminer la période de dévalaison optimale, en prenant en compte la variabilité interannuelle des conditions environnementales. C'est pourquoi la période de dévalaison des juvéniles d'alose pour la Charente a été fixée entre le 15 mai et le 15 octobre. Cette période a été choisie en se basant sur les informations disponibles de la CMCS (Fig. 6) et sur les références bibliographiques.

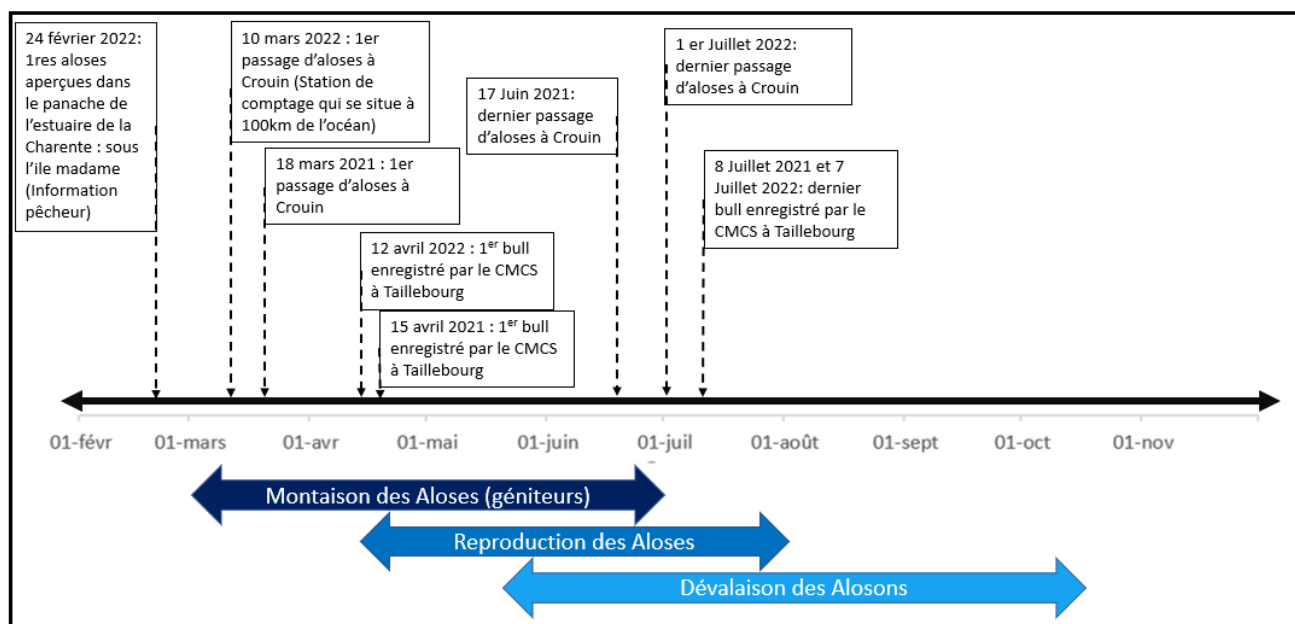


Figure 6 : Frise chronologique sur les différentes périodes d'études et informations clés associées, *un bull est l'acte de reproduction des alose où elles effectuent un mouvement circulaire.

Les seuils théoriques permettant d'évaluer le niveau d'hypoxie dans l'eau et de définir les différentes catégories de l'indicateur, à savoir « Mauvaise », « Moyenne » et « Bonne », ont été établis en se basant sur différents documents de référence tels que Taverny *et al.*, (2009), Jatteau & Fraty (2012) et Collin & Rochard (2012). Les seuils ont été en partie inspirés du Tableau 2 de Taverny *et al.*, (2009). Il a été créé pour surveiller la tolérance des poissons en prenant en compte plusieurs paramètres tels que l'oxygène et la température. Cependant, dans cette étude, l'effet synergique entre l'oxygène et la température n'est pas pris en compte. L'oxygène dissous et la température sont considérés séparément. Ce tableau donne une idée générale des conditions globales et des niveaux de tolérance des espèces de poissons.

Tableau 2 : Grille de proposition pour la surveillance et le classement de la qualité des masses d'eau de transition Française en oxygène dissous, température pour les poissons. (Taverny et al., 2009)

Classes	Oxygène	Température (°C)	
	OD mg.L ⁻¹	Estuaire	Lagune
Très bonne	≥ 7	< 20	< 22
Bonne	< 7 et ≥ 5	≥ 20 et < 23	≥ 22 et < 25
Moyenne	< 5 et ≥ 3	≥ 23 et < 28	≥ 25 et < 30
Médiocre	< 3 et ≥ 2	≥ 28	≥ 30
Mauvaise	< 2		

Pour préciser les seuils de l'indicateur, ils ont été ajustés à partir d'autres études, en se basant notamment sur l'article de Jatteau & Fraty (2012) qui porte sur les juvéniles de Grande Alose. Les auteurs ont menés des expériences en enceintes fermées à 20 et 25°C où la concentration d'oxygène était progressivement diminuée. D'après l'étude, la tolérance des juvéniles de grande alose à l'hypoxie semble plus importante à 20°C qu'à 25°C, avec des critères d'apparition plus restrictifs à 25°C. En outre, Collin & Rochard (2012) ont également créé un indicateur oxygène pour le développement d'un tableau de bord de la grande alose du bassin Gironde-Garonne-Dordogne. Cependant, leurs seuils du Tableau 3 sont eux aussi adaptés de la publication de Jatteau & Fraty (2012) en fonction des expériences à 25°C sur les juvéniles de Grande Alose.

Tableau 3 : Proposition de seuils pour évaluer l'hypoxie sur la dévalaison des Alosons (Collin et Rochard, 2012)

Seuils d'oxygène dissous à 25°C	Catégories
> 5,8 mg.O ₂ .L ⁻¹	Pas d'hypoxie, concentration d'oxygène viable
[4,31-5,8 mg.O ₂ .L ⁻¹]	Hypoxie modérée
[3,31-4,3 mg.O ₂ .L ⁻¹]	Hypoxie prononcée
[0-3,3 mg.O ₂ .L ⁻¹]	Hypoxie Létale

Collin & Rochard (2012) ont utilisé le principe de précaution en prenant des conditions environnementales très chaudes et les ont appliquées sur toute la période de dévalaison fixée du 15 juillet au 31 octobre. Leurs seuils ne prennent en compte qu'une seule température : 25°C. Après une étude bibliographique approfondie et des échanges avec M. Jatteau de l'INRAE Cestas (com. pers.), de nouveaux seuils ont été établis pour la construction de l'indicateur (Tableau 4). Ces seuils prennent en compte les variations de la température et des concentrations d'oxygène dissous dans l'eau, ainsi que l'effet synergique résultant de l'interaction entre ces deux variables. L'indicateur repose sur le nombre de jours attribués à chaque catégorie, en prenant en compte l'impact combiné de l'oxygène et de la température.

Tableau 4 : Proposition de seuils pour la création de l'indicateur oxygène sur la dévalaison des Alosons

Seuils	Oxygène dissous (mg/L)	Température (°C)
Bon	Supérieur à 4 mg/L	Entre 0 à 25°C
Moyen	Inférieur ou égal à 6 mg/L	Supérieure ou égale à 20°C
Moyen	Inférieur ou égal à 4 mg/L	Inférieure à 20°C
Mauvais	Inférieur ou égal à 3,3 mg/L	Supérieure ou égale à 20°C
Mauvais	Inférieur ou égal à 2 mg/L	Inférieure à 20°C
Données manquantes	Pas de seuils définis	Pas de seuils définis

En l'absence de données spécifiques, il est courant d'adapter les seuils en se référant à la littérature scientifique ou à d'autres sources pertinentes. Cette approche permet de pallier le manque de recul sur les conditions environnementales passées et de fournir des indications utiles malgré les limitations liées aux données. Les jours où les données sont manquantes, sont laissés sans informations et classés dans la catégorie « Données manquantes ». L'indicateur a été construit en utilisant les logiciels R Studio et Excel. Les seuils sont représentés graphiquement dans la Fig. 7. Il convient de noter que les valeurs d'oxygène supérieures à 8 mg/L ne sont pas représentées dans cette figure, mais sont classées dans la catégorie « Bonne ».

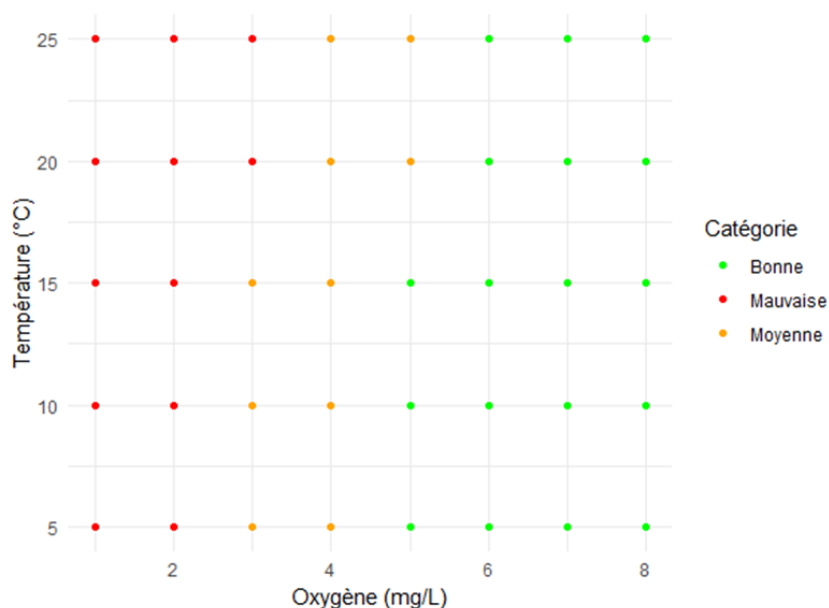


Figure 7 : Proposition de seuils pour la création de l'indicateur oxygène sur la dévalaison des Alosons

Il est important de noter que les niveaux d'oxygène peuvent avoir diverses conséquences sur les aloses, entraînant des réponses comportementales et physiologiques telles que la dispersion du banc, l'arrêt de la migration ou des altérations du comportement de nage, une perte d'équilibre et, dans certains cas, la mortalité (Person-Le Ruyet, 1986 ; Jatteau & Fraty, 2012). Les effets à long terme des variations d'oxygène

dissous ne seront pas abordés ici, car ils sont encore peu connus. La construction finale de l'indicateur repose sur le nombre de jours dans chaque catégorie en fonction des concentrations d'oxygène dissous relevées et de la température de l'eau pendant toute la période de dévalaison. Pour simplifier le calcul de l'état global de l'indicateur, seul le nombre de jours classé dans la catégorie « Bonne » est pris en compte. La catégorie « Bonne » correspond à une dévalaison réalisée dans de bonnes conditions pour les alosons. Le coefficient est calculé en divisant le nombre de jours « Bon » par le nombre total de jours de dévalaison. Si le coefficient est supérieur à 0,6, l'état de l'indicateur est considéré comme Bon. S'il se situe entre 0,4 et 0,6, l'état est moyen, et s'il est inférieur à 0,4, l'état est mauvais. De plus, le nombre de jours consécutifs classés comme la catégorie « mauvaise » peut être pris en compte lors de la décision de l'état de l'indicateur. Il convient de noter que certaines années présentent des lacunes de données en raison de problèmes techniques liés à la sonde. Si le nombre de jours sans données est trop élevés, les résultats de l'année ne seront pas exploitables pour déterminer l'état de l'indicateur. Cet indicateur sera classé comme un descripteur, fournissant simplement des informations complémentaires lors de la prise de décision sur l'état de la population. Pour la construction d'une tendance, elle nécessite une base de données historiques solide, ce qui implique de recueillir des données sur une période plus longue. Une fois que suffisamment de données historiques auront été obtenues, il sera alors possible de développer une tendance afin d'analyser les évolutions temporelles.

4. Traitements statistiques

L'analyse graphique et statistique des résultats a été réalisée à partir des logiciels Excel et R Studio version 2023.03.0 (associé au logiciel R, version 4.2.3). Dans un premier temps, les résultats bruts de 2021-2022 ont été analysés par comparaison de moyennes et observations graphiques pour comprendre l'interaction entre les variables. Des tests de Shapiro-Wilk ont été utilisés pour tester la normalité des données, puis l'ANOVA par rang (Kruskall-Wallis) fut utilisée pour tester les différences entre les sites et les années. Le seuil de significativité utilisé pour l'ensemble des tests statistiques est $p < 0,05$. Egalement, une matrice de corrélation a été construite à partir de la méthode de Spearman pour comparer les variables environnementales (turbidité 'NTU', oxygène dissous 'mg/L', température '°C', salinité 'g/L') entre elles, pour les données de Charente 2022.

III. Résultats

L'impact de l'hypoxie sur la Seudre est d'une plus grande ampleur que sur la Charente avec 16,5% des données de l'année 2022 se situant en dessous de 2 mg/L (hypoxie). Alors que pour la Charente cela représente 4,6% des données 2022. En comparaison, aucune journée en dessous du seuil hypoxique de 2 mg/L n'a été enregistrée pour la Charente en 2021, tandis que cela représentait environ 5,3% des jours observés dans la Seudre 2021. Les données de 2022 ont révélé des valeurs d'OD qui sont même descendues

en dessous de 1 mg/L à certains moments dans la Seudre, atteignant des niveaux anoxiques de 0,03 mg/L. En revanche, aucune valeur en dessous de 1 mg/L n'a été enregistrée pour la Charente en 2021 et 2022. Ces résultats soulignent la sensibilité accrue de la Seudre aux périodes d'hypoxie et d'anoxie (Fig. 8). Étant donné que la Seudre est colonisée par l'anguille européenne, l'évaluation de l'indicateur d'oxygène aurait également un intérêt particulier pour évaluer son impact sur cette espèce. Cette question sera abordée plus en détail dans la section dédiée à la discussion.

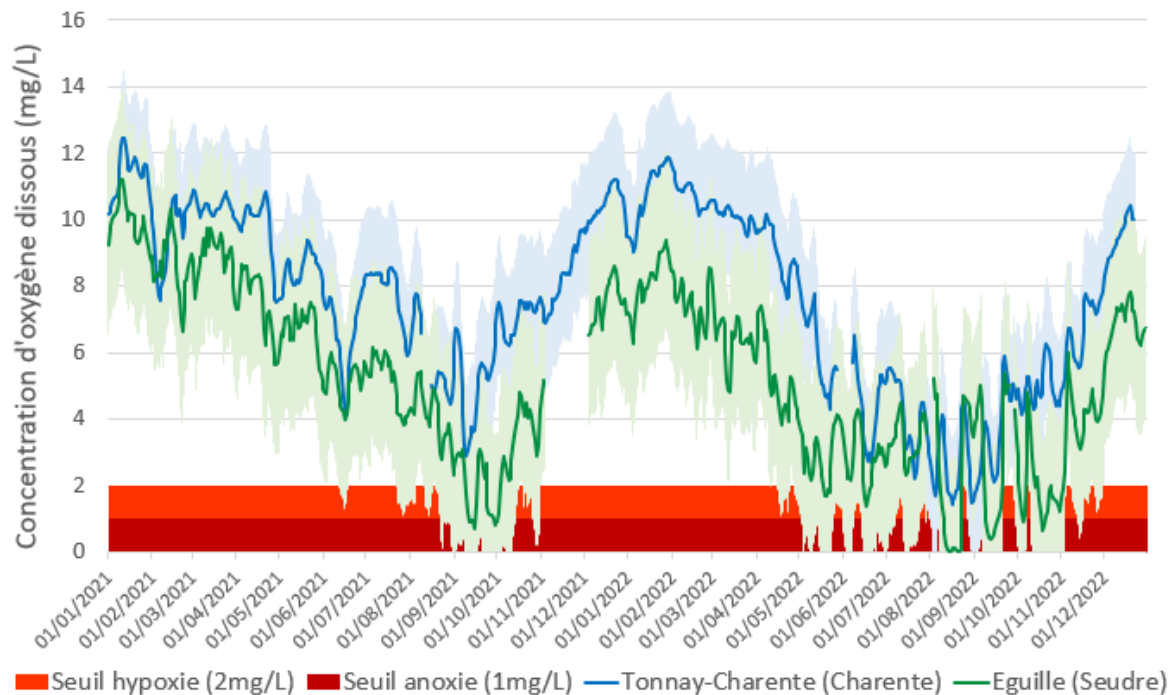


Figure 8 : Les concentrations d'oxygène dissous pour la Seudre et la Charente sur la période 2021 et 2022, les barres d'erreur représentent l'écart type des données.

L'analyse des données a révélé que les variables étudiées ne suivent pas une distribution normale d'après le test de Shapiro-Wilk. Par conséquent, l'utilisation de l'ANOVA par rang (Kruskal-Wallis) a été jugée appropriée, étant une alternative non paramétrique adaptée. L'application de l'ANOVA par rang a permis d'observer les différences significatives entre les concentrations d'oxygène dans la Seudre et la Charente pour l'année 2022, tandis qu'aucune différence significative n'a été observée en ce qui concerne les valeurs de température de l'eau. Une différence significative entre les groupes a été constatée pour les variables oxygène et température entre les années 2021 et 2022 pour la Charente. L'analyse comparative des deux sites a également permis d'appliquer les seuils choisis, mettant en évidence l'influence de la structure du fleuve sur les résultats.

Dans un second temps, une matrice de corrélation (Fig. 9) utilisant la méthode de Spearman a été appliquée afin d'évaluer les associations entre les variables environnementales suivantes : température (°C), oxygène (mg/L), turbidité (NTU), et salinité (g/L) pour la Charente en 2022. La corrélation de Spearman entre l'oxygène et la température a révélé un coefficient de -0,92, indiquant une forte corrélation négative entre

ces deux variables. Cette corrélation suggère qu'il existe une relation systématique entre la quantité d'oxygène dissous et la température de l'eau. En effet, lorsque la température augmente, la quantité d'oxygène dissous a tendance à diminuer de manière significative, ce qui est cohérent avec les observations faites dans de nombreux écosystèmes aquatiques. La Figure 10 met en évidence graphiquement la relation entre la température et l'oxygène sur la Charente 2022. Cette relation est d'une importance particulière pour la construction de l'indicateur d'hypoxie, car non seulement la température et l'oxygène sont corrélés, mais ils ont également des effets synergiques sur les organismes vivants. Par exemple, à mesure que la température augmente, le métabolisme des organismes aquatiques s'intensifie, ce qui entraîne une demande accrue d'oxygène.

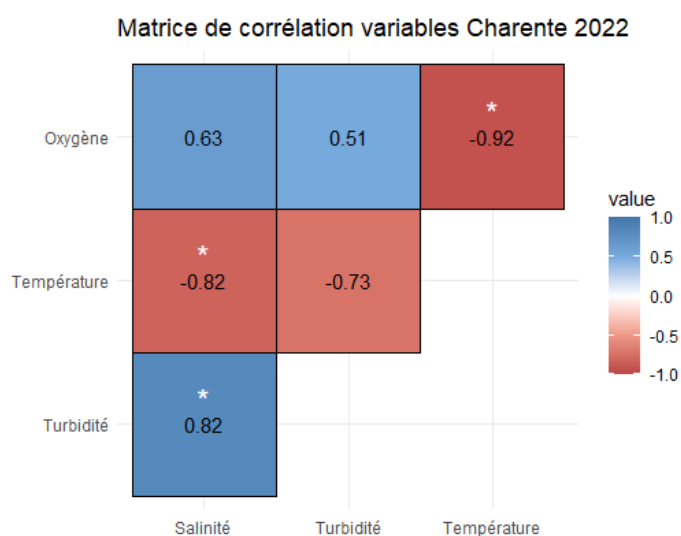


Figure 9 : Matrice de corrélation avec les variables environnementales Charente 2022, turbidité (NTU), salinité (g/L), oxygène dissous (mg/L), température (°C), * valeur avec une différence significative de 0,05 et ** valeur avec une différence significative de 0,01

L'oxygène présente aussi une corrélation positive de 0,62 avec la salinité et une corrélation positive plus faible de 0,51 avec la turbidité mais qui n'est pas significatif. Ces résultats suggèrent une relation moins prononcée de l'oxygène avec la salinité et la turbidité, ces deux variables ne seront donc pas prises en compte pour l'indicateur.

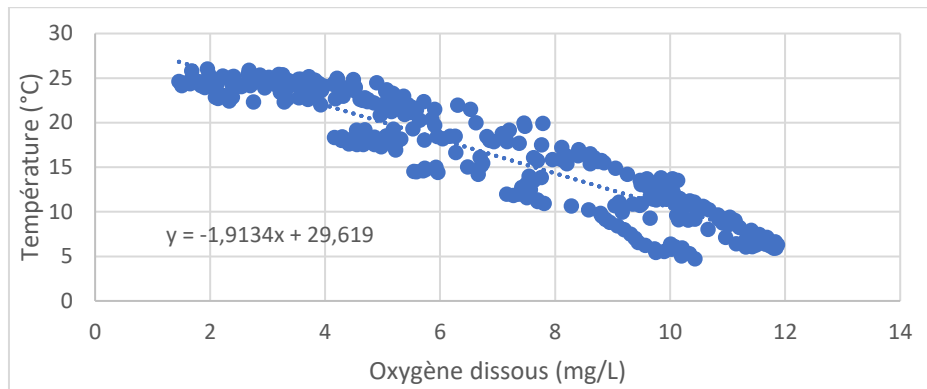


Figure 10 : Régression linéaire entre la température et l'oxygène pour les données de 2022 à Tonny-Charente

Après avoir classé chaque donnée en fonction des seuils correspondant à l'impact potentiel sur les aloses. Il est possible d'observer sur la Figure 11 que les valeurs classées comme mauvaises et moyennes correspondent à la plupart des valeurs de la période de dévalaison des aloses, caractérisée par des températures plus élevées et une concentration en oxygène plus faible.

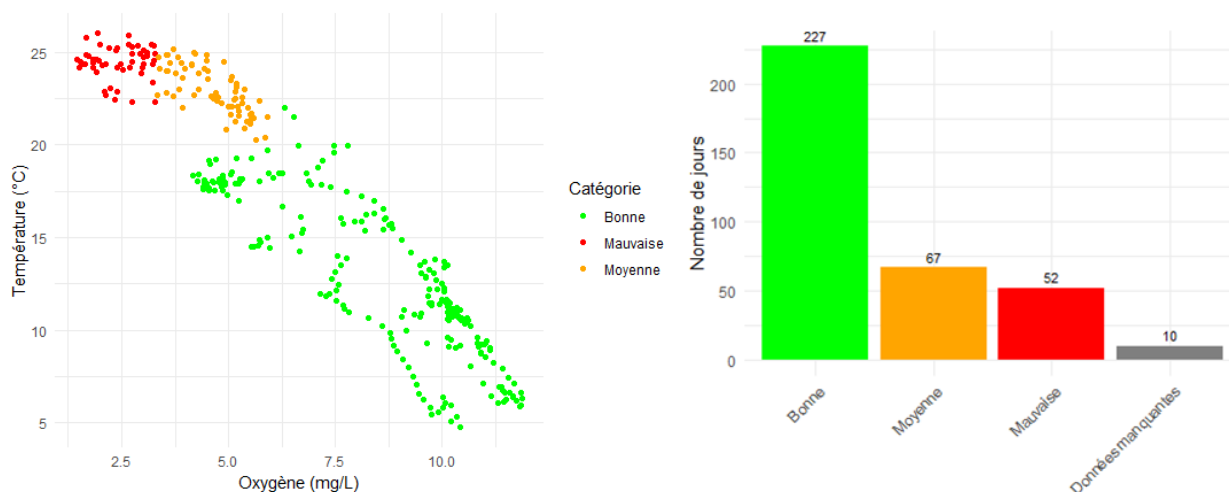


Figure 11 : Représentations graphiques de la température en fonction de l'OD et du nombre de jour dans chaque catégorie pour l'ensemble de l'année 2022, du 1 Janvier au 22 Décembre (Charente).

Un zoom a été réalisé sur les périodes de dévalaison pour 2021 et 2022 à Tonny-Charente sur la Charente. Les résultats ont permis d'observer le nombre de jours dans chaque catégorie pour les années 2021 et 2022. En ce qui concerne les valeurs relevées, il est essentiel de noter que très peu de jours offrent des conditions idéales pour la dévalaison des aloses en 2022. Selon les seuils choisis, certains jours peuvent même entraîner la mort de ces poissons. Dans notre étude, nous avons observé des valeurs inférieures à 2 mg/L d'OD, associées à des températures supérieures à 25°C (Fig. 12).

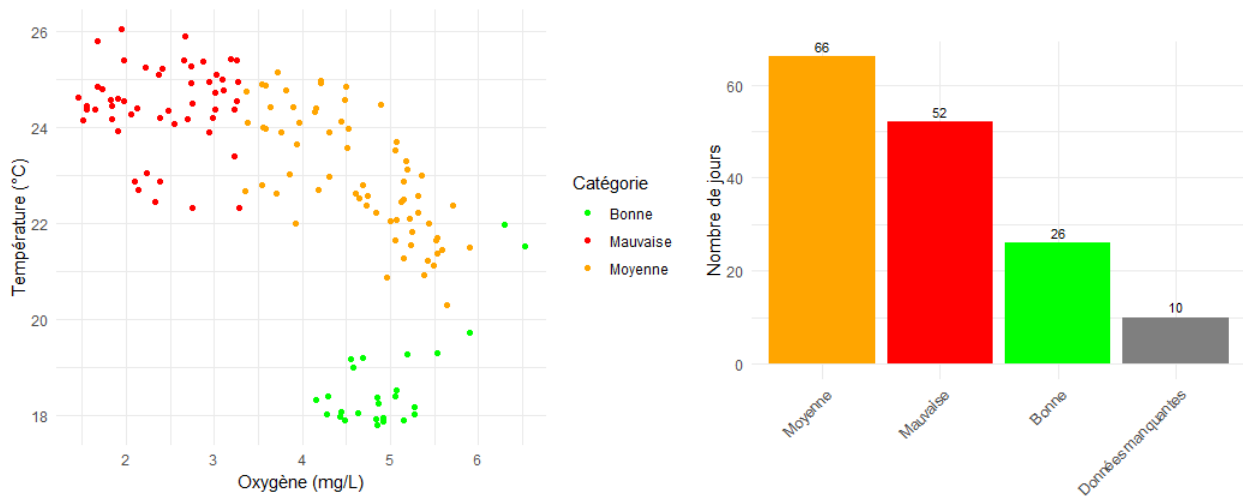


Figure 12 : Représentations graphiques de la température en fonction de l'OD et du nombre de jour dans chaque catégorie sur la période de dévalaison des alosons 2022, du 15 mai au 15 octobre (Charente).

Les années 2021 et 2022 se distinguent nettement l'une de l'autre. En 2022, la période de dévalaison est caractérisée par des températures élevées persistantes. Sur la période de dévalaison en 2022, il y a eu un grand nombre de jours classé dans la catégorie "Mauvaise". En revanche, en 2021, la période de dévalaison semble plus favorable à leur migration, avec seulement 4 jours classés dans la catégorie "Mauvaise", (Fig. 13).

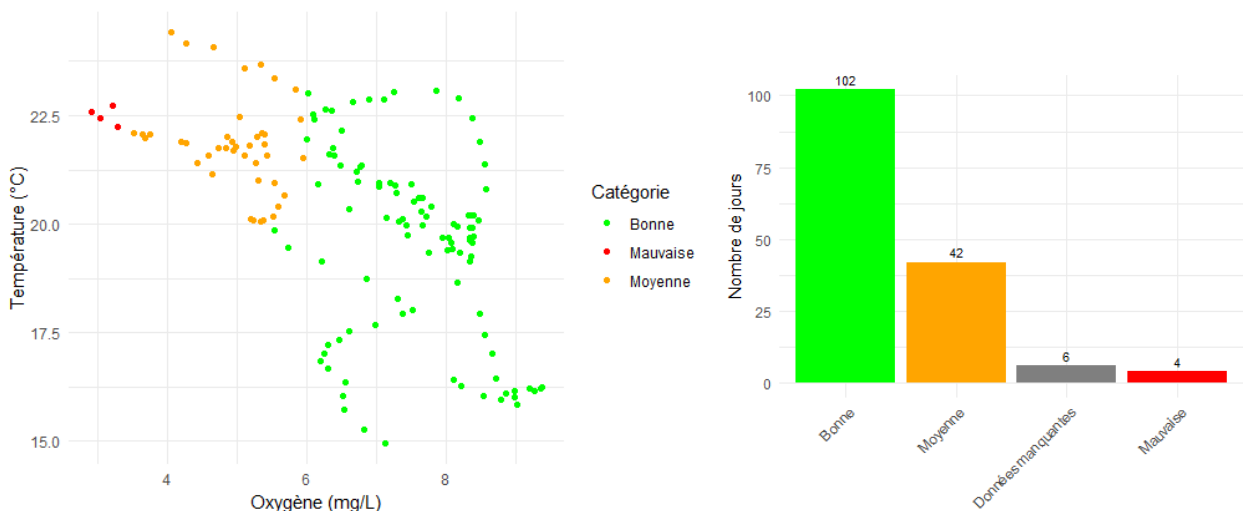


Figure 13 : Représentations graphiques de la température en fonction de l'OD et du nombre de jour dans chaque catégorie sur la période de dévalaison des alosons 2021, du 15 mai au 15 octobre (Charente).

Les graphiques en forme de Heatmap, Figure 14 et Figure 15, fournissent des informations détaillées sur l'ensemble de la période étudiée, offrant un aperçu quotidien des conditions environnementales. Ils permettent de prendre en compte à la fois le nombre de jours sous chaque seuil et la durée des périodes consécutives. Ces graphiques sont complétés par un tableau récapitulatif, le Tableau 5 vise à synthétiser ces informations et faciliter l'évaluation de la situation. En prenant en compte uniquement le nombre de jours

dans la catégorie « Bonne » sur le nombre total de jours possibles pour la dévalaison, cet indicateur semble être une représentation réaliste. D'après les résultats de la Figure 14, en 2022 pendant la période de dévalaison, il y a des périodes avec plusieurs jours consécutifs en dessous du seuil légal de 2 mg/L d'OD et au-dessus de 20°C.

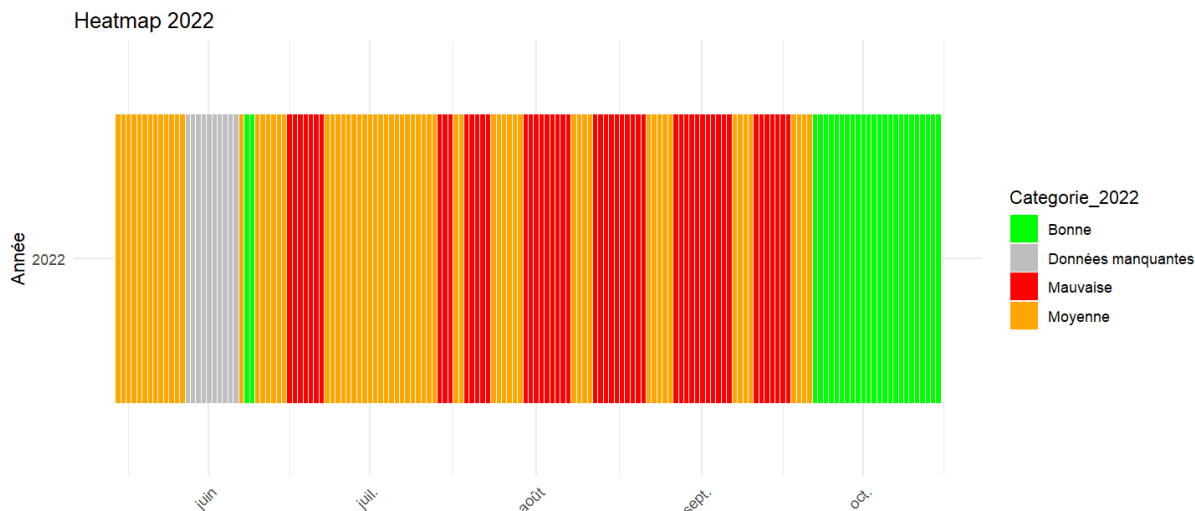


Figure 14 : Heatmap 2022 de la Charente, en fonction de la période de dévalaison 15 mai- 15 octobre et des seuils.

De plus, en 2022, la période pendant laquelle des effets tels que la dispersion du banc, l'arrêt de la migration, les altérations du comportement de nage, la perte d'équilibre et la mort se sont produits de manière consécutive s'étend du 10 juin au 21 septembre. Ainsi, l'année 2022 a eu un impact certain, direct ou indirect, sur la dévalaison des aloses. Il est donc essentiel de prendre en compte à la fois le court terme et le long terme, ainsi que le niveau d'hypoxie, pour établir un indicateur d'OD complet. Cela permettra de fournir une évaluation précise de la situation. Le Tableau 5 représente la tendance générale de l'indicateur, tandis que les heatmaps et autres graphiques fournissent des informations plus détaillées de la situation. En 2021, il y a eu un seul moment où les conditions étaient néfastes à la survie des aloses pendant la période étudiée (Fig. 15).

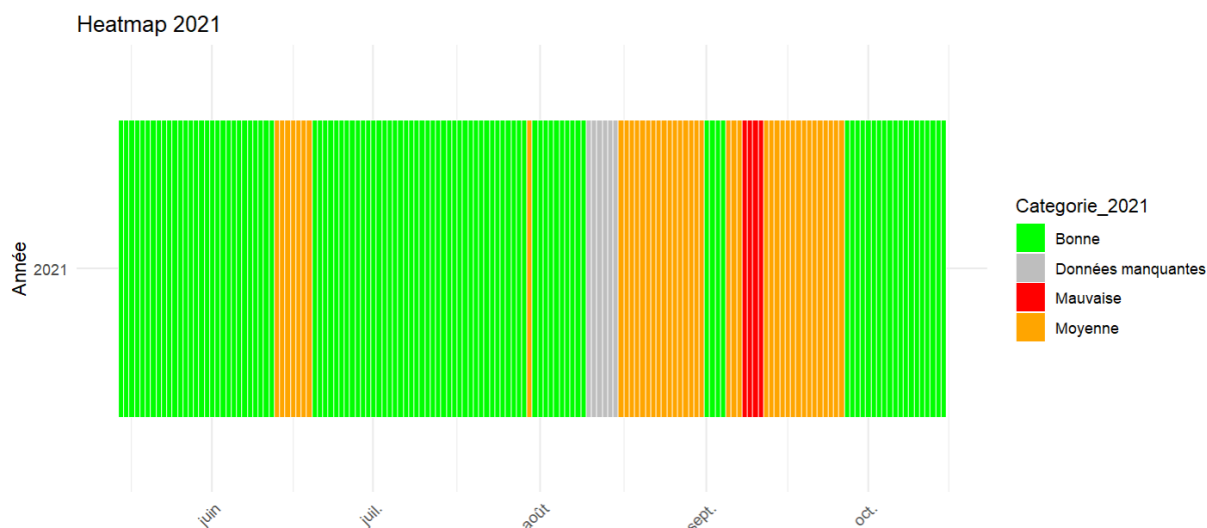


Figure 15 : Heatmap 2021 de la Charente, en fonction de la période de dévalaison 15 mai- 15 octobre et des seuils.

Le Tableau 5 fournit une classification de l'état de l'indicateur pour la dévalaison des aloses en 2021 et 2022. Selon ce classement, l'année 2021 est qualifiée de « Bonne » avec un pourcentage de temps optimal de 68,9%, dépassant le seuil de 60%. En revanche, l'année 2022 est classée comme « Mauvaise » car seulement 18,1% du temps correspond à des conditions optimales pour la dévalaison, ce qui est inférieur au seuil de 40%. Lorsqu'un pourcentage de temps optimal se situe entre 40 et 60%, l'année est qualifiée de « Moyenne ». Les seuils suivants supérieurs à 60%, entre 40% et 60%, et inférieurs à 40% ont été établis arbitrairement lors des réunions du groupe de travail, sur la base des avis d'experts. Ces seuils sont adaptés à partir d'un autre indicateur présent dans le tableau de bord Charente Seudre, intitulé « Impact de la température de l'eau sur les œufs et larves de grandes aloses ». Ce dernier calcul le nombre de jours propices à la survie des œufs et des larves.

Tableau 5 : Etat final de l'indicateur (Charente)

Espèce	Année d'actualisation	Nombre de jours avec une Température et l'OD optimale	Nombre maximum de jours avec une survie optimale	Comparaison au maximum de jours optimale (%)	Comparaison au maximum	Etat de l'indicateur
Aloses	2021	102	148	68,9	0,69	Bon
Aloses	2022	26	144	18,1	0,18	Mauvais

Le Tableau 5 permet de qualifier l'indicateur et fournira ainsi une information globale de la situation, afin de condenser les différentes données en une réponse claire et concise. L'objectif de l'état de l'indicateur est de fournir une vue d'ensemble simplifiée, sans entrer dans les détails spécifiques. En combinant tous ces indicateurs, il sera possible de donner un avis sur l'état de la population étudiée. Les indicateurs jouent un rôle essentiel dans la synthèse des informations et dans l'évaluation globale de la situation.

IV. Discussion

L'année 2022 est, à l'échelle de la France et notamment à l'échelle de la Charente, assez exceptionnelle d'un point de vue météorologique. Elle est marquée par des débits faibles et des températures élevées précocement dans la saison et plusieurs épisodes caniculaires importants. Lorsque les débits sont faibles, les masses d'eau se déplacent plus lentement, favorisant l'accumulation de sédiments boueux et réduisant l'oxygénation du milieu. Cela explique pourquoi, pendant les périodes chaudes de l'été, en particulier lorsque les coefficients de marée sont faibles sur la Seudre, on observe des concentrations d'oxygène très basses en 2022. L'augmentation de la température de l'eau et la diminution des débits fluviaux font partie des caractéristiques distinctives du changement global des écosystèmes côtiers et estuariens dans certaines parties du monde, et en particulier en France (Allain *et al.*, 2009). En 2022, les valeurs d'oxygène dissous ont atteint leur niveau le plus bas sur la Seudre, le 20/08/22 avec 0,026 mg/L d'OD, en raison, notamment, du faible débit 0,03 m³/s de la Seudre le 20/08/22. L'oxygénation du milieu est possible lors de la marée montante, car le barrage de Ribérou à Saujon retient l'eau douce. Ce phénomène est également observé dans la Charente, mais avec un impact moindre. Pour l'indicateur, pendant les périodes d'hypoxie en fin d'été (août-septembre), les aloses durant la dévalaison peuvent être piégés dans des zones hypoxiques et/ou des bouchons vaseux au niveau de l'estuaire de la Charente, entraînant leur mort. L'oxygène dissous est utilisé dans de nombreuses études comme indicateur, de l'eutrophisation par exemple, (Coffin *et al.*, 2018) mais également pour montrer le déclin de populations face à de faibles teneurs en oxygène. L'hypoxie est une menace pour de nombreuses espèces en particulier les juvéniles c'est pourquoi il est important de surveiller les teneurs en oxygène dissous dans le milieu (Hyvärinen *et al.*, 2022). Pendant la dévalaison, lorsque les juvéniles d'aloses migrent de l'eau douce vers l'océan, des conditions environnementales optimales sont essentielles pour assurer leur survie. Il convient de noter que le réchauffement climatique prévoit une augmentation des températures, ce qui pourrait rendre les conditions exceptionnelles de l'année 2022 de plus en plus fréquentes à l'avenir. Au vu des résultats, la relation entre l'oxygène et la température est indispensable à la construction de l'indicateur oxygène. D'après Baumann *et al.*, 2021, les effets synergiques de l'hypoxie et des températures élevées sur la survie des poissons sont confirmés chez les juvéniles d'aloses. L'augmentation de la température réduit la solubilité de l'oxygène dans l'eau, tandis que l'activité respiratoire et le taux métabolique des poissons augmentent, ce qui diminue les probabilités de survie. L'impact d'une diminution des concentrations en oxygène dans le milieu affecte le comportement de nage et la survie des juvéniles de tous les âges (Baumann *et al.*, 2021). Le but de l'indicateur est d'évaluer au mieux l'état de santé des populations et l'état du milieu d'accueil. D'après les résultats, il y a eu des valeurs inférieures à 2 mg/L d'oxygène dissous, associées à des températures supérieures à 25°C. Les conditions environnementales de 2022 sont encore plus préoccupantes que celles mentionnées dans l'étude de Jatteau & Fraty, 2012 où des valeurs inférieures à 3,3 mg/L d'oxygène à 25°C étaient déjà considérées comme létales pour les juvéniles d'aloses. Cet indicateur permet de classer les différentes années en fonction des

conditions environnementales du milieu. Il est à souligner que ces seuils peuvent être ajustés en fonction des observations et des connaissances spécifiques à chaque stade de développement des aloses. Il est important de prendre des précautions lors de l'interprétation des résultats de l'indicateur, car tous les seuils n'ont pas nécessairement été testés et approuvés. De plus, il faut garder à l'esprit que cet indicateur est basé sur des expériences en laboratoire, et que les seuils d'oxygène dissous et de température sont appliqués directement à l'environnement.

L'utilisation d'un tableau de bord est un outil essentiel pour la gestion et la restauration des poissons migrateurs amphihalins, mais il présente également des limites telles que la perte de précision due à la consolidation de l'information, la complexité de l'identification des seuils critiques, le décalage dans l'actualisation des données et la prise en compte de certains facteurs non disponibles (Fernandez, 2008). Malgré ces limites, les tableaux de bord et les indicateurs sont recommandés pour intégrer les préoccupations environnementales dans les politiques publiques. L'objectif principal du tableau de bord portant sur les poissons migrateurs est de fournir une vision globale de la situation en intégrant différents facteurs (Woillez & Rochard, 2003). Par la suite, cet indicateur pourra faire l'objet de modifications si de nouvelles informations deviennent disponibles. L'année prochaine, lors de la réunion du groupe de travail 2024 de la CMCS sur les tableaux de bord, l'indicateur sera présenté et discuté en vue de sa validation en tant qu'indicateur. Egalement, cet indicateur devait être mis en place dans l'étude pour l'anguille européenne. Cependant, suite à une discussion avec la chercheuse Valérie Bolliet de l'INRAE, qui travaille sur le stress chez la civelle (com. pers. Bolliet V.). Le projet a été annulé, pour l'instant, car l'anguille européenne se distingue par sa résistance, notamment sa capacité à respirer par contact cutané, la rendant plus robuste que les autres poissons migrateurs. La chercheuse a été contactée initialement afin d'explorer la possibilité de créer un indicateur permettant d'évaluer l'impact de la concentration d'OD sur la civelle, une forme juvénile de l'anguille européenne. L'objectif de cette démarche était d'améliorer l'évaluation de l'état de santé de la population d'anguille au fil du temps en utilisant l'oxygène comme un facteur essentiel pour sa survie. La mise en place d'un indicateur aurait permis de surveiller et de quantifier l'impact des niveaux d'oxygène sur la civelle, fournissant ainsi des informations précieuses pour la gestion et la conservation de ces espèces. Cependant, la création de cet indicateur est entravée par le manque d'informations sur la tolérance de la civelle à l'hypoxie. Pendant la montaison, la civelle ne s'alimente pas et est capable de réduire son métabolisme. Bien qu'il ait été suggéré qu'elle puisse entrer en torpeur lors de conditions difficiles, cette hypothèse n'a pas encore été scientifiquement prouvée. L'anguille européenne et sa forme juvénile, la civelle, est une espèce résistante et complexe. En raison du manque d'informations disponibles, cet indicateur n'a pas encore été mis en place dans le cadre de cette étude et la création de cet indicateur est actuellement prématurée.

En parallèle de la création de l'indicateur, j'ai également contribué à actualiser les tableaux de bords, à améliorer la présentation du tableau de bord et à créer des cartes interactives à l'aide d'une agence de création graphique. Pour actualiser le tableau de bord, j'ai participé activement à l'animation de la réunion du groupe de travail chargé de fixer les états des populations de poissons migrateurs en fonction des indicateurs préalablement mis à jour pour l'année 2022 (réunion du 14 mars 2023). En collaboration avec d'autres acteurs, tels que les fédérations de pêche et l'Office Français de la Biodiversité notamment, j'ai collecté et compilé des données sur les tendances démographiques et environnementales. Ces informations ont été intégrées au tableau de bord afin de refléter au mieux la situation actuelle des populations de poissons migrateurs. Pour la création des cartes interactives, elles reprennent les informations présentes dans le tableau de bord. Chaque pictogramme de la carte correspond soit à un indicateur, soit à un descripteur, voire à un témoignage. La carte permet aux utilisateurs de visualiser géographiquement les données disponibles pour chaque espèce. Elle résume les informations essentielles présentes dans le tableau de bord, offrant ainsi une meilleure sensibilisation et communication. Les internautes peuvent plus facilement visualiser l'état des populations de poissons migrateurs et accéder à toutes les données disponibles. En termes de réalisation technique, j'ai utilisé le logiciel Spip, qui est un système de gestion de contenu, pour l'actualisation des données. Cependant, il est prévu de migrer vers Wordpress, un autre système de gestion afin de bénéficier de fonctionnalités supplémentaires et d'améliorer la gestion et la diffusion de l'outil "Tableau de bord". En conclusion, mes travaux ont permis d'actualiser les indicateurs, d'améliorer le tableau de bord existant et de créer des cartes interactives. Ces actions contribuent à une meilleure gestion et diffusion des informations sur les poissons migrateurs, favorisant ainsi la prise de décision éclairée en matière de gestion et de conservation de ces espèces. (voir en annexe pour plus d'informations sur ce travail)

V. Conclusion

En conclusion, en 2021, il y a eu 102 jours favorables à la dévalaison sur 148, tandis qu'en 2022, il n'y a eu que 26 jours favorables sur 144. L'indicateur est classé comme « Bon » pour 2021 et « Mauvais » pour 2022. Ce document explique la construction de l'indicateur, il pourra être utilisé pour montrer les effets synergiques entre l'oxygène dissous et la température sur les aloses. Le nouvel indicateur de l'impact de l'hypoxie sur la dévalaison des aloses dans la Charente sera pris en compte lors des décisions sur l'état des populations d'aloses, fournissant ainsi des informations sur les conditions environnementales influençant le développement du cycle de vie de l'aloise. Cet indicateur est d'autant plus important avec le réchauffement climatique, les périodes d'hypoxies et d'anoxies seront de plus en plus fréquentes, dû à un manque d'eau entraînant des débits plus faibles et une oxygénation moindre. De plus, il sera intéressant de l'adapter aux autres populations de poissons migrateurs amphihalins, en modifiant les seuils en fonction de chaque

espèce et de son stade physiologique étudié. L'indicateur oxygène est un outil précieux pour évaluer l'impact de l'hypoxie sur les différents stades et les différentes populations de poissons migrateurs amphihalins. Egalement, en envisageant les possibilités futures, compte tenu de la relation entre l'oxygène dissous et la température présentée dans ce document, il serait intéressant d'obtenir des données plus anciennes. Etant donné qu'il existe une autre sonde sur l'axe Charente qui enregistre seulement les températures de l'eau à Crouin depuis 2009. Ainsi, grâce à la relation entre l'oxygène dissous et la température établie dans l'étude avec les données de Tonnav-Charente, il serait possible d'estimer les concentrations d'oxygène dissous à Crouin depuis le début du suivi. Pour créer une tendance sur les cinq dernières années et avoir un historique plus étendu, ajustant les seuils en fonction des années précédentes, et ainsi observer les différentes concentrations d'oxygènes dissous entre un site situé en aval et un autre situé en amont de la Charente. Dans l'ensemble, cet indicateur fournira de nouvelles informations cruciales sur les conditions environnementales et leur impact sur les aloses et les autres espèces de poissons migrateurs. Il soutiendra la prise de décision en matière de gestion et de conservation en permettant une meilleure compréhension des facteurs qui influencent les populations de poissons migrateurs et en identifiant les mesures nécessaires pour assurer leur survie et leur rétablissement.

VI. Bibliographie

- Alabaster, J. S., & Gough, P. J. (1986). The dissolved oxygen and temperature requirements of Atlantic salmon, *Salmo salar L.*, in the Thames Estuary. *Journal of Fish Biology*, 29(5), 613-621.
- Alexandrino, P., Faria, R., Linhares, D., Castro, F., Le Corre, M., Sabatié, R., ... & Weiss, S. (2006). Interspecific differentiation and intraspecific substructure in two closely related clupeids with extensive hybridization, *Alosa alosa* and *Alosa fallax*. *Journal of Fish Biology*, 69, 242-259.
- Allain, S., Bodilis, J., Briand, A., Cornier, T., Ducharne, A., Ducrotoy, J., ... & Treyer, S. (2009). Rapport d'expertise collective, Les effets du changement climatique dans le contexte des changements globaux. Expertise collective sur l'estuaire de Seine GIP Seine Aval. 1-50.
- Baumann, L., Vega, J., Philip, J., Polese, F., Vétillard, F., Pierre, M., ... & Acolas, M. L. (2021). Tolerance of young allis shad *Alosa alosa* (Clupeidae) to oxy-thermic stress. *Journal of Fish Biology*, 98(1), 112-131.
- Bendtsen, J., & Hansen, J. L. (2013). Effects of global warming on hypoxia in the Baltic Sea–North Sea transition zone. *Ecological modelling*, 264, 17-26.
- Bengen G.S.H., (1992). Suivi de la maturation gonadique des aloses, *Alosa alosa L.*, lors de leur migration en Garonne. Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, 1-86.
- Boisneau, C., Moatar, F., Bodin, M., & Boisneau, P. (2008). Does global warming impact on migration patterns and recruitment of Allis shad (*Alosa alosa L.*) young of the year in the Loire River, France?. In *Fish and Diadromy in Europe (ecology, management, conservation) Proceedings of the symposium held 29 March–1 April 2005, Bordeaux, France*. Springer Netherlands. 179-186.
- Breitburg, D. (2002). Effects of hypoxia, and the balance between hypoxia and enrichment, on coastal fishes and fisheries. *Estuaries*, 25(4), 767-781.

- Cellule Migrateurs Charente Seudre (EPTB Charente, MIGADO, CAPENA), (2021). Programme d'actions 2021-2025 pour la sauvegarde et la restauration des poissons migrateurs amphihalins sur les bassins Charente et Seudre, Rapport des actions, 1-114
- Charles, K., & Jatteau, P. (2010). Analyse de la sensibilité des jeunes stades de grande alose *Alosa alosa* aux facteurs de l'environnement. Rapport final, 1-49.
- Coffin, M. R., Courtenay, S. C., Pater, C. C., & van den Heuvel, M. R. (2018). An empirical model using dissolved oxygen as an indicator for eutrophication at a regional scale. *Marine pollution bulletin*, 133, 261-270.
- Collin S. & Rochard E., (2012). Projet de tableau de bord de la grande alose du bassin versant Gironde-Garonne-Dordogne, méthodes, résultats et perspectives de la démarche. Irstea centre de Bordeaux Rapport n° 145, 1-153.
- Díaz, R. J., & Rosenberg, R. (2008). Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *science*, 321(5891), 926-929.
- Díaz, R. J., & Breitburg, D. L. (2009). The hypoxic environment. In *Fish Physiology*. 27, 1–24. London: Academic Press.
- Elie, P., & Baglinière, J. L. (2000). Les aloses (*Alosa alosa* et *Alosa fallax* spp.): écobiologie et variabilité des populations. *Les aloses (Alosa alosa et Alosa fallax spp.)*. Editions INRA, 1-292.
- Fernandez, A. (2018). L'essentiel du tableau de bord: méthode complète et mise en pratique avec Microsoft Excel. Editions Eyrolles, 1-227.
- Hasselman, D. J., & Limburg, K. E. (2012). Alosine restoration in the 21st Century: Challenging the status quo. *Marine and Coastal Fisheries*, 4(1), 174–187.
- Hrycik, A. R., Almeida, L. Z., & Höök, T. O. (2017). Sub-lethal effects on fish provide insight into a biologically-relevant threshold of hypoxia. *Oikos*, 126(3), 307-317.
- Hyvärinen, H. S., Sjöberg, T., Marjomäki, T. J., & Taskinen, J. (2022). Effect of low dissolved oxygen on the viability of juvenile *Margaritifera margaritifera*: Hypoxia tolerance ex situ. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 32(8), 1393-1400.
- Lassalle, G. (2008). Impacts des changements globaux sur la distribution des poissons migrateurs amphihalins : Une approche par modélisation à l'échelle continentale. Sciences de l'environnement. Doctorat sciences et environnement, spécialité écologie aquatique, Université Bordeaux I, France. 1, 1-244.
- Lassalle, G., Béguier, M., Beaulaton, L., & Rochard, E. (2008). Diadromous fish conservation plans need to consider global warming issues: An approach using biogeographical models. *Biological conservation*, 141(4), 1105-1118.
- Limburg, K. E., & Waldman, J. R. (2009). Dramatic Declines in North Atlantic Diadromous Fishes. *BioScience*, 59(11), 955–965.
- Lochet, A. (2006). Dévalaison des juvéniles et tactiques gagnantes chez la grande alose *Alosa alosa* et l'alse feinte *Alosa fallax*: apports de la microchimie et de la microstructure des otolithes (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat de l'université Bordeaux I, 1-208.
- Jatteau, P., & Fraty, R. (2012). Etude de la tolérance à l'hypoxie des juvéniles de grande alose (*Alosa alosa*). (Doctoral dissertation, irstea), 1-15.
- Jatteau, P., Drouineau, H., Charles, K., Carry, L., Lange, F., & Lambert, P. (2017). Thermal tolerance of allis shad (*Alosa alosa*) embryos and larvae: Modeling and potential applications. *Aquatic Living Resources*, 30, 2.

Person-Le Ruyet, J. (1986). Les besoins en oxygène des poissons marins et leur comportement en conditions hypoxiques. Revue bibliographique. Rapp. Intern. Ifremer Brest, DRV/86, 4, 1-22.

Schmidt, S., Diallo, I. I., Derriennic, H., Fallou, H., & Lepage, M. (2019). Exploring the susceptibility of turbid estuaries to hypoxia as a prerequisite to designing a pertinent monitoring strategy of dissolved oxygen. *Frontiers in Marine Science*, 6, 352.

Spillman, C.-J., (1961). Faune de France: Poissons d'eau douce. Fédération Française des Sociétés Naturelles, Tome 65. Paris. 1-303.

Taverny, C. (1991). *Contribution à la connaissance de la dynamique des populations d'aloses: Alosa Alosa et Alosa Fallax dans le système fluvio-estuarien de la Gironde: pêche, biologie et écologie: étude particulière de la devalaison et de l'impact des activités humaines* (Thèse Doct., Univ. Bordeaux 1), 1-451.

Taverny, C., & Elie, P. (2001). Répartition spatio-temporelle de la grande alose *Alosa alosa* (Linné, 1766) et de l'alose feinte *Alosa fallax* (Lacépède, 1803) dans le Golfe de Gascogne. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (362-363), 803-821.

Taverny, C., Elie, P., & Boët, P. (2009). La vie piscicole dans les masse d'eau de transition: proposition d'une grille qualité pour la température, l'oxygène dissous, la salinité et la transparence (Doctoral dissertation, irstea). 1-55.

Tentelier, C., Bouchard, C., Bernardin, A., Tauzin, A., Aymes, J. C., Lange, F., ... & Rives, J. (2021). The dynamics of spawning acts by a semelparous fish and its associated energetic costs. *Peer Community Journal*, 1. 1-20.

Toublanc, F., Brenon, I., & Coulombier, T. (2014). Modélisation 3D de la dynamique des sédiments fins dans l'estuaire de la Charente (France) : évolution du bouchon vaseux et estimation des flux sédimentaires. 513-522.

Toublanc, F., Brenon, I., & Coulombier, T. (2016). Formation and structure of the turbidity maximum in the macrotidal Charente estuary (France): Influence of fluvial and tidal forcing. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 169, 1-14.

UICN Comité français, MNHN, SFI & AFB (2019). La Liste rouge des espèces menacées en France – Chapitre Poissons d'eau douce de France métropolitaine. Paris, France. 1-16

Veyssy, E. (2019). Garonne, Dordogne et « bouchon vaseux » estuarien : des destins liés, Terre & Océan, Syndicat Mixte pour le Développement Durable de l'Estuaire de la Gironde (SMIDDEST), 1-24.

Wang, C. J., Hudson, J. M., Lassalle, G., & Whitesel, T. A. (2021). Impacts of a changing climate on native lamprey species: from physiology to ecosystem services. *Journal of Great Lakes Research*, 47, S186-S200.

Wuillez, M., & Rochard, E. (2003). Tableau de bord, un outil pour le suivi des poissons migrateurs: concepts et méthode pour le choix des indicateurs, exemple de la population de grande alose du bassin versant Gironde-Garonne-Dordogne. *Ingénieries eau-agriculture-territoires*, (35), 1-43.

VII. Webographie

DiadES. « A future for diadromous species and related human communities ». The parliament, 25 mai 2023, consulté le 15 juin 2023, [A future for diadromous species and related human communities \(theparliamentmagazine.eu\)](https://theparliamentmagazine.eu)

Cellule migrants Charente Seudre, url : migrateurs-charenteseudre.fr

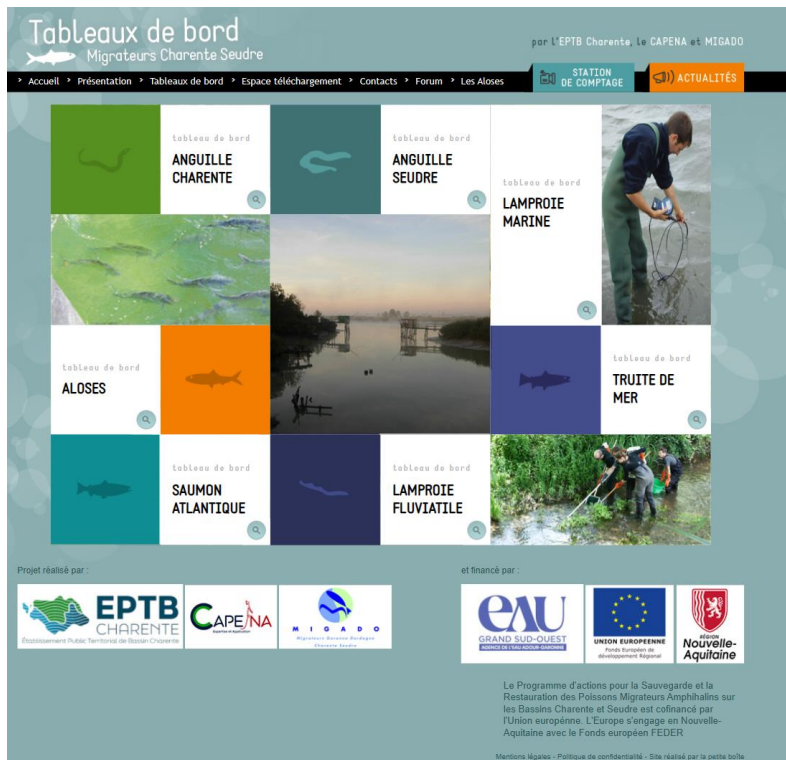
Réseau magest, url: [MAGEST \(u-bordeaux.fr\)](https://magest.u-bordeaux.fr)

VIII. Annexes

Annexe 1: Photographie de l'emplacement de la sonde Wimo sur la Seudre à l'Eguille



Annexe 2 : Ancien site web de la page d'accueil de la CMCS



Tableaux de bord
Migrateurs Charente Seudre

par l'EPTB Charente, Le CAPENA et MIGADO

STATION DE COMPTAGE ACTUALITÉS

Accueil > Présentation > Tableaux de bord > Espace téléchargement > Contacts > Forum > Les Aloses

- tableau de bord ANGUILE CHARENTE
- tableau de bord ANGUILE SEUDRE
- tableau de bord LAMPROIE MARINE
- tableau de bord ALOSES
- tableau de bord TRUITE DE MER
- tableau de bord SAUMON ATLANTIQUE
- tableau de bord LAMPROIE FLUVIATILE

Projet réalisé par : EPTB CHARENTE, CAPENA, MIGADO

et financé par : eau GRAND SUD-OUEST, UNION EUROPEENNE, Nouvelle-Aquitaine

La Programme d'actions pour la Sauvegarde et la Restauration des Poissons Migrateurs Amphihalins sur les Bassins Charente et Seudre est cofinancé par l'Union européenne. L'Europe s'engage en Nouvelle-Aquitaine avec le Fonds européen FEDER

Mentions légales - Politique de confidentialité - Site réalisé par la petite boîte

Annexe 3 : Nouvelle page d'accueil du site web de la CMCS

Tableaux de bord
Migrateurs Charente Seudre

par l'EPTB Charente, le CAPENA et MIGADO

PRÉSENTATION | TABLEAU DE BORD | ESPACE TÉLÉCHARGEMENT | CONTACTS | CARTES INTERACTIVES | STATION DE COMPTAGE | ACTUALITÉS

Tableau de bord ANGUILLE SEUDRE | Tableau de bord ANGUILLE CHARENTE | Tableau de bord LAMPROIE MARINE | CARTES INTERACTIVES

Tableau de bord ALOSE FEINTE | Tableau de bord TRUITE DE MER | Tableau de bord GRANDE ALOSE | Tableau de bord SAUMON ATLANTIQUE | Tableau de bord AUTRES ESPÈCES

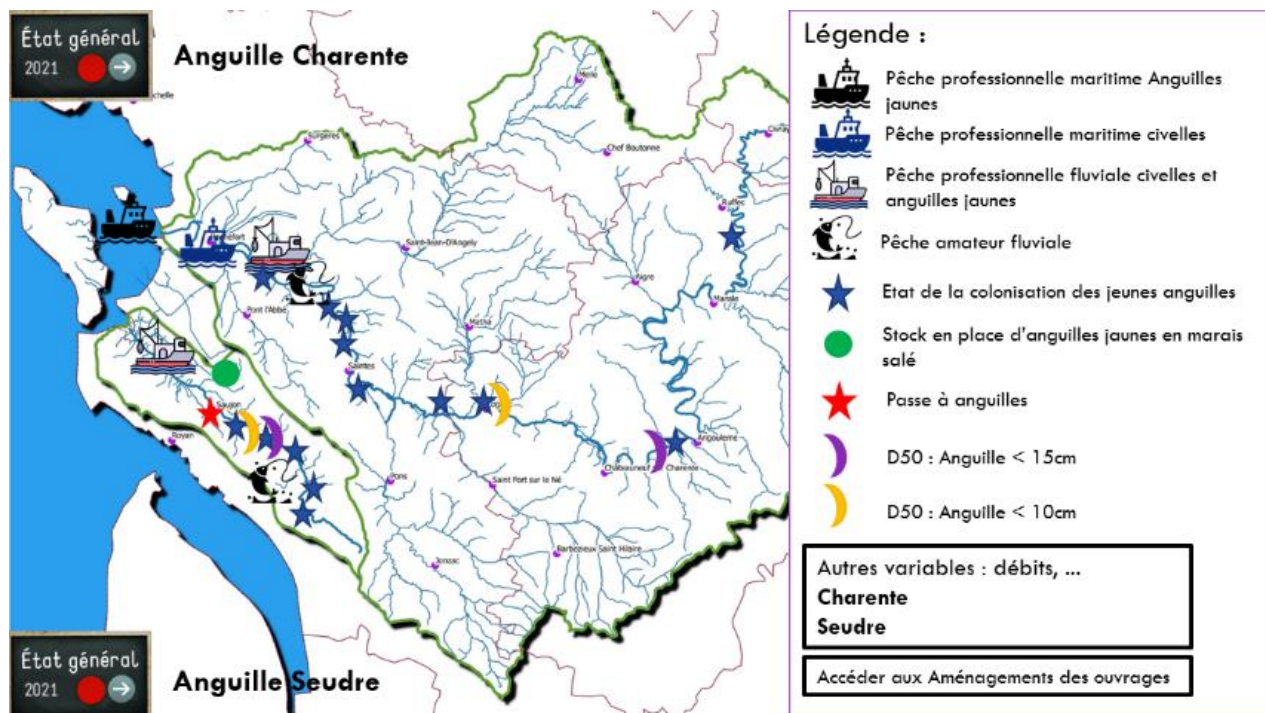
Projet réalisé par : EPTB CHARENTE, CAPENA, MIGADO et financé par : République Française, EAU GRANDS-OUEST, Nouvelle-Aquitaine, Union Européenne.

Le Programme d'actions pour la Sauvegarde et la Restauration des Poissons Migrateurs Amphihalins sur les Bassins Charente et Seudre est cofinancé par l'Union européenne. L'Europe s'engage en Nouvelle-Aquitaine avec le Fonds européen FEDER.

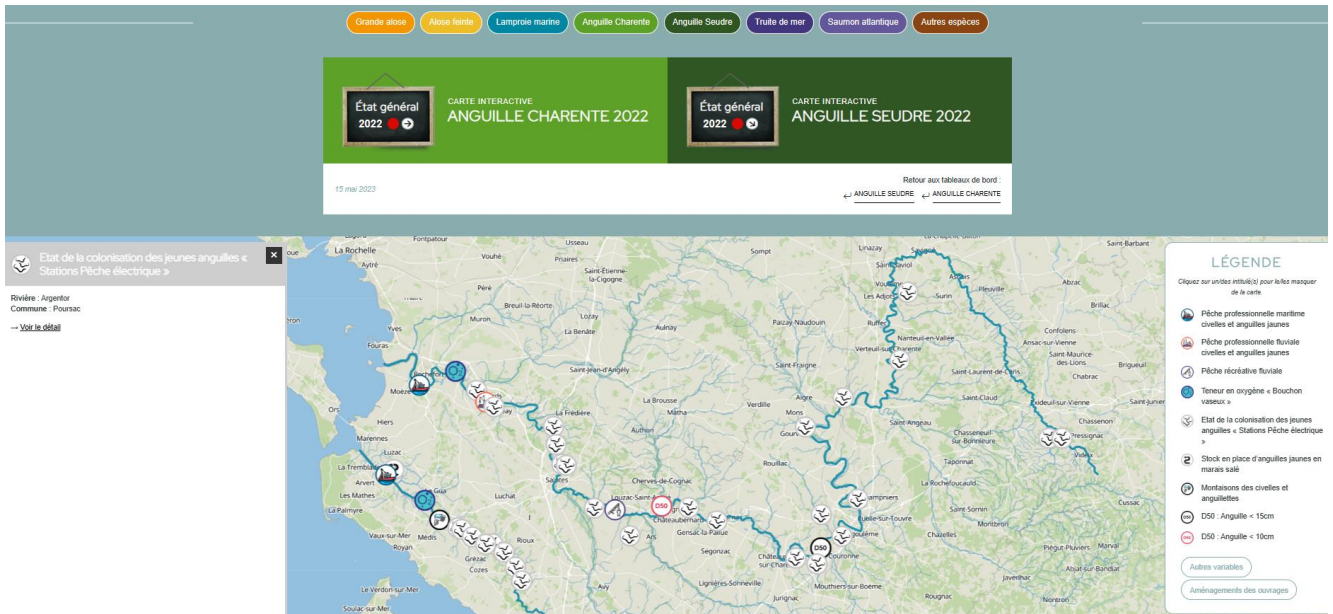
Mentions légales - Politique de confidentialité

Cartes interactives :

Annexe 4 : Croquis de départ pour la création de carte interactive pour l'anguille européenne Charente et Seudre (Power point)



Annexe 5 : Version final de la présentation de la carte interactive pour l'anguille Charente et Seudre sur le site web CMCS.



Annexe 6 : Zoom sur la carte interactive de l'anguille Charente et Seudre

