

Les poissons migrateurs dans l'estuaire de la Gironde Analyse de la répartition spatiale

Elsa Martin, Marie Lamour, Marie-Laure Acolas

INRAE UR EABX

Ecosystèmes aquatiques et changements globaux

Contexte

- ▶ **Méconnaissance de l'utilisation des estuaires par les PMA : corridor migratoire et habitat de croissance** (e.g. Potter al. 2015)
- ▶ **Milieux estuariens très dynamiques, à fort enjeux et soumis à des pressions multiples de part l'anthropisation des zones côtières** (e.g. Elliott & Whitfield, 2011; Wolanski & McLusky 2011)

'a semi-enclosed coastal body of water which is connected to the sea either permanently or periodically, has a salinity that is different from that of the adjacent open ocean due to freshwater inputs, and includes a characteristic biota'
(Whitfield & Elliott , 2011)



Confluence de la Garonne et de la Dordogne et Estuaire de la Gironde.
Source : G. Adam (DREAL Nouvelle Aquitaine)

Enjeux

- ▶ Renseigner ici la fréquentation du milieu estuarien par les PMA : cas d'étude estuaire Gironde
- ▶ La phase en milieu estuarien étant souvent moins renseignées, les connaissances sur les préférences des espèces et les habitats essentiels dans ce milieu
 - ▶ Peuvent aider à l'orientation des mesures de gestion adaptatives (e.g. Allen *et al.*, 2011)
 - ▶ Permettent de raffiner les modèles de dynamiques de population
 - ▶ Peuvent contribuer à l'amélioration des modèles de distribution des espèces (e.g. Dambrine *et al.*, 2023)

Objectifs

► Dans un estuaire « modèle » La Gironde :

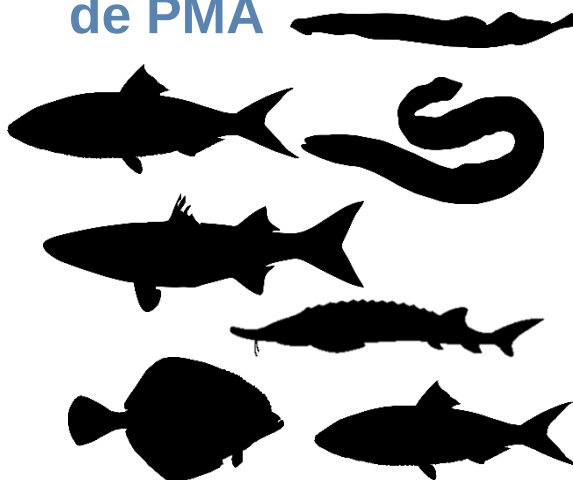
- Quelles sont les abondances des PMA et leurs fluctuations saisonnières ?
- Existe-il des localisation préférentielles dans lesquelles les individus se concentrent ?
- Les facteurs environnementaux influencent-ils la localisation des individus ?

► Un échantillonnage régulier du secteur subtidal de la Gironde



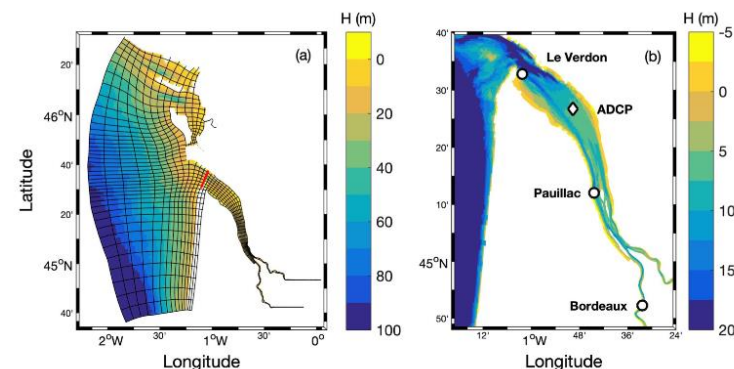
(e.g. Lamour *et al.*, 2024)

► Présence de plusieurs espèces de PMA



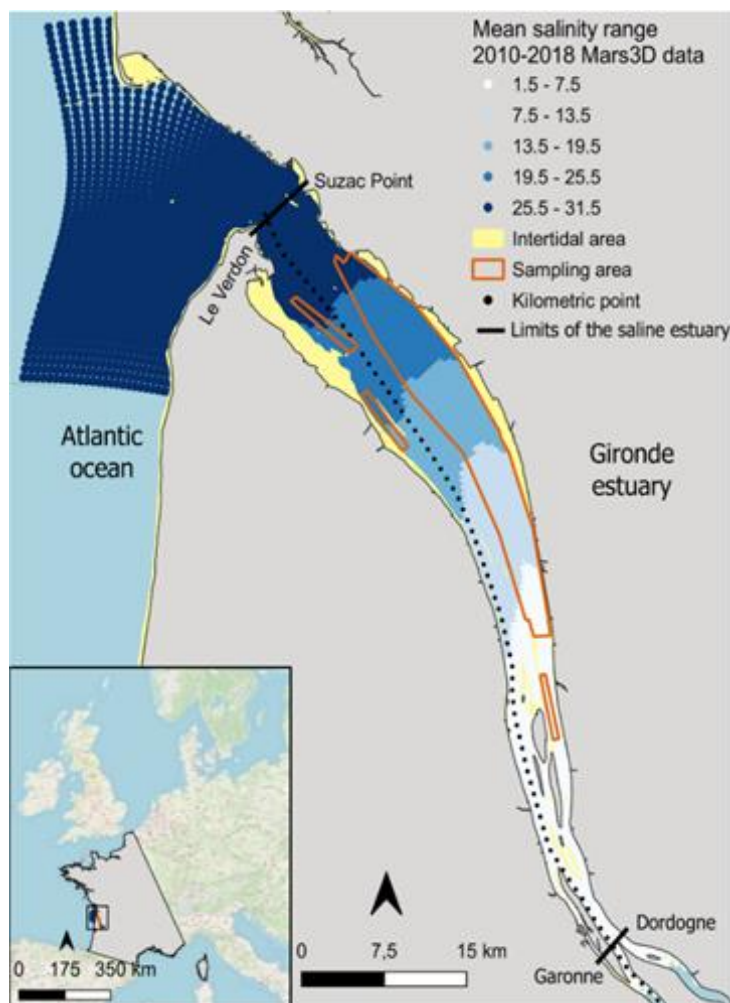
(e.g. Rochard 1992)

► Modèle hydrodynamique



(e.g. Diaz *et al.*, 2020)

Site d'étude



► **Le plus grand estuaire d'Europe occidentale surface 635 km² (Allen et al. 1977)**

► **Hauteur d'eau subtidal 3 à 30 m**

► **Régime macrotidal amplitude de marée 2,5 à 5,5 m**

► **Zone d'échantillonnage Estuaire salé subtidal, (oligohalin, mesohalin et polyhalin)**

146 km² soit 32% de l'estuaire salé entre pK 45 et 90

► **Entre 2010-2018**

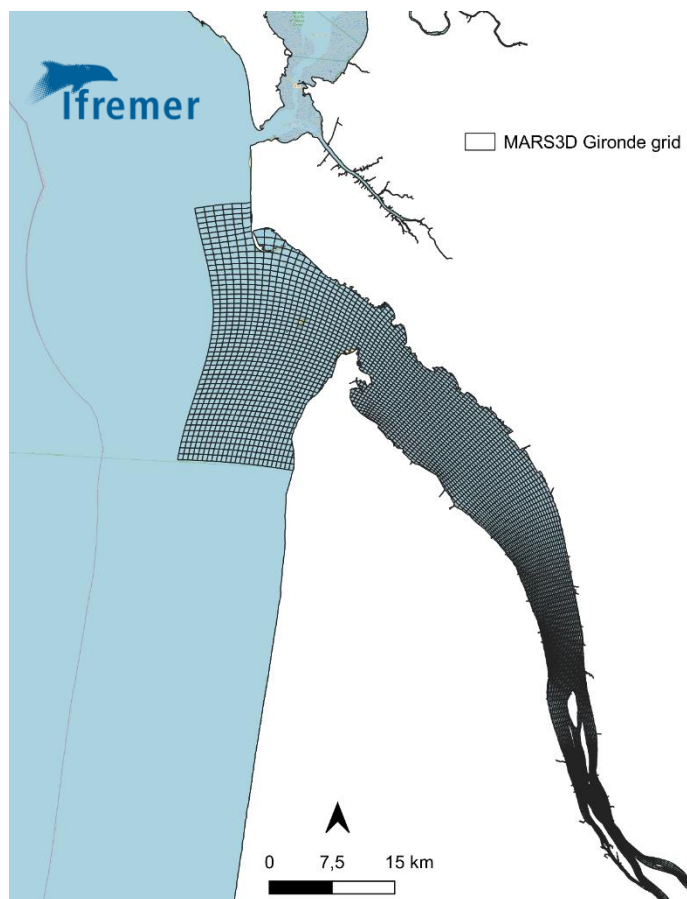
► **Salinité moyenne 17,7 SD±9,1 (1,5 - 31,5)**

► **Température moyenne 14,6°C SD±5,2**

► **Hauteur d'eau moyenne 8,3m SD±2,1 (4,8m - 17,9 m)**

Localisation de la zone d'échantillonnage ichthyologique dans l'estuaire de la Gironde avec une illustration de la plage moyenne de salinité sur la période 2010-2018 (d'après Lamour et al. 2024).

Modèle hydrodynamique MARS 3D : 2010-2018



Diaz et al. 2020

► Caractérisation spatiale et temporelle fine

- Résolution spatiale cellules de 145mx500m en amont et de 320mX530m
- 10 couches verticales équidistantes
- Résolution temporelle 1h (30 min température)

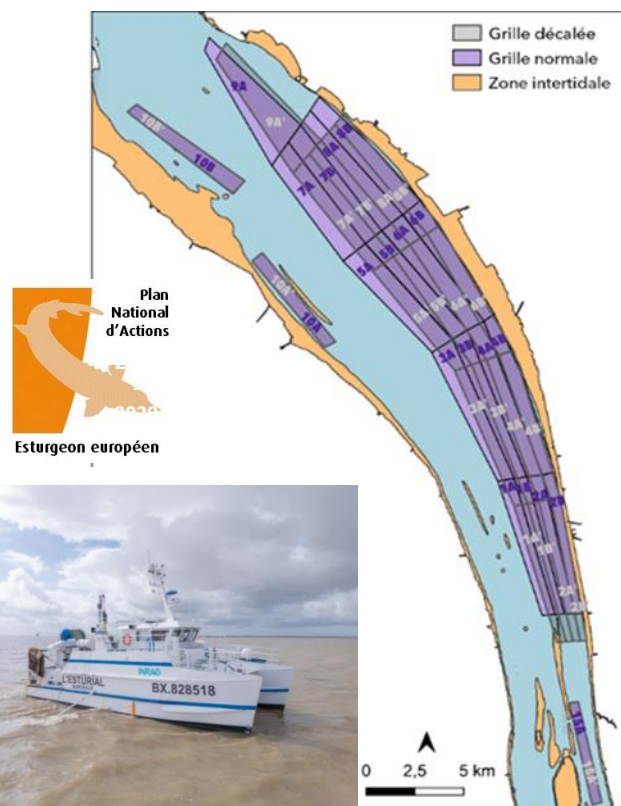
► Variables environnementales modélisées

- Température (°C)
- Salinité
- Hauteur d'eau (m)
- Vitesse du courant de fond (m.s⁻¹)
- Quantité de Matières en suspension MES kg/m³)

► Calcul des moyennes saisonnières



Echantillonnage : 2009-2023



- Env. 20 traits de chalut de 30 min chacun /2 mois répartis dans les zones de la grille d'échantillonnage
- Chalut de fond à panneau (21m long, maillage décroissant de 60 à 20 mm, ouverture maximale sous l'eau de 12m large 4m hauteur)

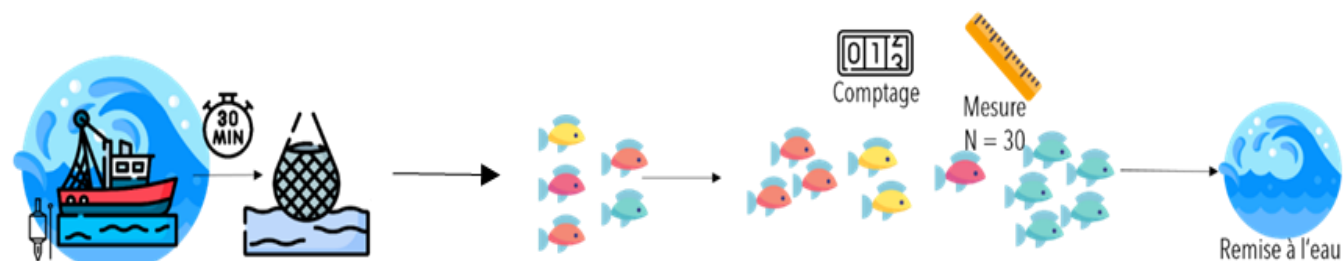


schéma modifié d'après Lamour, 2023

- Echantillonnage réalisé dans le cadre du PNA en faveur de la **restauration de l'esturgeon européen** (MEDDTL, 2011; Adam et al. 2019), suivi de l'état de la population soutenue.
- Ensemble des manipulation réalisées dans le cadre d'une **autorisation à l'expérimentation animal** (APAFis #24931-2020040117582634-v2)

Les PMA échantillonnés : 2009-2023

Espèces	Nombre total échantillonné sur la période 2009-2023
<i>Chelon ramada</i>	53 681
<i>Alosa fallax</i>	3 751
<i>Anguilla anguilla</i>	3 439
<i>Platichthys flesus</i>	1 075
<i>Acipenser sturio</i>	498
<i>Alosa spp.</i>	411
<i>Alosa alosa</i>	168
<i>Petromyzon marinus</i>	103
<i>Lampetra fluviatilis</i>	4
<i>Salmo salar</i>	3

! Données brutes non pondérées pas l'effort d'échantillonnage, toutes tailles confondues !

	Monde	Europe	France	Type
<i>Chelon ramada</i>	LC	LC		catadrome
<i>Platichthys flesus</i>	LC	LC	DD données insuffisantes	catadrome
<i>Anguilla anguilla</i>	CR	CR	CR	catadrome
<i>Alosa fallax</i>	LC	LC	NT quasi menacée	anadrome
<i>Alosa alosa</i>	LC	LC	CR	anadrome

► 10 PMA observés

► 5 sélectionnés pour l'analyse > 150 indiv. capturés /

- Mulet porc
- Anguille européenne
- Flet d'Europe
- Alose feinte
- Grande alose

► Esturgeon européen : analyse dans le cadre d'une thèse (Lamour 2023, Lamour et al. 2024)

► Statuts de conservation France

- 1 Préoccupation mineure
- 1 Données insuffisantes
- 1 Quasi menacé
- 2 Danger critique d'extinction

Les PMA échantillonnés 2009-2023

► 2 groupes de taille par espèce selon leur écologie

Chelon ramada

Juvéniles vs potentiels géniteurs ≥ 30 cm (Sauriau et al. 1994)



Platichthys flesus

Juvéniles vs potentiels géniteurs ≥ 20 cm (Amorim et al. 2018)



Anguilla anguilla stade anguille jaune

Immatures (mélange de mâles et de femelles) < 60 cm
et les femelles immatures (≥ 60 cm) (Briand et al. 2018)



Alosa fallax

0+ vs 1+ ≥ 11 cm Taverny (1991)



Alosa alosa

0+ vs 1+ ≥ 14 cm Taverny (1991)



@ Inrae M.L. Acolas

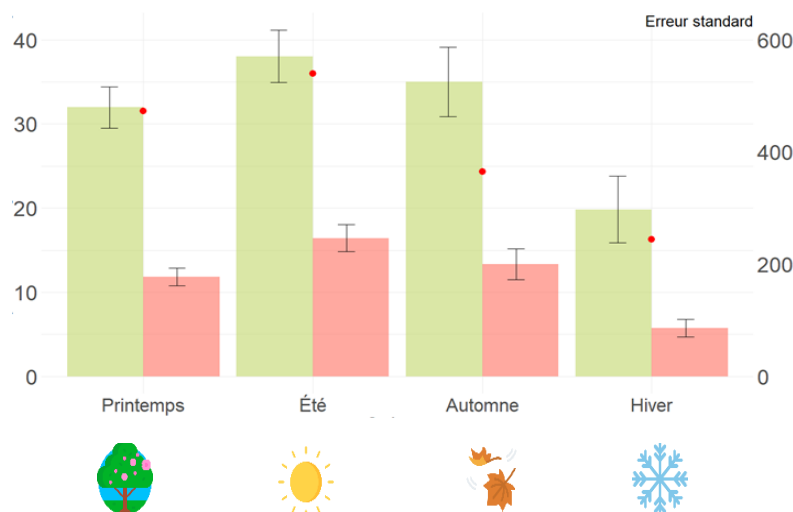
Représentations et analyses

► Densités moyennes saisonnières/annuelles

Densité moyenne (nb individus /km²) dans les traits échantillonnés

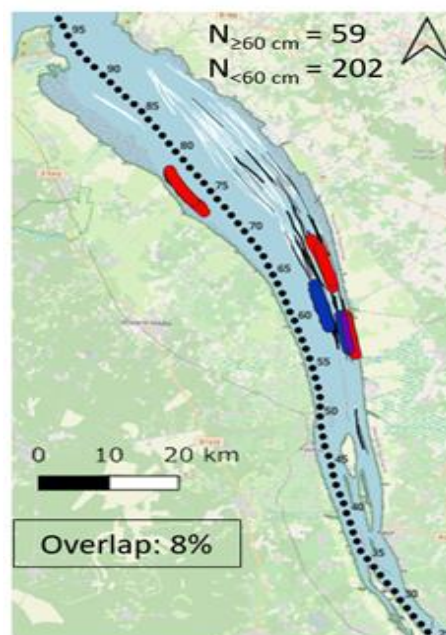
Nombre de traits de chalut

Erreur standard



► Répartition spatiale 2010-2018 : traits de présence absence et points chauds

HIVER



Traits de chalut

— Traits absence

— Traits présence

Localisation des points chauds (Hotspot analysis)

Getis and Ord (1992); Ord and Getis (1995)

■ Petits ou juvéniles

■ Grands ou géniteurs potentiels

■ Les 2 grps de taille

Pourcentage de recouvrement des points chauds des 2 grps

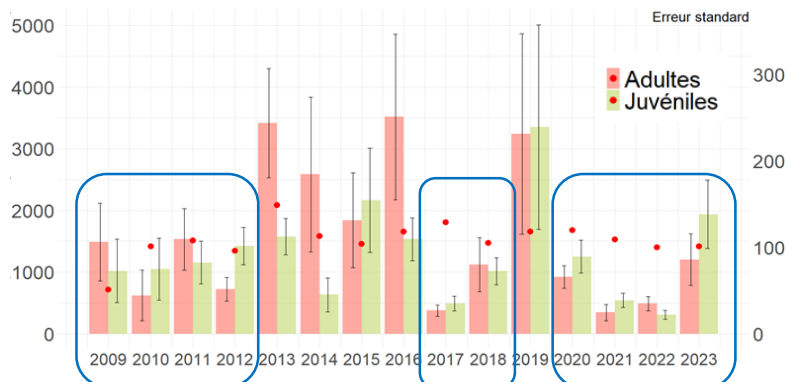
► Analyses de l'influence des facteurs environnementaux (non finalisée)

- Non paramétrique (peu de données) analyses multivariée (Jolliffe, 2002) + NP Manova (Anderson, 2001) + tests post-hoc (Martinez Arbzu, 2017) : comparaison des facteurs environnementaux de la zone échantillonnées / facteurs environnementaux sous les points chauds
- Lorsque qu'il y a suffisamment de données (moins de proportion de 0), GAM (Hastie et Tibshirani 1990; Wood 2000) sur la base des présences absences

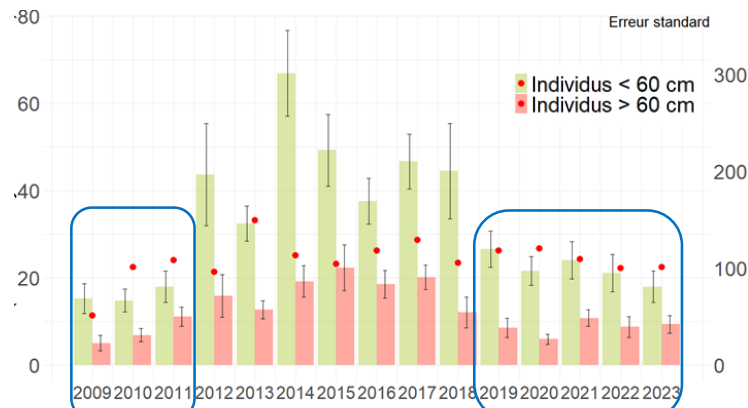
Observations globales de l'évolution des densités moyennes annuelles : période 2009-2023

Densité moyenne (nb individus /km²) dans les traits échantillonnés

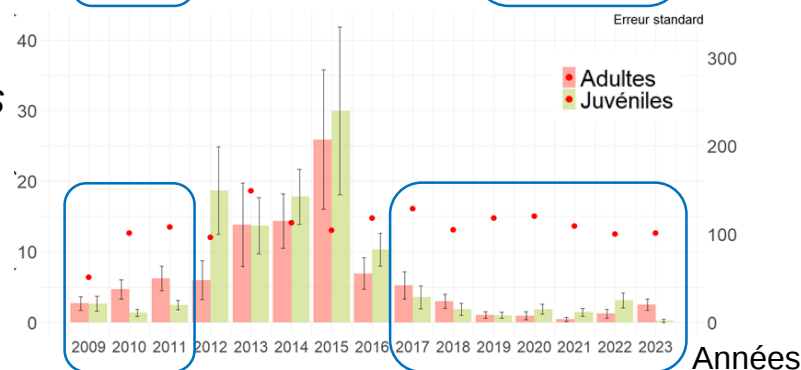
Chelon ramada



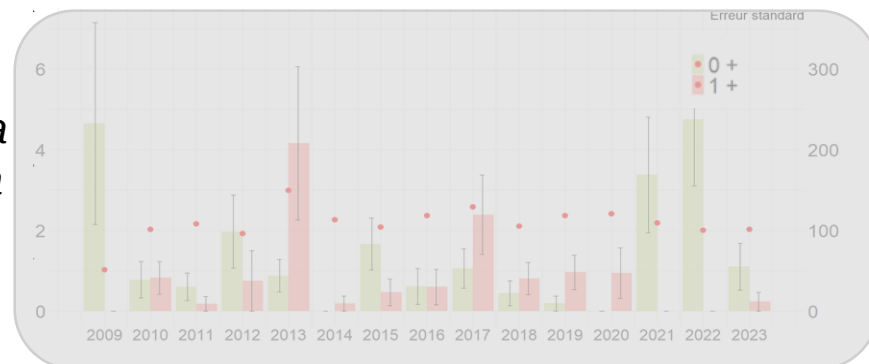
Anguilla anguilla



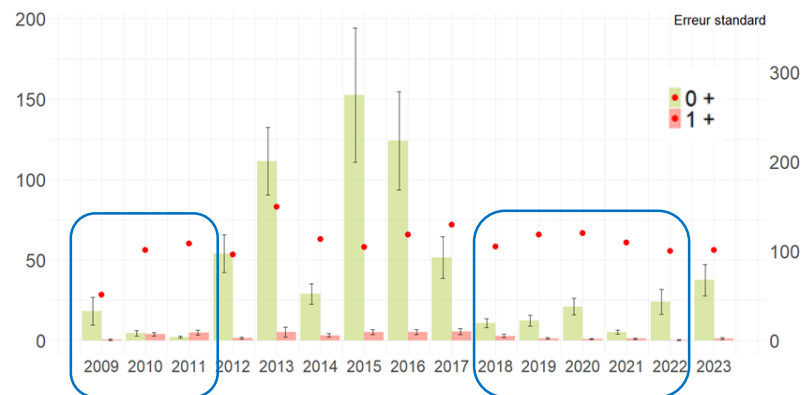
Platichthys flesus



Alosa alosa



Alosa fallax

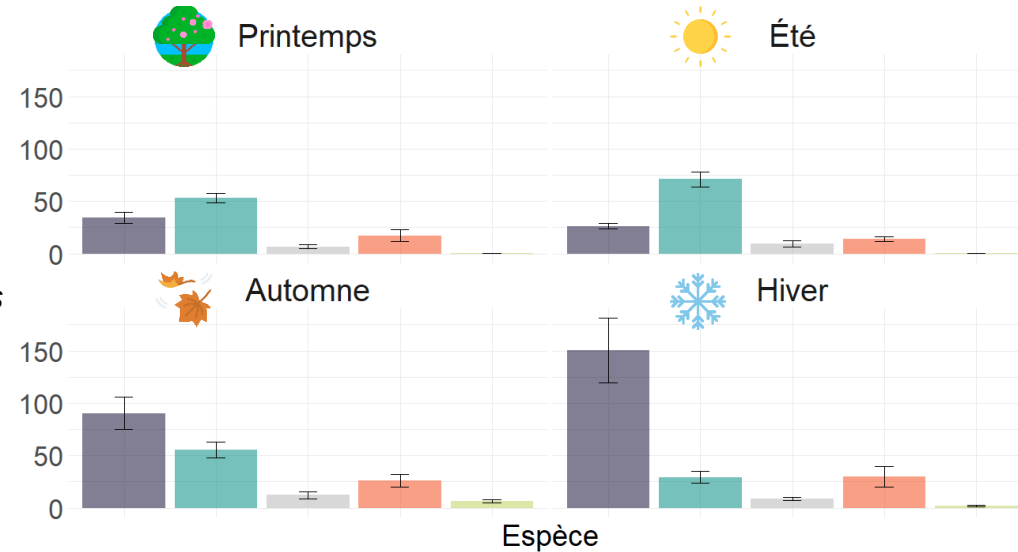
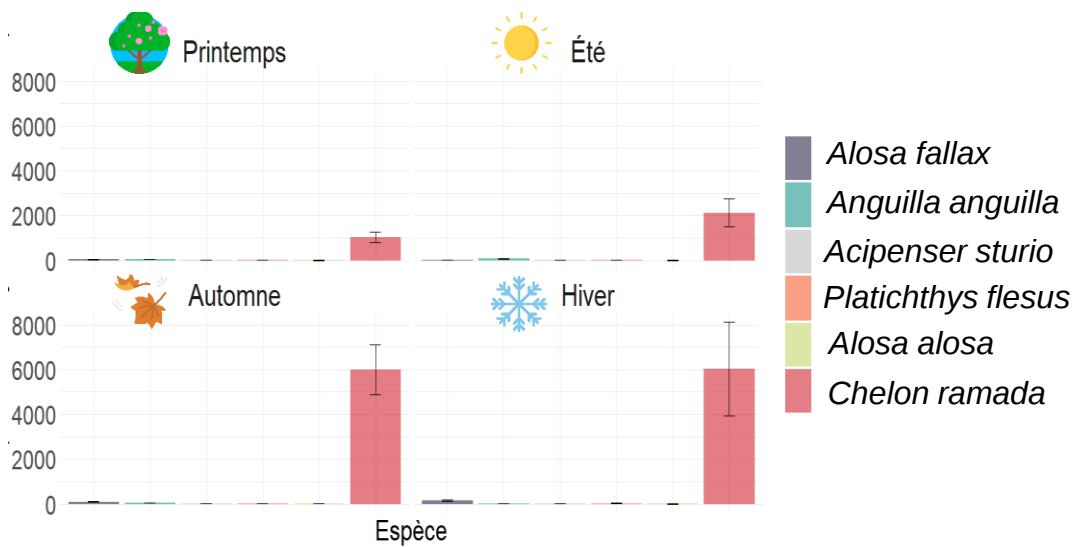


➤ Mulet porc >> Anguille ≥ Aloses
feintes > Flet > Grandes aloses
! sous-estimation des densités !

➤ Globalement densités 2009-2011 et 2017-2023 << 2012-2016

Densités estimées en fonction des saisons, toutes tailles confondues : période 2009-2023

Densité moyenne
(nb individus /km²) dans les traits échantillonnés



➤ A toutes les saisons Mulet porc ➔ 6000 indiv/km² 🍂 ❄️

➤ Anguille ➔ 50 à 75 indiv/km² 🌳 ☀️ ➤ Alose feinte ➔ 80 à 150 indiv/km² 🍂 ❄️

➤ Flet ➔ 25 indiv/km² ❄️

➤ Esturgeon européen ➔ 13 indiv/km² 🍂

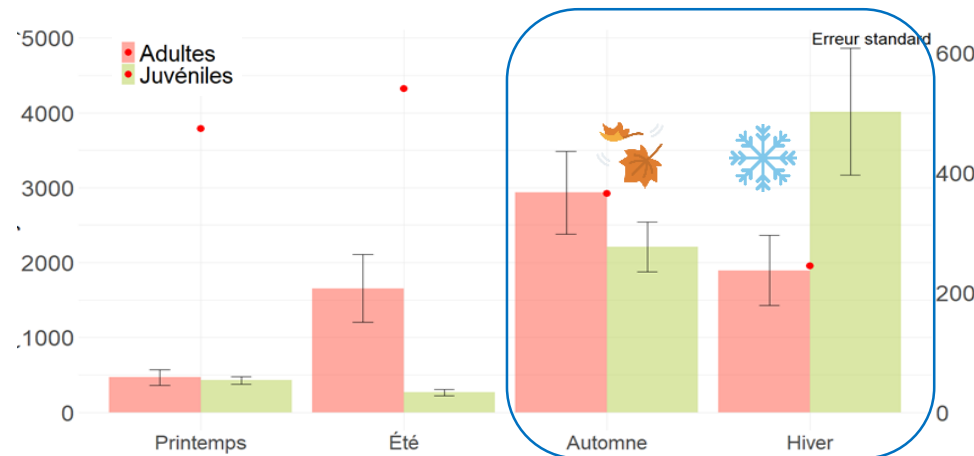
➤ Grandes aloses ➔ 4 indiv/km² 🍂

Estimation des densités saisonnières



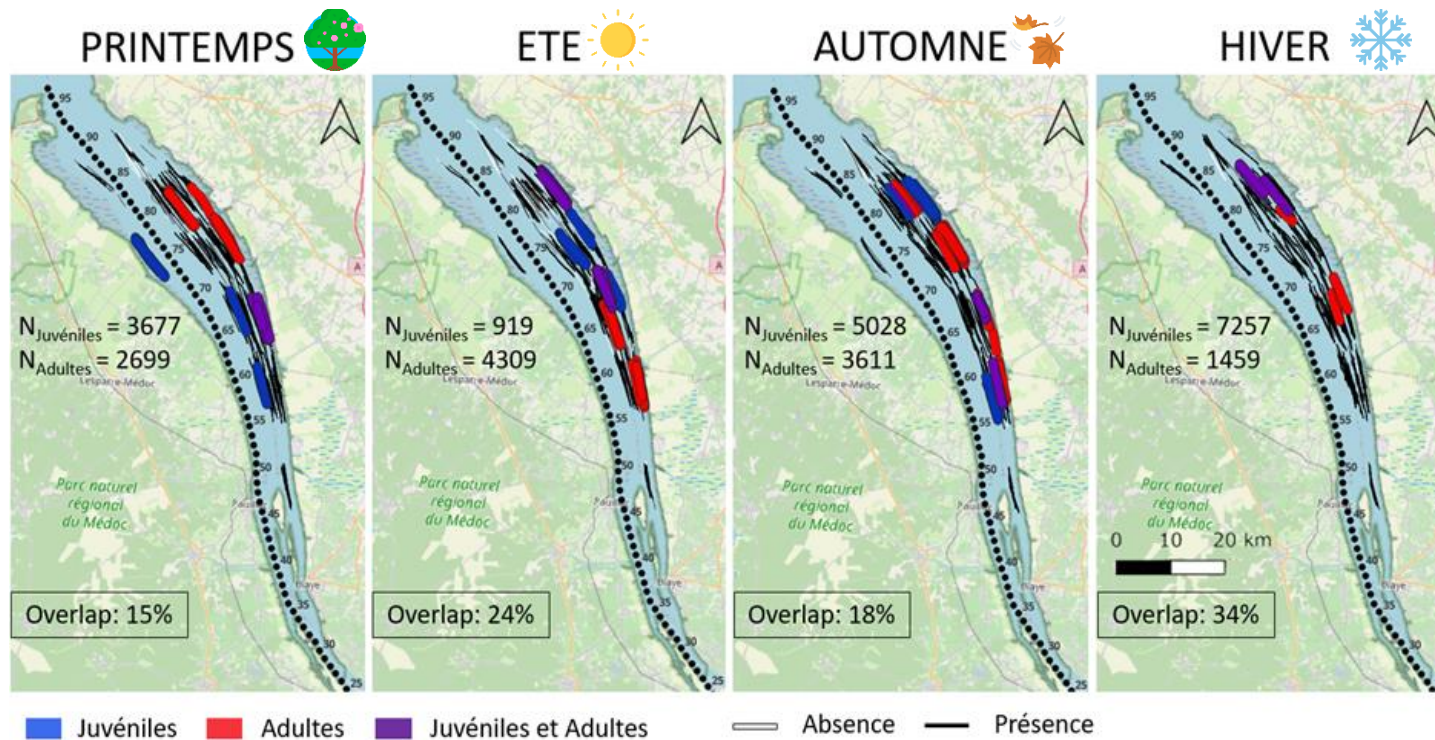
Densité moyenne
(nb individus /km²) dans les traits échantillonnés

Nombre de
traits de chalut



- **Densités les plus faibles** 🌳 : saison où les individus peuvent être dans les fleuves (e.g. Pereira et al. 2021 ; Sauriau et al. 1997)
- **Densités les plus fortes** 🍂 ❄️
- **La reproduction se déroulerait en zones littorales proches des estuaires entre automne et le début de l'hiver** (Sauriau et al. 1992) **mais ce n'est pas à ces saisons qu'on observe une baisse de densité des géniteurs potentiels dans la Gironde : migration vers l'aval ?**

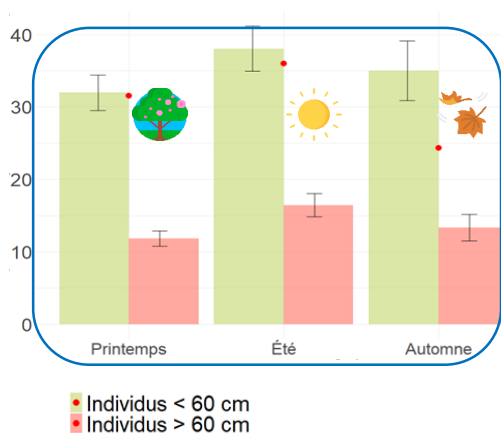
Répartition spatiale



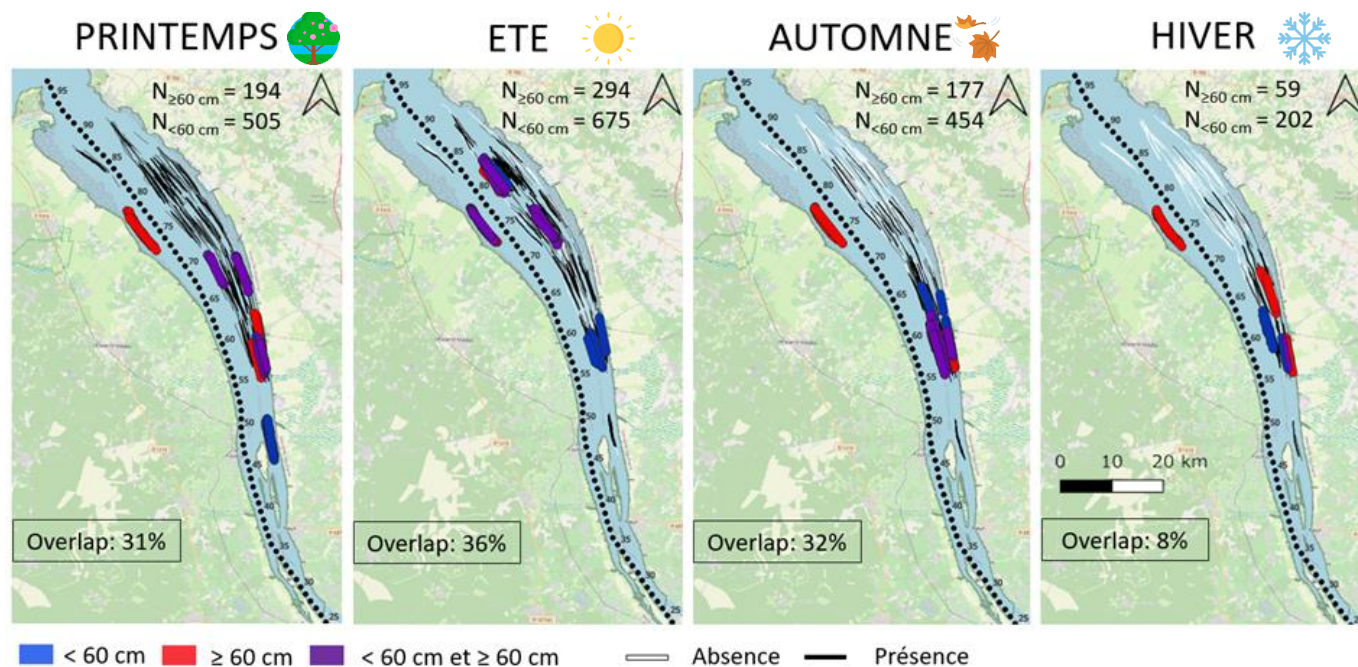
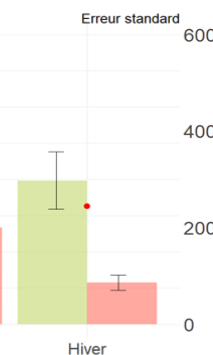
- Captures dans l'ensemble de la zone d'échantillonnage 🌱 ☀️ 🍂 ❄️
- Recouvrement limité des points chauds des 2 grpes de taille (15 à 24%), sauf ❄️ (34%)
- Surface plus restreinte des points chauds ❄️ malgré une forte densité : localisation un peu plus en rive droite de la zone échantillonnage plus près de la zone intertidal adjacente : plus d'échange entre intertidal et le subtidal en ❄️ ? ➡️ proies subtidal
Zone intertidal zone d'alimentation principale (e.g. Almeida et al., 2003 ; Lafaille et al. 2002)
- Pas de tendance claire de l'influence des facteurs environnementaux

Estimation des densités saisonnières et répartition spatiale

Densité moyenne
(nb individus /km²) dans les
traits échantillonnés



Nombre de traits de chalut

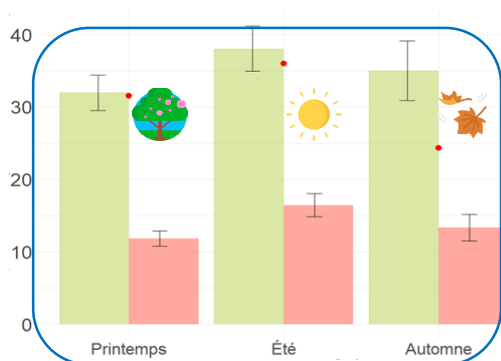


➤ Densités les plus élevées    baisse de moitié 

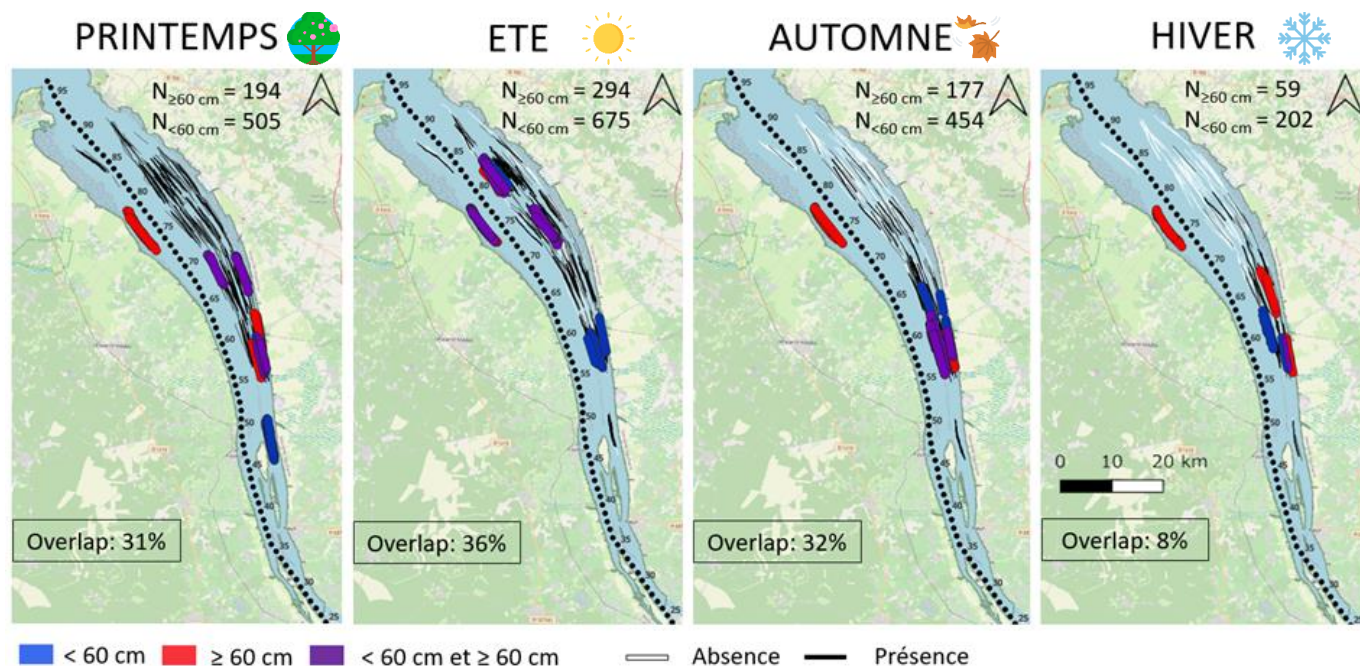
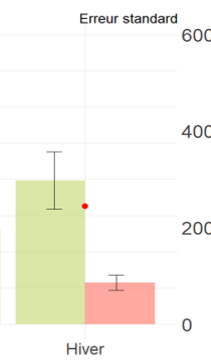
➤ Captures dans l'ensemble de la zone d'échantillonnage   utilisation du subtidal, répartition spatiale plus restreinte progressivement  

Estimation des densités saisonnières et répartition spatiale

Densité moyenne (nb individus /km²) dans les traits échantillonnés



Nombre de traits de chalut

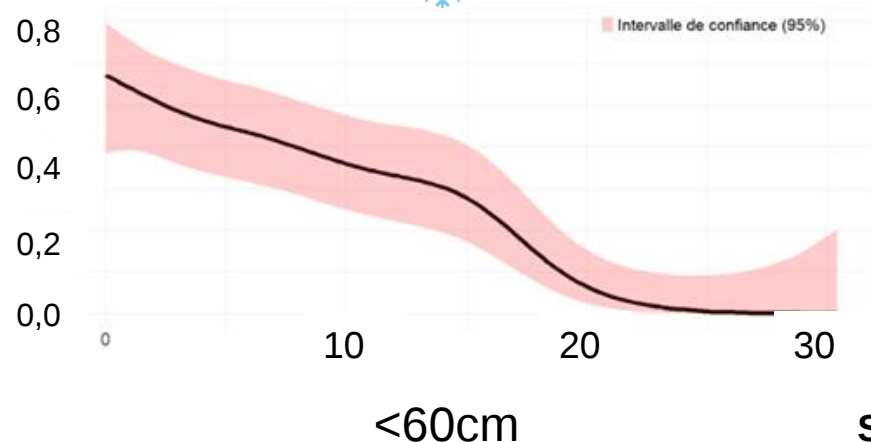


- Partage ≈ 1/3 de la surface des points chauds pour les 2 groupes de taille réduction importante du chevauchement en hiver (8%) et de la densité d'anguilles observées (≈ 1/2)
- observations dans les secteurs les plus amont de la zone d'échantillonnage et en rive gauche plus à l'aval pour les >60 cm

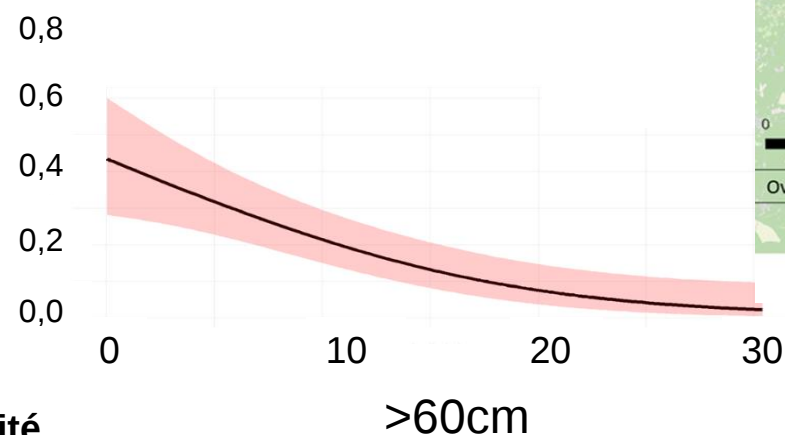
Répartition spatiale et facteurs environnementaux

➤ Préférence des secteurs moins salés en hiver

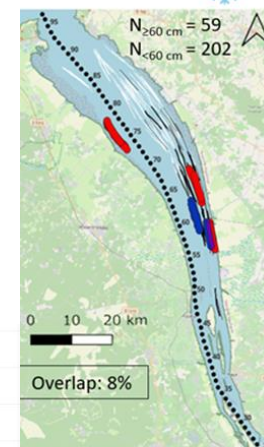
Probabilités de présence



Gam présence/absence Hiver <60 cm : model s(salinité) + année,
deviance expliquée 31,1%,
déviance expliquée sans année 23,3%



Gam présence/absence Hiver >60 cm : model s(salinité) + année,
deviance expliquée 16,4%,
déviance expliquée sans année 10,9%

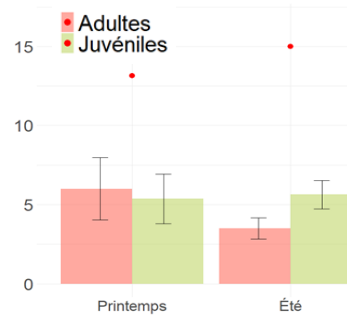


- **Hivernage en dehors du subtidal de l'estuaire salée dans des secteurs moins salés de l'estuaire voir d'eau douce pour une fraction de la population ? Mouvements observés chez l'anguille américaine *A. rostrata* (Thibault et al., 2007)**
- **Pour plusieurs espèces anguilles grossissement d'une partie de la population en estuaire sans forcément rejoindre eau douce** (Tsukamoto & Arai, 2001; Daverat et al. 2006 ; Ara et al., 2008) **taux de croissance supérieur** (Yokushi & Daverat 2013) **parfois un avantage de ne pas aller en eau douce « catadromy facultative »** (Durif et al. 2023)

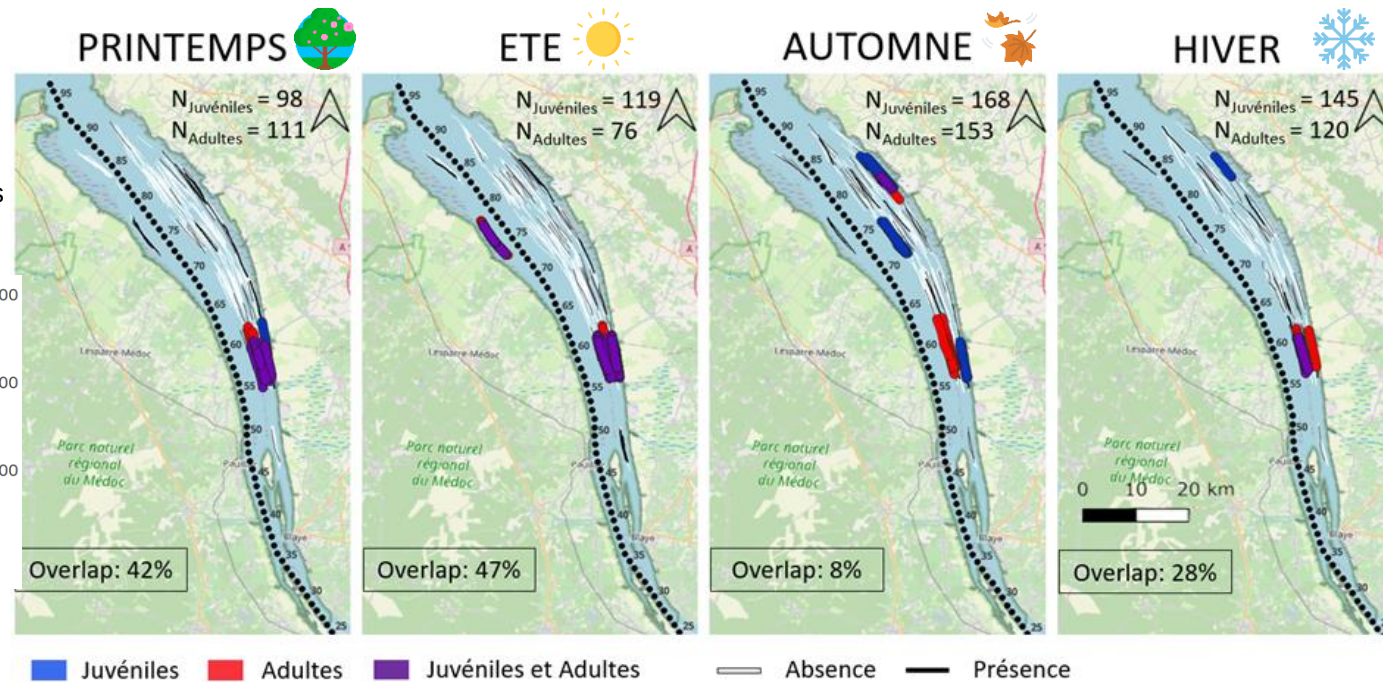
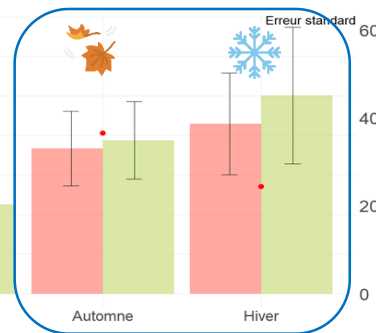
Estimation des densités, répartition spatiale et influence des facteurs environnementaux



Densité moyenne
(nb individus /km²) dans les
traits échantillonnés



Nombre de traits
de chalut



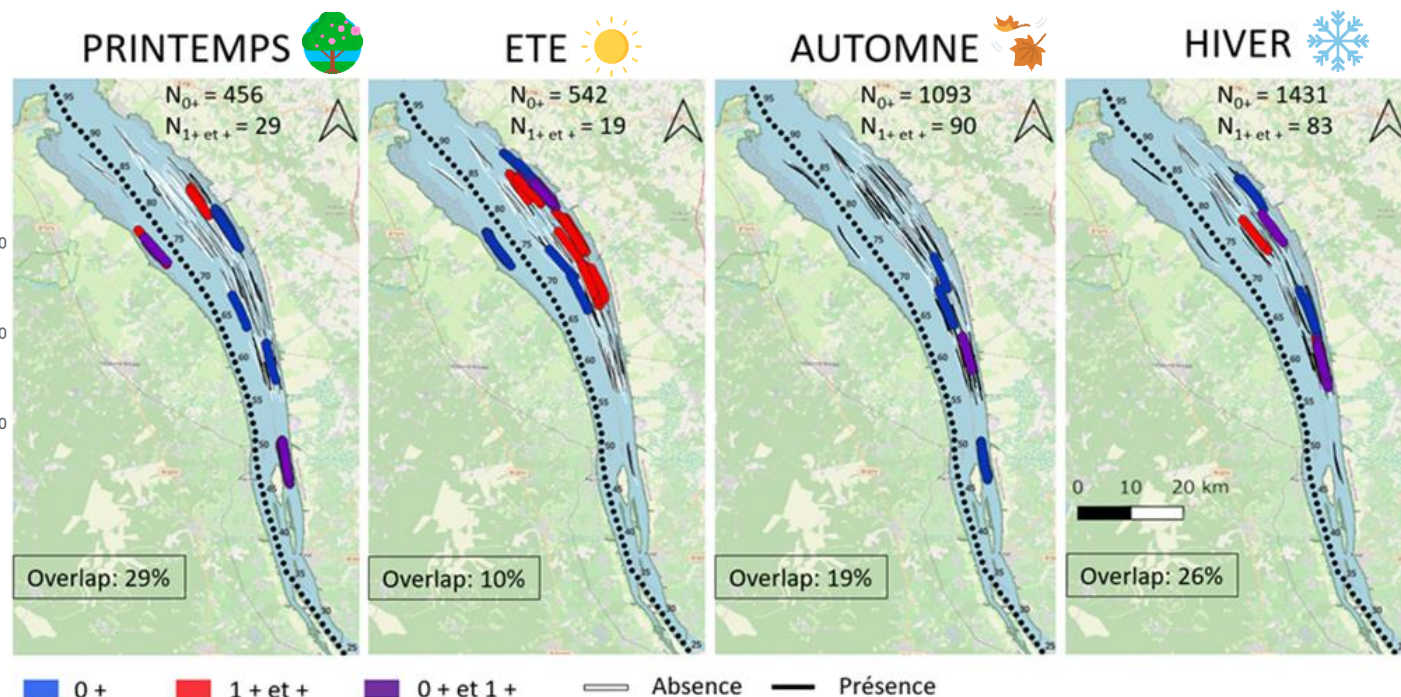
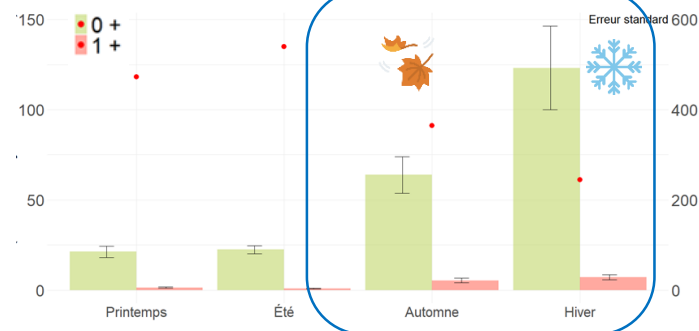
- Recouvrement important des points chauds des 2 grps de taille   en amont zone échantillonnage contrairement à l'automne (8% de recouvrement) où les points chaud se répartissent en amont, médian et aval.
- Densités estimées sont > en   ce qui peut expliquer une colonisation plus importante ?
- Influence des facteurs environnementaux : sélection par indiv $\geq 20\text{cm}$ au  (5 vs 15)  (12 vs 21)  (5 vs 15) des zones les moins salées avec plus de MES

Estimation des densité saisonnières et répartition spatiale



Densité moyenne
(nb individus /km²) dans les
traits échantillonnés

Nombre de traits
de chalut



- Des observations toute l'année : quelques individus qui restent plus longtemps dans l'estuaire ou qui reviennent se nourrir en estuaire (Baglinière & Elie, 2000) ?
- Des 0+ en dévalaison en automne hiver (max de densité) : pas de couloir spécifique de migration présence dans toute la largeur et la longueur de la zone d'échantillonnage

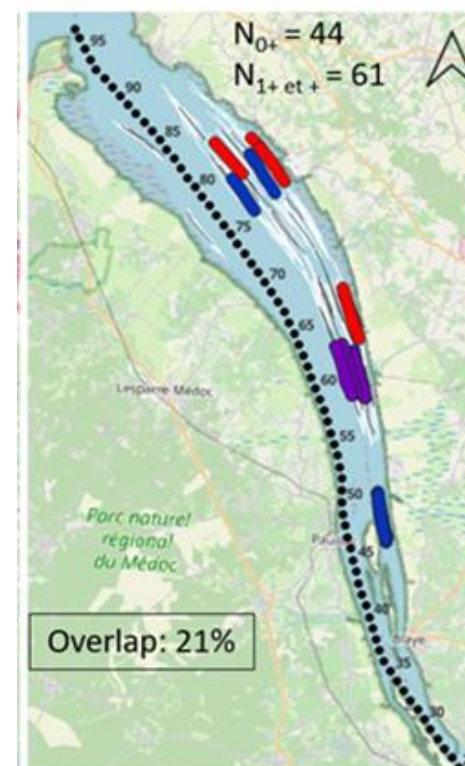
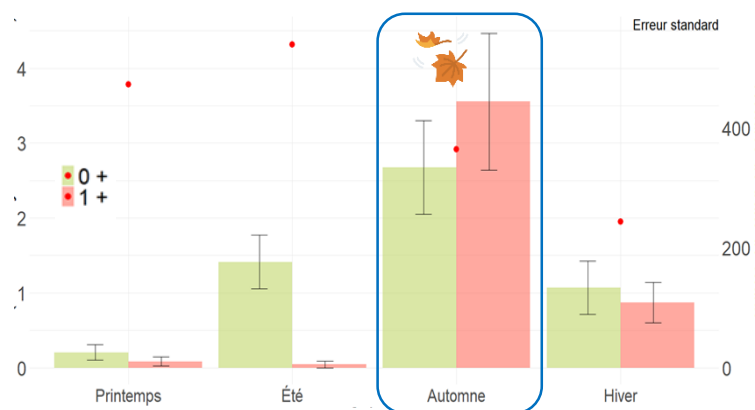
Estimation des densités saisonnière et répartition spatiale



AUTOMNE

Densité moyenne
(nb individus /km²) dans les
traits échantillonnés

Nombre de traits
de chalut



0+ 1+ et + 0+ et 1+ Absence Présence

- Des 0+ en dévalaison en automne : pas de couloir spécifique de migration présence dans toute la largeur de la zone d'échantillonnage
- Des 1+ (>14cm) qui viennent se nourrir en estuaire à l'automne ? Observé pour l'alse feinte dans la littérature mais pas pour la grande alose (Baglinière & Elie, 2000)

En résumé



1+



Les limites d'interprétations

- ▶ Focus échantillonnage du subtidal estuarien (1/3 surface), pas d'information sur l'intertidal
- ▶ Echantillonnage uniquement diurne
- ▶ Echantillonnage plus adapté pour certaines espèces : esturgeon, mulot, anguille, flets, moins pour les aloses
- ▶ Données environnementales modélisées uniquement sur la période 2010-2018 avec les avantages et inconvénients des modèles hydrodynamiques
 - ▶ Modèles similaires en Loire et en Seine pouvant permettre des extrapolation (Lamour et al. in prep.)
 - ▶ Certains paramètres plus fiables que d'autres dans le modèle

Perspectives dans le cadre du pôle MIAME

- ▶ **Affiner le calcul des points chauds et réaliser une carte globale multimigrateurs**
- ▶ **Affiner l'analyse des facteurs environnementaux** (influence des groupes de taille et des intersections)
- ▶ **Explorer la transférabilité des résultats pour d'autres estuaires**
- ▶ **Identifier les données manquantes d'intérêt tels que les besoins complémentaires en termes d'échantillonnage des compartiments biotiques et/ou abiotiques**

Perspectives à plus long terme

- ▶ **Cibler des analyses de trajectoires individuelles via des outils de télémétrie pour identifier l'utilisation plus fine des habitats**
- ▶ **Explorer des méthodes peu invasives d'exploration**

Remerciements

- ▶ **Experts sollicités au cours de ce travail : Patrick Lambert, Henrique Cabral, Jérémy Lobry, Céline Le Pichon, Philippe Jatteau, Florent Grasso**
- ▶ **PNA en faveur de la restauration de l'esturgeon européen** financement des suivis ichtyologiques dans l'estuaire de la Gironde (**AEAG, Conseil départemental de Gironde, INRAE**) ainsi qu'aux **personnes ayant participé aux missions de terrain (Genavir et INRAE), ISC XPO**
- ▶ **Pôle MIAME** financement des contrats de **M. Lamour et E. Martin en 2024 spécifiques aux PMA**



Merci de votre attention

