

Synthèse bibliographique sur les populations piscicoles en marais littoraux.



Rapport ECOGEA E220514 – Version définitive

Rédacteurs : P. BARAN
V. CORNU

TABLE DES MATIERES

| | |
|---|------------|
| 1. CONTEXTE GENERAL, OBJECTIFS | 1 |
| 1.1. CONTEXTE GENERAL | 1 |
| 1.2. OBJECTIFS | 1 |
| <u>PARTIE 1 : LES HABITATS ET LES ESPECES</u> | |
| 2. METHODOLOGIE ET PRESENTATION DES ESPECES CONCERNEES..... | 3 |
| 2.1. METHODOLOGIE | 3 |
| 2.2. PRESENTATION DES ESPECES CONCERNEES..... | 3 |
| 2.3. LES ENJEUX | 7 |
| 3. SYNTHESE DES CONNAISSANCES SUR LES HABITATS..... | 8 |
| 3.1. DEFINITIONS DES MARAIS LITTORAUX..... | 9 |
| 3.2. LES HABITATS PISCICOLES ET CARCINICOLES SOUS CONTROLE D'UNE CHAINE DE CAUSALITE | 14 |
| 3.3. UNITES HYDRAULIQUES COHERENTES..... | 14 |
| 3.4. LES DIFFERENTS HABITATS AQUATIQUES DES MARAIS LITTORAUX | 15 |
| 3.5. LES NIVEAUX D'EAU | 19 |
| 3.6. LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES..... | 23 |
| 3.7. LE NIVEAU TROPHIQUE | 30 |
| 4. CONNAISSANCES SUR LES ESPECES IDENTIFIEES..... | 33 |
| 4.1. LES PEUPLEMENTS PISCICOLES DES MARAIS LITTORAUX | 33 |
| 4.2. LES CYCLES BIOLOGIQUES | 40 |
| 4.3. GENERALITES SUR LES PREFERENCES D'HABITATS DES ESPECES | 52 |
| 4.4. BESOINS MIGRATOIRES DES ESPECES..... | 62 |
| 4.5. LES CAPACITES DE FRANCHISSEMENT DES ESPECES | 73 |
| 4.6. EVOLUTION DES AIRES DE REPARTITION DES ESPECES | 76 |
| 5. SYNTHESE PARTIE 1 | 78 |
| 5.1. UNE APPARTENANCE DES ESPECES ETUDIEES A DES GROUPES FONCTIONNELS QUI DEFINISSENT DES EXIGENCES ECOLOGIQUES | 78 |
| 5.2. LES TOLERANCES AUX CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES..... | 78 |
| 5.3. LES BESOINS EN TERMES D'HABITAT | 80 |
| 5.4. DES BESOINS MIGRATOIRES IMPORTANTS | 82 |
| 5.5. LES CAPACITES DE FRANCHISSEMENT | 83 |
| <u>PARTIE 2 : IMPACTS DES OBSTACLES ET SOLUTIONS TECHNIQUES</u> | |
| 6. SYNTHESE DES CONNAISSANCES SUR LA TYPOLOGIE ET LE RECENSEMENT DES OUVRAGES | 86 |
| 6.1. LES MARAIS LITTORAUX : UN « PAYSAGE » ANTHROPISE..... | 86 |
| 6.2. LA DEFINITION DU TERME OUVRAGE EN MARAIS LITTORAUX | 86 |
| 6.3. LA TYPOLOGIE DES OUVRAGES DANS LES MARAIS LITTORAUX..... | 86 |
| 6.4. LA CONNAISSANCE DES OUVRAGES | 98 |
| 7. SYNTHESE DES CONNAISSANCES SUR LES IMPACTS DES OUVRAGES..... | 100 |
| 7.1. LE MODELE PRESSION-ALTERATION-IMPACTS APPLIQUE AUX MARAIS LITTORAUX | 100 |
| 7.2. LES IMPACTS SUR LES FLUX HYDRIQUES ET LES NIVEAUX D'EAU | 101 |
| 7.3. IMPACTS SUR LES FLUX SEDIMENTAIRES | 104 |
| 7.4. IMPACTS SUR LA PHYSICO-CHIMIE DES EAUX | 106 |
| 7.5. IMPACTS SUR LES HABITATS | 108 |
| 7.6. LES IMPACTS DIRECTS SUR LA LIBRE CIRCULATION DES ESPECES | 108 |
| 7.7. LES IMPACTS INDIRECTS SUR LE FONCTIONNEMENT DES POPULATIONS..... | 116 |
| 7.8. BILAN DES IMPACTS DES OUVRAGES DANS LES MARAIS LITTORAUX | 118 |

| | |
|--|------------|
| 8. LES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR LA CONTINUITÉ ECOLOGIQUE..... | 120 |
| 8.1. ATTENUATION DES IMPACTS VS RESTAURATION..... | 120 |
| 8.2. DEMARCHE POUR LE CHOIX ET LE DIMENSIONNEMENT DES SOLUTIONS TECHNIQUES | 121 |
| 8.3. LES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR L'ATTENUATION DES IMPACTS SUR LA LIBRE CIRCULATION DES ESPECES..... | 124 |
| 8.4. LES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR LA RESTAURATION | 151 |
| 9. SYNTHESE PARTIE 2..... | 154 |
| 9.1. TYPOLOGIE DES OUVRAGES EN MARAIS | 154 |
| 9.2. LES IMPACTS DES OUVRAGES..... | 155 |
| 9.3. LES SOLUTIONS TECHNIQUES | 155 |
| 10. BIBLIOGRAPHIE | 163 |
| 11. ANNEXES - FICHES SYNTHETIQUES PAR ESPECES | 185 |

1. CONTEXTE GENERAL, OBJECTIFS

1.1. CONTEXTE GENERAL

Les marais littoraux sont des habitats aquatiques à très forts enjeux. Bien que semi-naturels ou artificiels, ils constituent à la fois des écosystèmes aquatiques à part entière et des zones de transition entre les milieux salins et d'eau douce. Ces milieux peuvent être au contact direct de la mer dans des baies ou ils peuvent se situer dans des estuaires ou en amont de lagunes comme dans la zone méditerranéenne. Ils participent donc souvent à la diversité des habitats des systèmes lagunaires et estuariens.

Au sein de ces écosystèmes, le rôle des connectivités hydrauliques est essentiel au fonctionnement hydrique, physico-chimique, trophique mais également vis-à-vis des déplacements et migrations des espèces notamment piscicoles et carcinicoles.

Pour les poissons, les marais littoraux assurent plusieurs types de fonctions vis-à-vis de leur cycle biologique (Pihl *et al.*, 2002). Ils peuvent être un habitat de reproduction, de nurserie pour les juvéniles, un habitat de refuge, un habitat de croissance ou simplement une zone de migration avant l'accès à des zones dulçaquicoles.

De très nombreux marais littoraux sont aménagés et ce depuis très longtemps. Des ouvrages hydrauliques permettent une régulation des niveaux et des volumes d'eau ainsi que la gestion des entrées et sorties d'eau salée, saumâtre ou douce. Ces ouvrages constituent des obstacles partiels ou totaux aux déplacements des espèces et au transit sédimentaire.

Concernant la continuité écologique, les actions portent surtout sur la limitation des impacts de ces ouvrages vis-à-vis des migrations piscicoles.

Les actions les plus significatives ont, pour l'instant, porté sur l'espèce anguille avec la mise en œuvre de modalités de gestion des 1^{ers} ouvrages à la mer afin de favoriser la montaison des civelles. Ces actions qui visent à retarder la fermeture des ouvrages ou à assurer le passage d'un volume d'eau vers l'amont peuvent également permettre le franchissement d'autres espèces au comportement proche des civelles. Des tests ont également été conduits pour les lampreys (Silva *et al.*, 2017) ou les aloses (Alcott *et al.*, 2021).

Afin de mettre en œuvre des solutions techniques adaptées à la migration et au déplacement des espèces de poissons et de crustacés dans les marais littoraux, il est nécessaire de disposer d'un bilan des connaissances biologiques pour un cortège d'espèces représentatives des communautés de ces milieux ainsi que des espèces à fort enjeu de conservation.

L'Office Français pour la Biodiversité a confié une mission au cabinet d'études ECOGEA afin d'établir une synthèse des connaissances actuelles concernant les cycles biologiques de 17 espèces de poissons et de 4 espèces de crustacés, leurs relations aux marais littoraux et leurs besoins en termes de libre circulation.

1.2. OBJECTIFS

Les objectifs de cette synthèse bibliographique sont d'établir un bilan des connaissances :

- Sur les habitats et les espèces (Partie I) :
 - o Des cycles biologiques,
 - o Des habitats utilisés,
 - o Des préférences écologiques,
 - o Des comportements migratoires,
 - o Des capacités de franchissement,
 - o Des potentialités d'accueil des marais,
- Sur les impacts des aménagements et des ouvrages ainsi que sur les solutions techniques de réduction de ces impacts (Partie II)

Partie 1 : les habitats et les espèces

Cette 1^{ère} partie porte sur le bilan des connaissances des habitats et des cycles biologiques des espèces.

Elle est organisée en 5 parties distinctes :

- Contexte et les objectifs,
- Méthodologies et présentation la liste des espèces identifiées pour réaliser le travail bibliographique,
- Connaissances des habitats constituant les marais littoraux,
- Connaissances sur les espèces
- Synthèse

2. METHODOLOGIE ET PRESENTATION DES ESPECES CONCERNES

2.1. METHODOLOGIE

Dans une 1^{ère} étape, le bilan des connaissances s'appuie sur la bibliographie scientifique et technique disponible à la fois dans les revues scientifiques mais également au sein des organismes en charge de l'étude et de la gestion des marais littoraux. Le travail de recherche bibliographique s'est basé sur une analyse de l'ensemble des connaissances issues de la littérature scientifique et des rapports techniques via l'accès aux bases de données de publications scientifiques à comité de lecture sur la base du croisement de mots-clés :

- Marais littoraux – *salt marsh, coastal marsh, lagoon,*
- Habitats des marais littoraux – *Habitat salt marsh*
- Ecologie, biologie, cycle de vie des différentes espèces piscicoles et de crustacés retenues – *Ecology, biology, life-cycle of the different selected fish and shellfish species,*
- Comportement migratoire des espèces de poissons et de crustacés sélectionnées – *migration behaviour of the different selected fish and shellfish species,*
- Capacités de nage et de saut des espèces de poissons et de crustacés sélectionnées - *Swimming and jumping ability of the different selected fish and shellfish species.*

2.2. PRESENTATION DES ESPECES CONCERNES

Le travail de synthèse des connaissances s'appliquait initialement selon la commande de l'OFB à 20 espèces de poissons et 5 espèces de crustacés qui ont été préalablement sélectionnées à l'issue d'un premier travail préparatoire d'un groupe d'experts. Pour les brèmes, nous avons considéré les deux espèces (brème commune et brème bordelière). Les évolutions de la systématique amènent aujourd'hui à différencier deux espèces d'aloé feinte (atlantique et méditerranéenne), deux espèces de brochet (commun et aquitain) et deux espèces de crabes vert (atlantique et méditerranéenne).

| Nom commun | Nom latin |
|------------------------------|-------------------------------|
| Anguille | <i>Anguilla anguilla</i> |
| Grande Alose | <i>Alosa alosa</i> |
| Alose feinte atlantique | <i>Alosa fallax</i> |
| Alose feinte méditerranéenne | <i>Alosa agone</i> |
| Lamproie marine | <i>Petromyzon marinus</i> |
| Lamproie fluviatile | <i>Lampetra fluviatilis</i> |
| Flet | <i>Platichthys flesus</i> |
| Mulet porc | <i>Chelon ramada</i> |
| Mulet doré | <i>Chelon auratus</i> |
| Brochet | <i>Esox Lucius</i> |
| Brochet aquitain | <i>Esox aquitanicus</i> |
| Brème commune | <i>Abramus brama</i> |
| Brème bordelière | <i>Blicca bjoerkna</i> |
| Carpe | <i>Cyprinus carpio</i> |
| Epinoche | <i>Gasterosteus aculeatus</i> |
| Athérine | <i>Atherina boyeri</i> |
| Bar | <i>Dicentrarchus labrax</i> |
| Sole | <i>Solea solea</i> |
| Daurade royale | <i>Sparus aurata</i> |
| Maigre | <i>Argyosomus regius</i> |

Tableau 1 : Les 20 espèces de poissons concernées par la synthèse.

| Nom commun | Nom latin |
|--|--|
| Crevette grise | <i>Crangon crangon</i> |
| Crevette blanche | <i>Palaemon longirostris</i> |
| Bouquet des canaux | <i>Palaemon varians</i> |
| Crabe vert atlantique et Crabe vert méditerranéen | <i>Carcinus maenas</i> <i>Carcinus aestuarii*</i> |

Tableau 2 : Les 5 espèces crustacés concernées par la synthèse. * Crabe vert de méditerranée.

Pour les 20 espèces poissons, des regroupements ont été établis sur la base du déroulement des cycles biologiques et des habitats utilisés par les différentes espèces. Nous avons ainsi rassemblé les espèces migratrices amphihalines utilisant alternativement les eaux salées, saumâtres et douces selon leur phase du cycle biologique (Elliott et al., 2007 ; Franco et al., 2008 ; Nicolas, 2010). Ont ainsi été différencié, 7 groupes fonctionnels.

| | |
|---|---|
| Migrateurs amphihalins catadrome (CA) | Anguille*, Mulet porc**, Flet |
| Migrateurs amphihalins anadrome (AN) | Lamproie marine et fluviatile, Alose feinte et Grande Alose |
| Marines migratrices (MM) | Daurade, Sole, Maigre, Bar, mulet doré |
| Marines occasionnelles (MO) | Crevette blanche |
| Lagunaires sédentaires (LG) | Athérine, Epinoche***, Bouquet des canaux |
| Lagunaires migratrices (LG-M) | Crevette grise, Crabe vert |
| Holobiotiques continentales – Espèces d'eau douce (ED) | Brèmes, Brochets, Carpe, Epinoche*** |

Tableau 3 : Classification des 20 espèces concernées par le bilan des connaissances en fonction de leur utilisation des marais.

* L'anguille peut passer une grande partie de sa phase de croissance en eau saumâtre. ** Le mulet porc est aussi considéré comme une espèce migratrice marine. *** L'épinoche est une espèce très plastique pouvant effectuer tout son cycle de vie en lagune ou estuaire.

| Espèces marines | |
|----------------------------------|---|
| MO | Espèces marines occasionnelles qui se reproduisent en mer et entrent en nombre restreint dans les systèmes lagunaires. Elles sont le plus fréquemment observées dans les parties avales euryhalines |
| MM | Espèces marines migratrices, qui se reproduisent en mer et entrent régulièrement dans les lagunes en nombre important, plus particulièrement au stade juvénile. Ces espèces sont souvent euryhalines. Certaines dépendent pendant leur stade juvénile des lagunes, tandis que d'autres utilisent les lagunes de manière opportuniste. |
| Espèces lagunaires | |
| LG | Espèces lagunaires résidentes capable de réaliser la totalité de leur cycle de vie biologique en lagune. Certaines peuvent également être représentées par des populations marines discrètes. |
| LG-M | Espèces lagunaires, qui se reproduisent en lagune et dont les femelles vont en mer pour l'écllosion de leurs œufs en larves pélagiques. Catégorie utilisée pour le crabe vert de Méditerranée (<i>Carcinus aestuarii</i>) et la crevette grise (<i>Crangon crangon</i>) |
| Espèces d'eau douce | |
| ED | Espèces qui se reproduisent en eau douce, dont la distribution se limite aux parties dulçaquicoles des systèmes lagunaires. |
| Espèces migratrices amphihalines | |
| CA | Espèces catadromes qui passent la totalité de leur vie trophique en eau douce et qui migrent ensuite en mer pour se reproduire. Cas de l'anguille européenne (<i>Anguilla anguilla</i>) et du flet (<i>Platichthys flesus</i>). |
| AN | Espèces anadromes croissant en mer jusqu'à atteindre leur maturité et migrant dans les rivières où elles se reproduisent. Cas de l'aloise feinte du Rhône (<i>Alosa fallax rhodanensis</i>). |

En termes de statut de protection, ce sont surtout les espèces migratrices amphihalines et notamment l'anguille, la grande alose et la lamproie marine qui bénéficient de protection réglementaire. Pour les autres espèces et notamment les espèces marines, hormis des réglementations portant sur les pratiques de pêche, aucune ne bénéficie de statut de protection particulier.

| Nom commun | Nom latin | Statut UICN France | Convention de Berne | Directive européenne "Habitats" | Convention OSPAR | Autres textes | Arrêtés nationaux |
|---------------------|-----------------------------|--------------------|---------------------|---------------------------------|------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Anguille | <i>Anguilla anguilla</i> | CR | | | Ann V | Règlement Européen CE 1100/2007 | |
| Grande Alose | <i>Alosa alosa</i> | CR | Ann III | Ann II et V | Ann V | | Arrêtés 8/12/1988 06/01/2020 |
| Alose feinte | <i>Alosa fallax</i> | NT | Ann III | Ann II et V | | | Arrêtés 8/12/1988 06/01/2020 |
| Lamproie marine | <i>Petromyzon marinus</i> | EN | Ann III | Ann II | Ann V | | Arrêtés 8/12/1988 06/01/2020 |
| Lamproie fluviatile | <i>Lampetra fluviatilis</i> | VU | Ann III | Ann II | | | Arrêtés 8/12/1988 06/01/2020 |
| Flet | <i>Platichthys flesus</i> | DD | | | | | |
| Mulet porc | <i>Chelon ramada</i> | LC | | | | | |
| Mulet doré | <i>Chelon auratus</i> | DD | | | | | |

Tableau 5 : Présentation des statuts de protection des espèces migratrices amphihalines - Arrêté du 8/12/1988 visant à la protection des œufs des espèces de poissons visées - Arrêté du 6 janvier 2020 fixant la liste des espèces animales et végétales à la protection desquelles il ne peut être dérogé qu'après avis du Conseil national de la protection de la nature.

| Nom commun | Nom latin | Statut UICN France | Arrêtés nationaux |
|-----------------------------------|--|--------------------|---------------------------------|
| Brochet | <i>Esox Lucius</i> | VU | Arrêtés 8/12/1988 06/01/2020 |
| Epinoche | <i>Gasterosteus aculeatus</i> | LC | |
| Brème commune et brème bordelière | <i>Abramis brama</i> <i>Blicca bjoerkna</i> | LC | |
| Carpe | <i>Cyprinus carpio</i> | LC | |

Tableau 6 : Présentation des statuts de protection des espèces holobiotiques continentales.

| Nom commun | Nom latin | Statut UICN France |
|----------------|-----------------------------|--------------------|
| Bar commun | <i>Dicentrarchus labrax</i> | LC |
| Sole | <i>Solea solea</i> | LC |
| Daurade royale | <i>Sparus aurata</i> | LC |
| Athérine | <i>Atherina hepsetus</i> | |
| Maigre | <i>Argyrosomus regius</i> | |

Tableau 7 : Présentation des statuts de protection des espèces holobiotiques marines.

Globalement, tous les éléments disponibles indiquent que les stocks de migrants amphihalins ont régressé au cours des 50 dernières années (anguille) voire des 20 ou 10 dernières années (grande alose, lamproie marine).

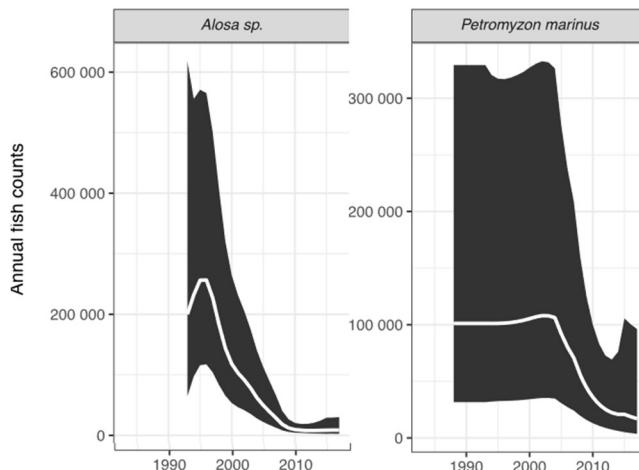


Figure 1 : Évolution des effectifs annuels de grande alose et de lamproie marine additionnés à l'échelle nationale. Les courbes blanches représentent la variation moyenne des effectifs annuels et les rubans gris les intervalles de confiance à 95%. (in Hoffmann Legrand, 2021).

Pour les espèces marines, les situations sont différentes en fonction des zones géographiques. Les stocks de sole en manche et mer du nord sont considérés comme encore trop fortement exploités par rapport à leur capacité de renouvellement (ICES 2021a et ICES 2021b). Dans le Golfe de Gascogne, le stock n'est plus actuellement considéré comme surexploité mais comme dégradé (ICES 2022). Des préoccupations apparaissent également pour les stocks de bar selon les zones géographiques.



Figure 2 : Evolution des débarquements mondiaux de bar commun (source FAO 2022)

2.3. LES ENJEUX

Les marais littoraux sont des espaces d'interface entre les milieux maritimes et continentaux (Mc Cowen et al., 2017 ; Taylor et al., 2021) d'une très forte productivité biologique (Kennish et Paerl 2010 ; Le Pape et Bonhommeau, 2015 ; Tableau et al., 2015). Ces marais ont une topographie relativement plate et comportent des réseaux de chenaux, de plans d'eau et de terrains inondables. En conditions naturelles, l'inondation par la marée est un facteur essentiel du fonctionnement naturel de ces écosystèmes créant une variabilité des conditions hydrologiques et de la salinité qui ont une incidence sur l'organisation des communautés végétales et le fonctionnement global de l'écosystème (Pennings et Bertness, 2001).

En France comme à travers une grande partie du monde, ces écosystèmes ont été fortement aménagés créant de nouvelles structures et une nouvelle dynamique hydrique et saline. Ces aménagements ont débuté pour certains il y a plus d'un millénaire. Par la création de digues, de canaux, d'ouvrages de régulation, le fonctionnement hydraulique et par voie de conséquence le fonctionnement physico-chimique, morphologique et écologique ont été profondément modifiés. Les espèces aquatiques se sont adaptées à ces fonctionnements.

Ces milieux aquatiques dont une grande partie sont artificialisés remplissent de nombreuses fonctions tant hydrologiques, physico-chimiques que biologiques, fonctions qui se traduisent en d'importants services écosystémiques dont la production de poissons (Levin et al. 2001; Elliott and Hemingway 2002 ; Zedler et Kercher, 2005) même si ces services sont parfois éloignés de ceux rendus par les zones humides ayant précédées ces aménagements humains (Sherren et al., 2021). Les marais salés et saumâtres accueillent une biodiversité riche notamment en termes piscicoles (jusqu'à 26 espèces (Feunteunet al. 1999)) avec un cortège d'espèces très diversifiées tant sédentaires que migratrices (Kara et Quignard 2018a, 2018b, 2018c).

A plus large échelle, une synthèse des suivis piscicoles de six marais intertidiaux européens a permis de recenser 97 espèces appartenant à 40 familles avec des alternances, selon les marais, d'espèces marines juvéniles ou de taxons d'eau douce/diadromes (Mathieson et al. 2000).

Au niveau piscicole, les enjeux associés à ces milieux sont liés :

- À leur capacité d'accueil pour la croissance de certains stades de développement et plus particulièrement pour les jeunes stades (larves et juvéniles)(rôle de nourricerie (Beck et al., 2001), et/ou pour la reproduction de certaines espèces essentiellement phytophiles,
- Aux potentialités de refuge vis-à-vis de fluctuations environnementales telles que réchauffement des eaux, dégradation de la qualité physico-chimique ou fortes hydrologies essentiellement dans le zones aval des estuaires et dans les lagunes. Ces notions de refuge et d'évitement de conditions environnementales difficiles peuvent également fonctionner dans le sens du marais vers des zones aval ou amont dans le cas où les conditions dans le marais se dégradent.

Ces enjeux sont donc fortement liés aux capacités de déplacement et de migration des espèces au sein de ces milieux et/ou entre ces milieux et les zones amont et aval (voir chapitre 4.4). En effet, s'il est possible d'identifier différents types d'habitats au sein de ces entités de marais littoraux pouvant être regroupés en Unités Hydrauliques Cohérentes (UHC) (Amand et al., 2021), il est essentiel de considérer que, pour de nombreuses espèces notamment de poissons, les déplacements et/ou les migrations au sein et surtout entre ces unités sont

souvent indispensables à la réalisation des cycles biologiques. La gestion hydraulique de ces espaces étant directement dépendante de la présence d'ouvrages de régulation (vannes, clapets), le déplacement de ces espèces au sein des UHC et entre les UHC, dépend des modalités de gestion de ces ouvrages ainsi que de leur franchissabilité (qui peut varier en fonction des espèces).

Dans le cadre de la gestion, la protection et/ou la restauration des stocks de nombreuses espèces présentes dans ces habitats et notamment celles identifiées dans cette synthèse, l'évaluation des impacts des ouvrages est un élément essentiel dans la mise en œuvre de mesures visant à faciliter leur libre circulation. Cette évaluation repose à la fois sur la connaissance des besoins des espèces en termes d'habitat, sur leur cycle biologique, sur leur capacité de franchissement ainsi que sur les caractéristiques des habitats et surtout leur évolution selon le mode de gestion des marais, la météorologie et le changement climatique.

En effet, ce dernier point est important à prendre en compte pour mieux identifier et prioriser les enjeux en termes de libre circulation des espèces.



Ce qu'il faut retenir : Les 20 espèces de poissons et les 5 espèces de crustacés concernées par cette synthèse des connaissances peuvent être classées selon leur appartenance à 7 groupes fonctionnels relatifs à leur cycle de vie (les espèces marines migratrices et marines occasionnelles, les espèces lagunaires résidentes et celles se reproduisant en mer, les espèces d'eau douce et enfin les espèces migratrices amphihalines anadromes et catadromes). L'appartenance à ces groupes définit à la fois des exigences vis-à-vis des conditions environnementales notamment de la salinité mais également des besoins en termes de migrations et de déplacements.

Du point de vue des statuts de protection, hormis l'anguille, la grande alose et la lamproie marine, peu d'espèces bénéficient de statut de protection même si des mesures réglementaires portant sur la pêche sont mises en place pour certaines espèces marines (taux autorisés de capture, taille minimale de capture, interdiction de pêche sur certains secteurs).

Les stocks de certaines espèces sont soit en forte régression (anguille, aloes, lamproies marines) soit fragilisés dans certaines zones (sole, bar).

Les zones de marais constituant des habitats de nourricerie et/ou de corridor écologique pour beaucoup des espèces étudiées, la conservation et la restauration de ces milieux notamment de leur connectivité représentent un enjeu fort, particulièrement dans le contexte du changement climatique.

3. SYNTHESE DES CONNAISSANCES SUR LES HABITATS

Ce chapitre 3 est consacré à la présentation des connaissances sur les habitats des marais littoraux. Il s'attache à présenter le fonctionnement hydromorphologique de ces milieux, leur typologie, les principales caractéristiques physiques, biologiques et physico-chimiques des habitats qui les composent. La dernière partie est consacrée à la caractérisation du niveau trophique de ces écosystèmes. Les relations des espèces avec les caractéristiques des habitats ne sont pas présentées dans ce chapitre mais dans plusieurs parties dédiées au chapitre 4.

Pour définir les potentialités d'accueil piscicole des marais littoraux, il est nécessaire de s'appuyer sur différentes caractéristiques que l'on peut regrouper en 7 catégories :

- la morphologie caractérisée par la structuration des enchaînements de bassins (Clément 1991), les profondeurs d'eau et la forme des berges pour les hydro systèmes majoritairement constitués de bassins (marais salés atlantiques et marais et lagunes méditerranéens). Pour les hydro systèmes composés de réseaux hydrographiques réticulés ce sont les degrés de confinement gérés ou subits des casiers hydrauliques qui conditionnent les caractéristiques physiques,
- les conditions d'écoulement (hauteur d'eau vitesse) dans lesquelles on peut inclure les taux de renouvellement des eaux et le marnage.

- la physico-chimie et notamment de salinité, la température, ainsi que l'oxygène dissous qui est lié en partie aux 2 paramètres précédents.
- la couverture en macrophytes qui constituent des éléments très structurants des habitats des marais,
- les caractéristiques végétales des berges,
- la connectivité entre les différents habitats (nombre de connexions entre entités hydrauliques, existence d'ouvrages de connexion, modalités de gestion).

3.1. DEFINITIONS DES MARAIS LITTORAUX

Ce travail de synthèse bibliographique s'inscrit dans la construction d'outils d'aide à la mise en œuvre de la restauration de la continuité écologique dans les marais. Il a pour objectif de caractériser les impacts des ouvrages dans ces milieux et de présenter les retours d'expérience concernant des solutions techniques permettant de réduire ces impacts sur les populations piscicoles et carcinicoles. En cela, l'ensemble des connaissances présentées vont se centrer sur les zones humides littorales et rétro-littorales aménagées et gérées à l'aide des ouvrages. Le travail ne porte donc pas sur les zones non aménagées notamment dans les estuaires et les lagunes.

La majorité des éléments bibliographiques analysés dans cette synthèse porte donc sur des habitats appartenant à la dénomination **de marais littoraux ou rétro-littoraux**. Ils correspondent à des milieux humides caractérisé par une gestion effective des niveaux d'eau et un entretien régulier des digues et des chenaux, conditions indispensables pour que ces milieux humides d'origine anthropique conservent leur caractère humide et leurs qualités fonctionnelles. Leur périmètre géographique et/ou administratif se définit dans leurs statuts juridiques (Amand et al., 2021). Ces marais appartiennent à un plus grand ensemble de milieux rassemblés sous la dénomination de lagunes côtières (Habitat d'Intérêt Communautaire (HIC) - code 1150) qui se définit comme « *des étendues d'eau côtière, de salinité et de volume d'eau variables, ayant une connexion limitée (physiquement ou temporellement) avec le milieu marin dont elles sont séparées (totalement ou partiellement) par une barrière physique* ».

La salinité inter- et intra-pièces d'eau des lagunes côtières varie dans le temps et l'espace selon son origine géomorphologique, les apports d'eau douce (nappe phréatique, cours d'eau, précipitations), l'évaporation et les apports d'eau marine (marées, tempêtes, variations de connectivité à la mer ou envahissement temporaire par la mer en hiver). La salinité peut varier et présenter une forte variabilité saisonnière (oligo- à hyperhalin). Les étendues d'eau présentant une salinité nulle permanente sont exclues de cette synthèse.

Aucun critère de substrat, de profondeur ni de communautés biologiques caractéristiques n'entre en compte dans la définition de l'HIC 1150. L'identification de communautés caractéristiques peut être un indice de présence d'une lagune mais il n'est pas suffisant pour déterminer la présence de l'HIC 1150.

On distingue plusieurs types de lagunes pouvant correspondre à l'HIC 1150, selon leur durée d'immersion (lagunes permanentes ou temporaires) et leur degré de connectivité à la mer qui peut être direct (lagunes ouvertes ou fermées, nombre de connexions) ou indirect via d'autres lagunes intercalée (Barré et al., 2020 ; Fig. 5). Le périmètre de l'HIC est défini par les limites maximales d'étendue de la pièce d'eau jusqu'à la mer ouverte (hors événements extrêmes), incluant l'arrivée d'eau même si elle est d'origine artificielle, et excluant les parties émergées en permanence. Lorsque la lagune est ouverte sur la mer, la limite physiographique aval est déterminée par une droite entre les deux indentations du trait de côte (naturelles ou artificielles) au niveau de l'arrivée d'eau saline dans la lagune.

Les lagunes aménagées, qu'elles soient exploitées (saliculture, aquaculture, loisirs, etc.) ou non, peuvent être également considérées comme HIC 1150 (sous réserve de respect des critères précédents), à condition qu'elles aient pour origine une lagune naturelle ou une lagune exploitée avant 1992 (année de la promulgation de la Directive Habitat Faune Flore), et qu'elles soient caractérisées par un impact mineur de l'activité humaine (De Bettignies et al., 2021)

Cette terminologie de lagune côtière recouvre des situations très diverses, liées à la variabilité des apports d'eau salée et d'eau douce, tant sur les littoraux des mers à marées qu'en Méditerranée. Certaines lagunes sont naturelles et occupent des dépressions littorales alimentées périodiquement par la mer. Les autres sont d'anciens marais aménagés par l'homme depuis fort longtemps : marais salants, réservoirs à poissons euryhalins,

bassins d'aquaculture (Bensettini et al., 2004). Cet habitat « lagunes côtières » est présent sur les deux façades métropolitaines avec des caractéristiques différentes dans ces deux domaines biogéographiques, ce qui conduit à différencier :

- Lagunes en mer à marée (façade atlantique) (code 1150*-1)
 - Lagunes méditerranéennes (code 1150*-2).

Pour les lagunes en mer à marée de la façade atlantique, une typologie issue des propositions du CREAA (2008) complétée par les travaux de Richeux (2012), Lepareur (2013) et Lepareur et al. (2013) est proposée (figure 5). Elle différencie en premier lieu, les habitats lagunaires d'origine naturelle et les habitats lagunaires qui présentent un caractère anthropique (comme les marais littoraux concernés par la synthèse). Les lagunes naturelles sont ensuite scindées en différents types selon leur degré de connexion avec la mer et les marais aménagés sont dissociés selon leur morphologie et les usages pratiqués.

1. Lagunes côtières 1150*
 - 1.1. Lagunes en mer à marée (façade atlantique) 1150*-1
 - 1.1.1. Habitat lagunaire en milieu naturel
 - 1.1.1.1. Lagunes ouvertes, soumises aux flux de la marée
 - 1.1.1.2. Lagunes semi-fermées ou à système de retenue naturel
 - 1.1.1.3. Lagunes à percolation
 - 1.1.1.4. Lagunes fermées ou isolées
 - 1.1.2. Habitat lagunaire en marais aménagés
 - 1.1.2.1. Bassin submersible, non endigué (type 1)
 - 1.1.2.1.1. Usage aquacole (ostréicole) (claire de sartières)
 - 1.1.2.1.2. Usage à vocation environnementale
 - 1.1.2.2. Petite claire dans champs de claires (type 3)
 - 1.1.2.2.1. Usage aquacole (ostréicole, vénéricole, pénécole)
 - 1.1.2.2.2. Usage à vocation environnementale
 - 1.1.2.3. Claire profonde (type 4)
 - 1.1.2.3.1. Usage aquacole (ostréicole, pénécole)
 - 1.1.2.3.2. Usage à vocation environnementale
 - 1.1.2.4. Grand bassin / réserve (type 5)
 - 1.1.2.4.1. Usage aquacole (ostréicole, vénéricole, pénécole) (grande claire)
 - 1.1.2.4.2. Usage salicole (vasais, jas, vasière, perle, loire)
 - 1.1.2.4.3. Usage à vocation environnementale
 - 1.1.2.5. Premier bassin d'évaporation salicole
 - 1.1.2.5.1. Usage salicole (métière, cobier, conche)
 - 1.1.2.5.2. Usage à vocation environnementale
 - 1.1.2.6. Zone de production salicole
 - 1.1.2.6.1. Usage salicole (champs de marais, salines (intérieures), champs d'œillet)
 - 1.1.2.6.2. Usage à vocation environnementale
 - 1.1.2.7. Mare de tonne
 - 1.1.2.8. Nurserie (type 6)
 - 1.1.2.8.1 Usage aquacole (conchylicole)
 - 1.1.2.9. Fossé à poissons (type 7)
 - 1.1.2.9.1. Usage piscicole
 - 1.1.2.9.2. Usage à vocation environnementale
 - 1.1.2.10. Chenal

Figure 3 : Typologie de l'habitat décliné 1150-1 Lagunes en mer à marée (façade atlantique) (d'après Lepareur et al., 2013).
En bleu, types décrits et définis par le CREAA (2008).

De manière plus générale, les marais littoraux sont couramment différenciés en :

Les Marais doux correspondent à des espaces parcourus uniquement par des eaux douces. On peut y distinguer selon la topographie et les usages les marais mouillés, cultivés ou prairiaux. La salinité de l'eau libre y fluctue entre 0.5 g/l l'hiver et 5 à 8 g/l l'été. Ces marais en Atlantique, Manche et Mer du Nord constituent plus de 80 %

des surfaces de marais littoraux endigués (source FMA) et moins de 10% des surfaces de marais et lagunes en façade méditerranéenne.

Les Marais salés correspondent à des espaces endigués pouvant accueillir des eaux salées ou saumâtres provenant de la mer, des estuaires et/ou des lagunes. Il est possible de distinguer en fonction des usages, de la gestion hydraulique et de la morphologie les marais salants, les marais à poissons et les marais conchyliocoles. Ces marais représentent moins de 20 % des marais littoraux endigués côté atlantique, Manche, mer du Nord (source FMA), et plus de 90% des surfaces marais et lagunes en façade méditerranéenne.

De fait, la forte disparité de représentativité de ces deux grands types de marais (doux ou salés) entre les deux façades, Atlantique et Méditerranéenne, est fortement induite par le contraste d'influence de la marée (bien plus faible en Méditerranée

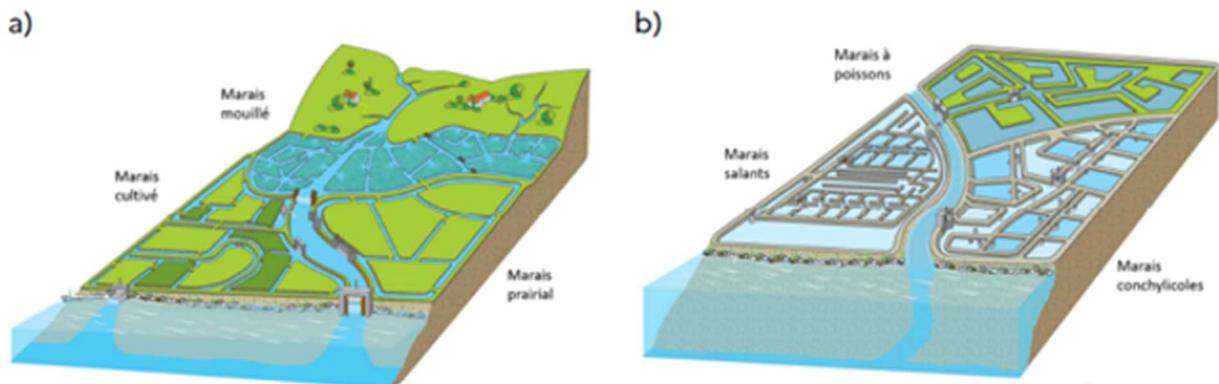
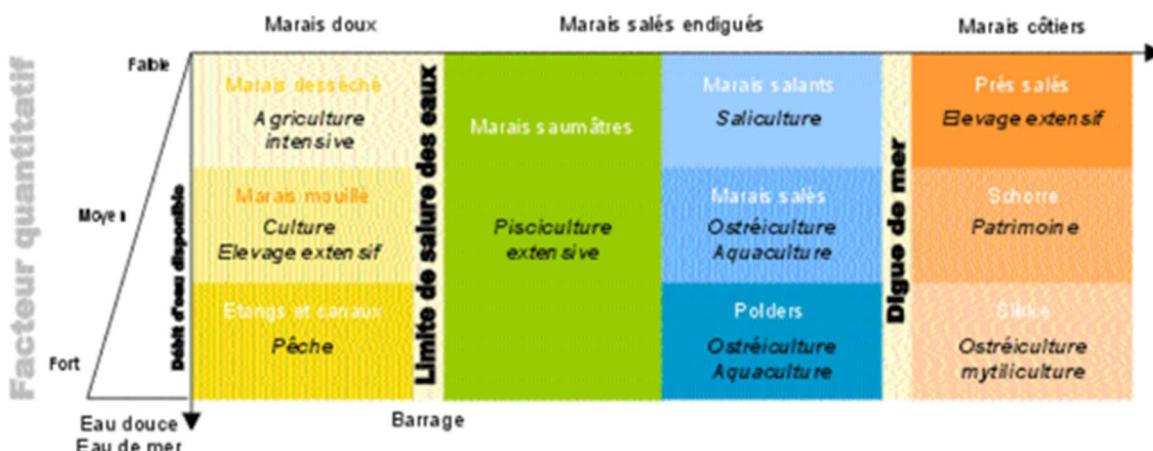


Figure 4 : Schéma d'illustration de marais doux (a) et de marais salés (b) (in Anras, 2013).



La salinité est en effet le premier élément structurant pour les communautés biologiques et notamment les poissons et les crustacés.

Les estuaires de la façade atlantique constituent des milieux particuliers dans lesquels se développent une grande diversité de marais. Dans la partie amont, les niveaux d'eau varient, mais l'eau reste douce. À l'aval, les sédiments et les matières en suspension apportées par le fleuve sont interceptées par la marée. Elles s'accumulent et s'agglomèrent sous forme d'un bouchon vaseux, opaque, qui se déplace avec la marée : les particules qui le composent sont alors bloquées dans l'estuaire et peuvent mettre plusieurs mois à atteindre le large. Les estuaires aux apports d'eau douce faibles à très faibles ont une physionomie souvent différente, soit de baies marines aux vastes zones intertidales (i.e baie de Somme, Baie de St Brieux...) soit sous forme d'Aber encaissé dans le relief (i.e. abers bretons). Lorsque les apports fluviaux sont faibles ($> 10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), on a plutôt des systèmes de type baie marine (salinité élevée partout sauf aux environs de la limite de salure des eaux). La succession est alors dominée par estran vase/sable → marais salé → marais doux.

Lorsque les apports d'eau douce sont importants, il se développe une zone de mélange hydrique entre l'eau de mer et l'eau douce donnant lieu à un gradient de salinité qui s'installe spatialement selon l'axe du fleuve, mais aussi latéralement depuis les prés salés jusque dans les marais endigués.

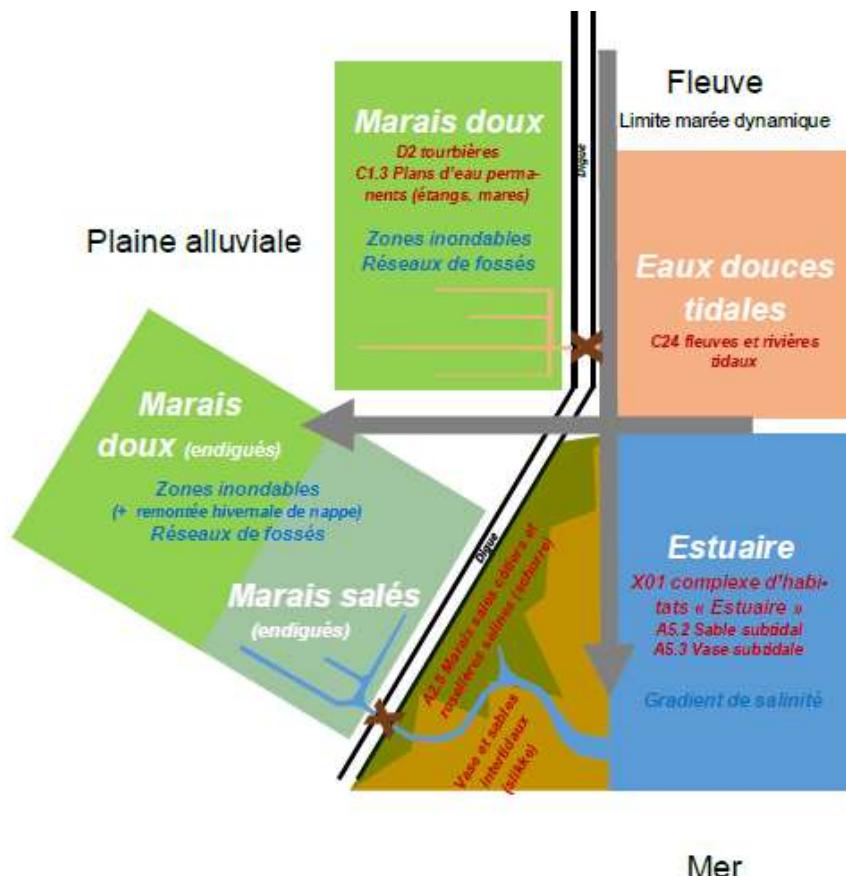


Figure 6 : Typologie simplifiée de la mosaïque d'habitats composant les systèmes littoraux en domaine estuaire de Manche et Atlantique.

Les aménagements peuvent être absents ou présents et leur pression sur le système très variable. Ils ont parfois complètement modélisé le paysage en arrière des digues de protection, comme c'est le cas dans certains secteurs de la façade Atlantique (i.e. bassin de Marennes Oléron).

Les systèmes lagunaires caractérisent le littoral Méditerranéen où les zones intertidales sont absentes. L'effet des apports d'eau douce est généralement réduit sur le plan spatial et plus stable dans le temps, comparativement aux estuaires à marée.



Figure 7 : Schéma de fonctionnement d'une lagune méditerranéenne (Source : <https://www.eaufrance.fr/estuaires-lagunes-et-deltas-des-ecosystemes-riches-en-biodiversite>)

Le SDAGE du bassin Rhône-Méditerranée-Corse a proposé une typologie des zones humides qui différencie également les milieux salés (eaux marines) des milieux d'eau douce. Au sein des milieux salés, elle différencie les grands estuaires, les baies estuaires moyens, les marais et lagunes côtiers et les marais aménagés (tableau 8).

| | Types SDAGE | Définition RMC | Sous-types | CORINE Land Cover | CORINE Biotope |
|------------------------|--|--|--|--------------------------|---|
| Eaux marines | | | | | |
| 1 | Grands estuaires | Larges embouchures de fleuve dans les eaux marines, soumises à l'action des marées (< à 6m) | | 5.2.2 Estuaires | 11 Mers et océans 12 Bras de mer, baies et détroits 13 Estuaires et rivières tidales (soumises à marées) 14 Vasières et bancs de sable sans végétation 15 Marais salés, près salés, steppes salées 16 Dunes marines et plages de sable 17 Plages de galets 21 Lagunes 23 Eaux stagnantes, saumâtres et salées 53 Végétation de ceinture de bord des eaux |
| 2 | Baies et estuaires moyens-plats | Embossures de cours d'eau dans les eaux marines où l'influence de la marée n'est pas prépondérante, deltas | Vasières Herbiers, récifs Prés-salés | | |
| 3 | Marais et lagunes côtiers | Milieu littoral saumâtre à faible renouvellement des eaux et au fonctionnement globalement naturel | Marais Prés-salés Lagunes Arrières-dunes Sansouires Roselières | 5.2.1 Lagunes littorales | |
| 4 | Marais saumâtres aménagés | Milieu littoral saumâtre à faible renouvellement des eaux et au fonctionnement profondément artificialisé | Marais salants Bassins aquacoles | 4.2.2 Marais salants | 89 Lagunes et réservoirs industriels, canaux |
| Eaux courantes | | | | | |
| 5 et 6 | Bordures de cours d'eau et plaines alluviales | Ensemble des zones humides du lit majeur du cours d'eau | Grèves nues ou végétalisées Annexes fluviales Ripisylves Prairies inondables | | 24 Eaux courantes 37 Prairies humides et communautés d'herbacées hautes 44 Forêts et fourrés alluviaux très humides 53 Végétation de ceinture de bord des eaux |
| Eaux stagnantes | | | | | |
| 7 | Zones humides de bas fonds en tête de bassin | Zones humides de tête de bassin alimentées par les eaux de ruissellement et les eaux de pluie | Tourbières Milieux fontinaux Prairies humides Prairies tourbeuses Podzines | 4.1.2 Tourbières | 36 Pelouses alpines et subalpines 37 Prairies humides et communautés d'herbacées hautes 51 Tourbières bombées à communautés très acides 52 Tourbières de couverture 54 Bas-marais, tourbières de transition et sources |
| 8 | Régions d'étangs | Système de plans d'eau peu profonds d'origine anthropique | Etangs isolés | | 22 Eaux douces stagnantes (lacs, étangs et mares) |
| 9 | Petits plans d'eau et bordures de plans d'eau | Zones littorales et zones annexes de milieux stagnants profonds à hélophytes et hydrophytes (6 m) | Bordures de lacs Prairies humides Prairies tourbeuses | | 22 Eaux douces stagnantes (lacs, étangs et mares) 37 Prairies humides et communautés d'herbacées hautes 44 Forêts et fourrés alluviaux très humides 53 Végétation de ceinture de bord des eaux |
| 10 | Marais et landes humides de plaine et plateaux | Milieux humides déconnectés des cours d'eau et plan d'eau pouvant être temporairement exondés, connectés ou non à la nappe | Plateaux imperméables Zones de sources Tourbières Prés-salés | 4.1.1 Marais intérieurs | 31 Landes, broussailles, recrus (31.1 Landes humides) 37 Prairies humides et communautés d'herbacées hautes 51 Tourbières bombées à communautés très acides 52 Tourbières de couverture 54 Bas-marais, tourbières de transition et sources |
| 11 | Zones humides ponctuelles | Plans d'eau isolés peu profonds permanents ou temporaires | Réseau de mares ou mares permanentes ou temporaires, naturelles ou créées par l'homme | | 22 Eaux douces stagnantes (lacs, étangs et mares) |
| 12 | Marais aménagés dans un but agricole | Zones humides aménagées dans un but agricole et sylvicole, intensifs | Rizières (T3) Prairie amendée (T6 ou T10) Peupleraie (T6 et T10) | 2.1.3 Rizières | 81 Prairies fortement amendées et ensemencées 82 Cultures (82.41 Rizières) 83 Vergers (83.321 Plantations de peupliers) |
| 13 | Zones humides artificielles | Milieux humides d'eau douce résultats d'activités anthropique dont le but premier n'est pas la création de zone humide | Contre-canaux, Carrières en eau Bassins aquacoles intensifs (p.m) | | 22 Eaux douces stagnantes (lacs, étangs et mares) 89 Lagunes et réservoirs industriels, canaux |

Tableau 8 : Typologie SDAGE au bassin Rhône-Méditerranée-Corse et correspondance avec les autres typologies (in Agence de l'Eau RMC 2000, note technique SDAGE n°5).

3.2. LES HABITATS PISCICOLES ET CARCINICOLES SOUS CONTROLE D'UNE CHAINE DE CAUSALITE

Les marais littoraux constituent des écosystèmes complexes avec de fortes interactions entre les compartiments morphologiques, physico-chimiques et biologiques. A titre d'exemple, les communautés végétales seront fortement dépendantes de la morphologie des milieux aquatiques, de leur physico-chimie et de la connectivité hydraulique et elles constitueront également une structure essentielle pour l'habitat de nombreuses espèces comme les poissons, les invertébrés, les crustacés ou les mollusques (Landucci et al., 2020). Ces écosystèmes présentent à la fois une variabilité spatiale mais également temporelle. Si en conditions naturelles, la variabilité temporelle est fortement liée aux flux hydriques marins et continentaux (Ziegler et al., 2021), en marais aménagés, ce sont les travaux de l'homme qui ont structuré la morphologie et qui conditionnent le transit des volumes d'eau via les ouvrages de régulation (Anras et al., 2013). Dans ces milieux aménagés comme dans les milieux naturels, ce sont les variations saisonnières des régimes de température, de salinité et de nutriments qui vont générer les plus fortes variabilités temporelles notamment chez les communautés piscicoles.

Pour autant, même si les marais endigués restent très productifs par rapport à la majorité des autres milieux, continentaux ou océaniques, leur confinement et la spécialisation de leur usage se traduisent par des niveaux de productivité nettement inférieurs à ceux des marais maritimes ouverts (Anras et al., Ibidem).

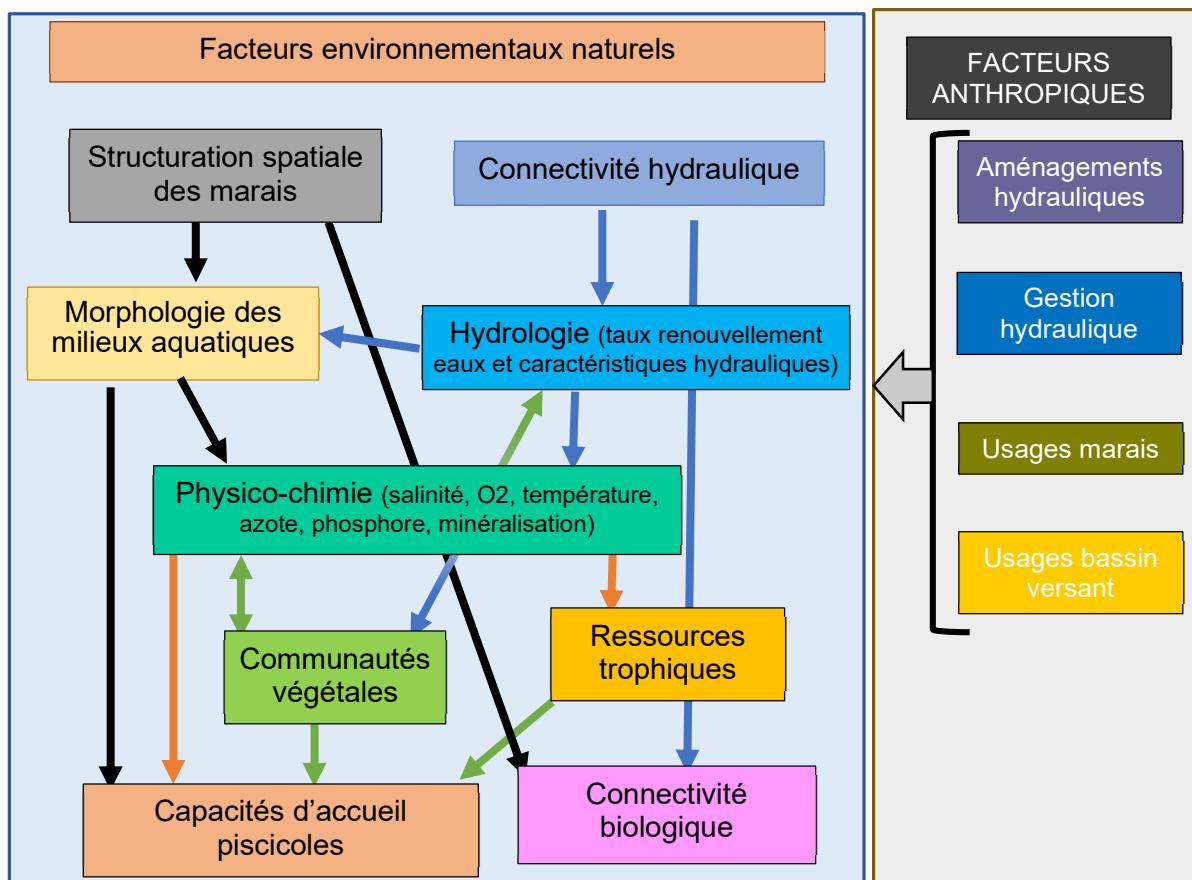


Figure 8 : Chaîne de causalité simplifiée pour la caractérisation des potentialités d'accueil piscicole des marais littoraux (flèches bleues : relations induites par les flux d'eau, flèches noires : relations induites par la morphologie, flèches oranges : relations liées à la physico-chimie des eaux, flèches vertes : relations liées à la biologie).

Les potentialités d'accueil piscicole sont donc liées à la fois aux caractéristiques des compartiments morphologiques, hydrauliques et physico-chimiques ainsi qu'à la connectivité hydraulique assurant les échanges hydrauliques entre les unités hydrauliques et les possibilités de libre circulation des espèces.

3.3. UNITES HYDRAULIQUES COHERENTES

Dans une optique de gestion, et en raison de fluctuations altitudinale infimes entre secteurs adjacents, les marais littoraux ont été organisés en casiers afin d'induire des écoulements gravitaires à l'aide d'ouvrages hydrauliques (digues et vannes). Ils sont ainsi divisés en **unités hydrauliques cohérentes (UHC)** (Amand et al., 2021), ou unités de gestion qui sont des espaces délimités physiquement par des digues ou autres exhaussements (buttes, bosses, bourrelets de curage, chemins, routes). Une UHC est donc une portion continue du territoire, disposant d'une autonomie propre en termes de niveaux d'eau et d'eau moins une entrée et une sortie d'eau (les deux pouvant être confondues. Les UHC peuvent être adjacentes ou s'emboiter comme représenté sur la figure 9.



Figure 9 : Exemple générique d'emboîtement d'UHC dans les marais atlantiques. Rouge : UHC de niveau 1, Vert : UHC de niveau 2, Bleu : UHC de niveau 3. Chaque niveau est sous dépendance hydraulique du niveau supérieur. L'UHC niveau 1 est elle-même sous dépendance du régime ou de la gestion du cours d'eau qui parcourt la bordure Nord (Photo FMA)(Anras, 2020 in Amand et al 2021). Ces dépendances (flux) peuvent être inversées ou d'une autre nature entre le régime hiver et le régime été.

3.4. LES DIFFERENTS HABITATS AQUATIQUES DES MARAIS LITTORAUX

3.4.1. LES TYPES DE SURFACES EN EAU

Les marais salés sont composés de 10 différents types de surface en eau susceptibles d'accueillir la faune aquatique et notamment piscicole (Lepareur et al., 2013) :

- Bassins submersibles non endigués - Petite Claire
- Claire profonde - Grand bassin
- Premier bassin d'évaporation salicole - Zone de production salicole
- Mare de tonne - Chenaux.
- Fossés à poissons

Les marais doux sont composés de 2 types de surfaces en eau (FMA, Anras, comm. Pers.) :

- les chenaux et fossés différenciés selon leur calibre et leur hiérarchie hydraulique (chemins de l'eau)
- les parcelles inondables

Il est aussi possible de différencier ces milieux entre les axes de circulations des eaux (chenaux, canaux) et les zones de stockages (plans d'eau divers, mares).

Ces différentes composantes des marais sont liées et gérées par des ouvrages hydrauliques qui permettent la gestion des niveaux d'eau.

D'un point de vue piscicole, les potentialités des marais sont donc liées aux surfaces en eau existantes mais surtout aux caractéristiques de ces surfaces. Ces habitats qui peuvent être permanents ou temporaires sont

hydrauliquement caractérisés par des hauteurs d'eau, des vitesses d'écoulement souvent nulles ou très faibles et des taux de renouvellement des volumes d'eau.

3.4.2. LES TYPES D'HABITATS

Dans les chapitres suivants, une présentation des différents types d'habitat est réalisée. Leur rôle vis-à-vis des cycles biologiques des espèces est détaillé dans le chapitre 4.3.2.

3.4.2.1. LES HABITATS LIES A LA VEGETATION

La végétation joue un rôle morphologique, physico-chimique et surtout biologique essentiel dans les marais (ressource nutritive, supports de ponte, abris). Les relations entre la végétation et les espèces piscicoles sont détaillées dans le chapitre 4.3.2.

Les groupements végétaux occupant ces espaces peuvent être très diversifiés (Duhamel et al., 2017. Landucci et al., (2020) ont proposé une classification en groupes et sous-groupes fonctionnels permettant de mieux caractériser les types de végétation et leur fonction écologique notamment vis-à-vis de la faune.

A. Espèces aquatiques. Espèces de plantes vasculaires, de macroalgues et de bryophytes poussant dans les masses d'eau, du fond à la surface de l'eau. Elles peuvent avoir des feuilles ou des branches entièrement immergées ou flottant à la surface de l'eau. Elles produisent des fleurs/spores dans l'eau ou à quelques centimètres au-dessus de la surface de l'eau.

N. Espèces non aquatiques. Espèces de plantes vasculaires et bryophytes poussant dans des habitats secs ou humides, mais qui ne peuvent accomplir leur cycle de vie qu'en sortant de l'eau ou dans des conditions terrestres.

S. Espèces indiquant des habitats salins. Espèces poussant exclusivement dans des habitats saumâtres ou salés sur la côte européenne et à l'intérieur des terres.

N.A. Plante de marais (marais). Espèces vasculaires émergentes et amphibiennes poussant dans des eaux peu profondes, douces et saumâtres (p. ex. marais, rivages et les berges des naturelles et artificielles, plaines d'inondation)

N.A.1. Plantes à larges feuilles émergentes et amphibiennes. Toutes les plantes amphibiennes et non amphibiens (amphiphytes et hélophytes) des marais physionomiquement différentes des grands roseaux, des quenouilles, des carex, des prêles et des joncs

N.A.2. Espèces émergentes hautes à feuilles étroites. Espèces vivaces généralement caractérisées par des feuilles longues et étroites (par exemple, les roseaux, les quenouilles et les carex). Parfois, les feuilles peuvent être réduites ou même absentes (par exemple, les prêles et les joncs).

N.A.3. Herbiers compétitifs des marais. Espèces rhizomateuses des marais à feuilles larges, non amphibiennes et différentes des roseaux, quenouilles ou carex. La fougère des marais *Thelypteris palustris* est incluse dans ce groupe.

N.A.1.1. Espèces végétales amphibiennes

N.A.1.2. Fougères des marais moins compétitives

N.A.2.1. Plantes émergentes ressemblant à des roseaux et scirpes

N.A.2.2. Carex des marais

N.B. Autres plantes herbacées et arbustes nains. Toutes les espèces de plantes herbacées et d'arbustes nains se rencontrant de préférence dans des habitats secs, semi-sèches et humides différents des marais d'eau douce et saumâtre.

N.C. Arbustes et arbres. Tous les phanérophytes et épiphytes

S.A. Espèces des habitats côtiers salés (Salt-coastal). Espèces poussant exclusivement dans l'eau ou le sol salés sur la côte européenne ou à proximité, ou à l'intérieur des terres dans la région méditerranéenne, où la salinité est élevée en raison du taux d'évaporation élevé

S.B. Espèces des habitats continentaux salés exclusivement dans les eaux et sols saumâtres ou salés de l'Europe continentale, ne poussant jamais le long des côtes

S.C. Espèces indiquant des habitats salins en général. Espèces généralistes poussant dans les habitats salins côtiers et intérieurs, mais certaines d'entre elles sont également communes dans les habitats non salins.

Figure 10 : Groupes d'espèces fonctionnelles ayant une signification écologique, utilisés pour affiner les définitions de certaines associations de végétation de marais (in Landucci et al. 2020)

3.4.2.1.1. La végétation aquatique immergée

La végétation aquatique immergée joue un rôle essentiel en tant qu'habitat des marais littoraux. On distingue de nombreux types de végétation selon la salinité, la minéralisation des eaux et le niveau de trophie (Levy, 2014 ; Deat et Cardot 2017).

Dans les eaux salées et saumâtres, 2 groupes de végétation :

1. Herbiers de Ruppia sp. caractéristiques des plans d'eau salés qui constituent des structures végétales plus ou moins dense couvrant l'ensemble de la colonne d'eau jusqu'à 1 voire 1.5 m de profondeur (Kantrud, 1991). Ils peuvent être accompagnés dans les eaux alcalino-saumâtres et salées d'herbiers à Characées ;
2. Herbiers de Renoncule de Beaudot (*Ranunculus baudotii*) dans les bassins moins salés formant comme pour les Ruppia des masses végétales assez denses couvrant la totalité de la colonne d'eau jusqu'à des profondeurs de 50-60 cm.

Dans les eaux douces, des groupes végétaux ont été rassemblés en fonction de leur occupation de la colonne d'eau :

3. Herbiers pionniers enracinés à Characées avec des tapis de végétaux plus ou moins denses occupant une partie de la colonne d'eau à partir du fond ;
4. Herbiers flottants à Lentille d'eau dans les eaux riches en éléments nutritifs ;
5. Herbiers dulçaquicoles constitués de plantes à feuilles flottantes comme les potamots ou les nénuphars ;
6. Herbiers dulçaquicoles constitués de plantes à feuilles immergées comme les myriophylles, les élodées, les renoncules ou certains potamots.

Ces supports végétaux constituent :

- des abris (refuge, repos) pour beaucoup d'espèces de poissons ;
- des supports pour les ressources trophiques (larves d'insectes, mollusques, diatomées) ;
- des habitats de reproduction pour certaines espèces phytophilées essentiellement en eau douce.

3.4.2.1.2. La végétation des berges

Les berges des milieux aquatiques des marais littoraux peuvent être colonisées par le groupement végétal des roselières. Au sens strict, les roselières sont des groupements végétaux composés principalement du roseau (*Phragmites australis*). Au sens large, elles sont constituées par l'ensemble des grandes hélophytes (*typha*, *scirpes*, *phragmites*, *roseaux*). Ces plantes aquatiques se développent, en bordure de rives et produisent, en été, un appareil aérien au-dessus de la surface de l'eau. En hiver, cet appareil aérien sèche alors que subsistent les rhizomes enfouis dans la vase. Les roselières constituent, comme les herbiers aquatiques des habitats de refuge, de nutrition et de pontes pour certaines espèces de poissons (Housset et al., 2014).



Figure 11 : Roselière avec scirpaie (Crédit photo : Cap Atlantique).

3.4.2.2. LES HABITATS SANS VEGETATION

Les habitats de sable et/ou de vase sans végétation jouent également un rôle important pour les communautés biologiques et notamment les poissons et les crustacés. Ils constituent des supports pour de nombreuses proies consommées par les poissons. La sole est une espèce dont les juvéniles vont venir utiliser ces habitats pour se nourrir (Muntoni, 2020).



Ce qu'il faut retenir : Il est important de bien distinguer les différents types de marais notamment de par la salinité des eaux mais également de par leur organisation morphologique et hydraulique ainsi que les types de milieux que les composent (chenaux, fossés, mare, bassins, plans d'eau, zone inondée...). On portera une attention particulière aux formations végétales qui constituent des éléments très structurant dans ces milieux.

3.5. LES NIVEAUX D'EAU

Les niveaux d'eau des marais varient de manière saisonnière et, selon les typologies fonctionnelles d'usage, mensuelle (marais à poissons), hebdomadaires (réserves d'eau conchyliques et salicoles) ou journalières (conchyliques). Ces évolutions sont liées aux apports d'eau provenant du bassin versant, aux échanges avec la mer (marée, tempête) et bien évidemment aux modalités de gestion des ouvrages hydrauliques (Doyle et al., 2007).

- Cas des estrants ouverts sur la mer

Dans les milieux humides d'estran ouverts sur la mer, les niveaux d'eau seront directement liés aux marées qui vont générer des ennoiements et dénoiements journaliers de plus ou moins grande amplitude selon le coefficient de marée. Ces évolutions de niveaux d'eau vont également générer des variations des conditions hydrodynamiques (vitesse d'écoulement)(Sun et al., 2016). Les vitesses d'écoulement peuvent varier de 0 à plus de 1 m/s selon la topographie et l'intensité de la marée. C'est le cas des étiers et de leurs franges halophiles et des champs de schorres attenants qui innervent les marais salés.

- Cas des marais endigués

Dans les marais salés endigués, les conditions hydrodynamiques sont totalement différentes. En dehors des pulsations bijournalières d'alimentation-évacuation durant quelques heures avec d'important flux d'eau de mer, les variations de hauteurs d'eau sont beaucoup plus limitées et les vitesses d'écoulement réduites.

L'hydrodynamique va conditionner les ennoiements des différents habitats ainsi que la dynamique sédimentaire. Cette dernière est essentielle au fonctionnement écologique des marais.

Les suivis réalisés dans les étangs et marais des salins de Camargue, un secteur peu profond situé entre la mer et le complexe lagunaire du Vaccarès en Camargue (Méditerranée), révèlent des variations saisonnières moyennes de niveau d'eau de l'ordre de 25 cm (Nicolas et al., 2021, Figure 12). Dans ce secteur, peu alimenté par des apports d'eau douce artificiels, les niveaux sont les plus réduits pendant la saison estivale, qui est une forte exposition au soleil et de forts taux d'évaporation. Lors de tempêtes de la mer, la mer pénètre dans les étangs et de fortes hausses du niveau d'eau dans ces étangs peuvent être observées, jusqu'à plus de 50 cm.

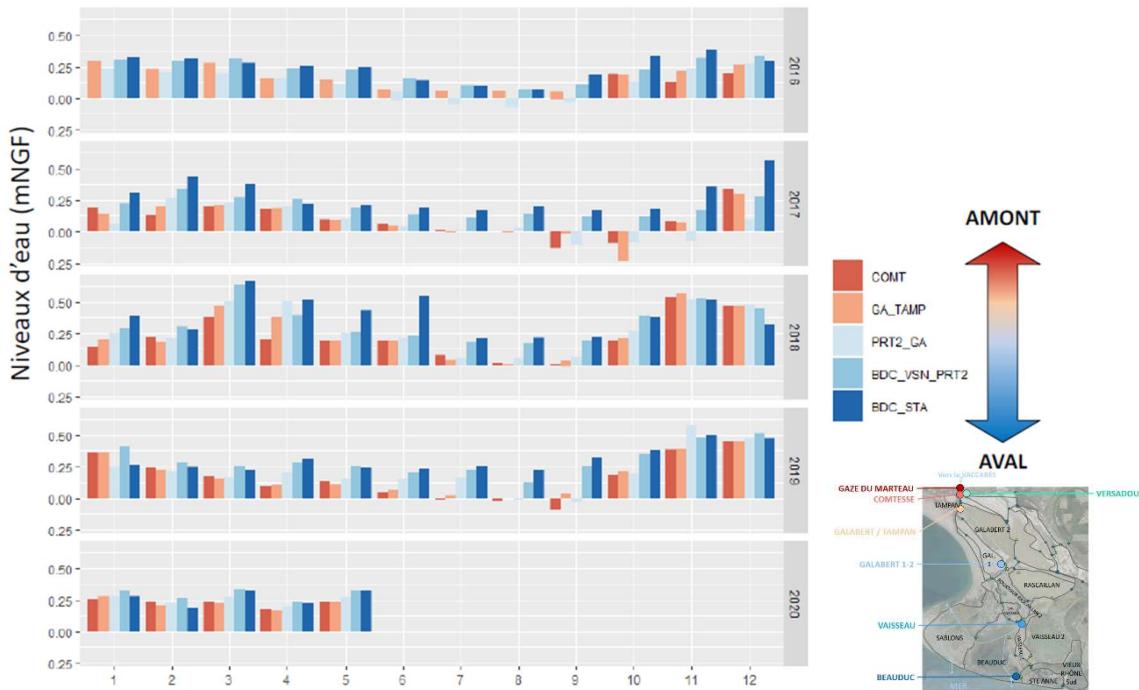


Figure 12 : Moyennes mensuelles des niveaux d'eau mesurés en continu ou manuellement en différents points du complexe lagunaire du Vaccarès (in Nicolas et al., 2020).

Sur la façade atlantique, les variations de niveaux d'eau sont beaucoup plus importantes. Dans le cas du canal de Charras dans l'estuaire de la Charente, Guiot et al. (2020) montre bien le rôle des ouvrages hydrauliques dans la gestion des niveaux d'eau. De part et d'autre du 1er ouvrage (une porte à flot), les variations intertidales des niveaux d'eau passent de 0 à 3.2 m à l'aval (côté estuaire) à 1.5 à 2.5 m à l'amont côté canal. Au deuxième ouvrage, les amplitudes sont encore réduites avec des variations de l'ordre de 20 à 30 cm. Au 3ème ouvrage plus en amont, les variations sont inférieures à 10 cm. Ainsi, d'aval en amont, la succession des ouvrages atténuent très fortement la variabilité des niveaux d'eau dans le marais.

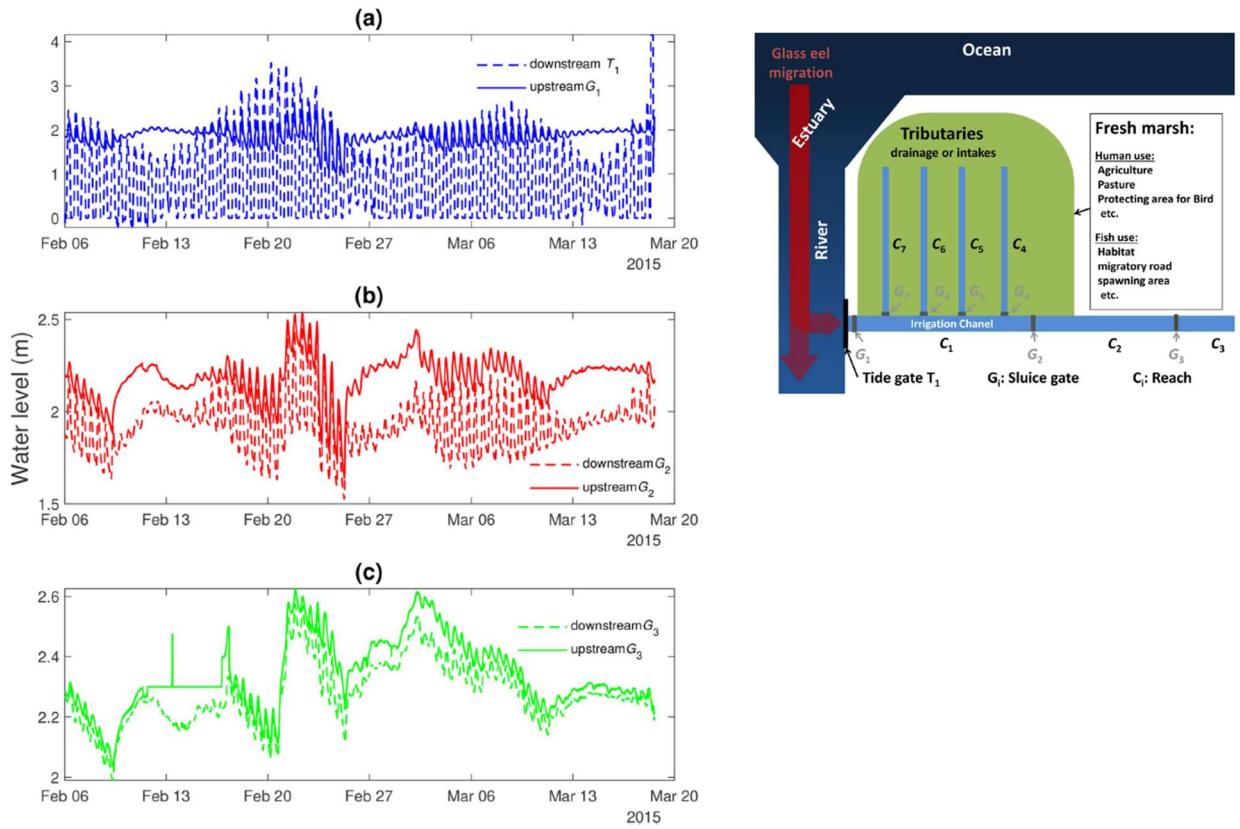


Figure 13 : Enregistrements des niveaux d'eau à différents endroits du canal de Charras (estuaire de la Charente). (a) niveau d'eau en aval de la vanne T₁ (correspondant à la contrainte en aval) et niveau d'eau en amont de la vanne G₁. (b) niveaux d'eau en aval et en amont de G₂. (c) niveaux d'eau en aval et en amont de G₃ (in Guiot et al., 2020).

En baie de l'Aiguillon, les suivis mis en place par l'Etablissement public du Marais Poitevin dans le cadre de son Système d'Information sur l'Eau du Marais Poitevin, permettent de caractériser les variations annuelles et inter-annuelles dans de nombreux points du marais.

Ces suivis permettent de constater que les variations de niveaux d'eau sont très différentes entre les chenaux situés en amont des premiers ouvrages à la mer (cas du chenal du Vieux en amont de la porte des Wagons) et ceux situés beaucoup plus en amont dans les terres (cas de la réserve Saint Denis du Payré). En amont des premiers ouvrages à la mer, la variabilité des niveaux d'eau est marquée par des amplitudes journalières élevées, pouvant dépasser 1 m, et une faible variation saisonnière, alors que plus en amont les variations inter-journalières sont très faibles mais en revanche, les variations saisonnières beaucoup plus marquées (50 à 60 cm).

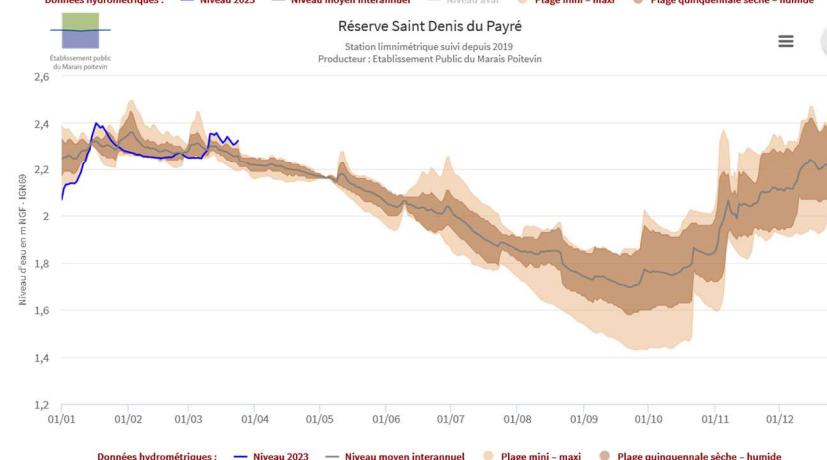
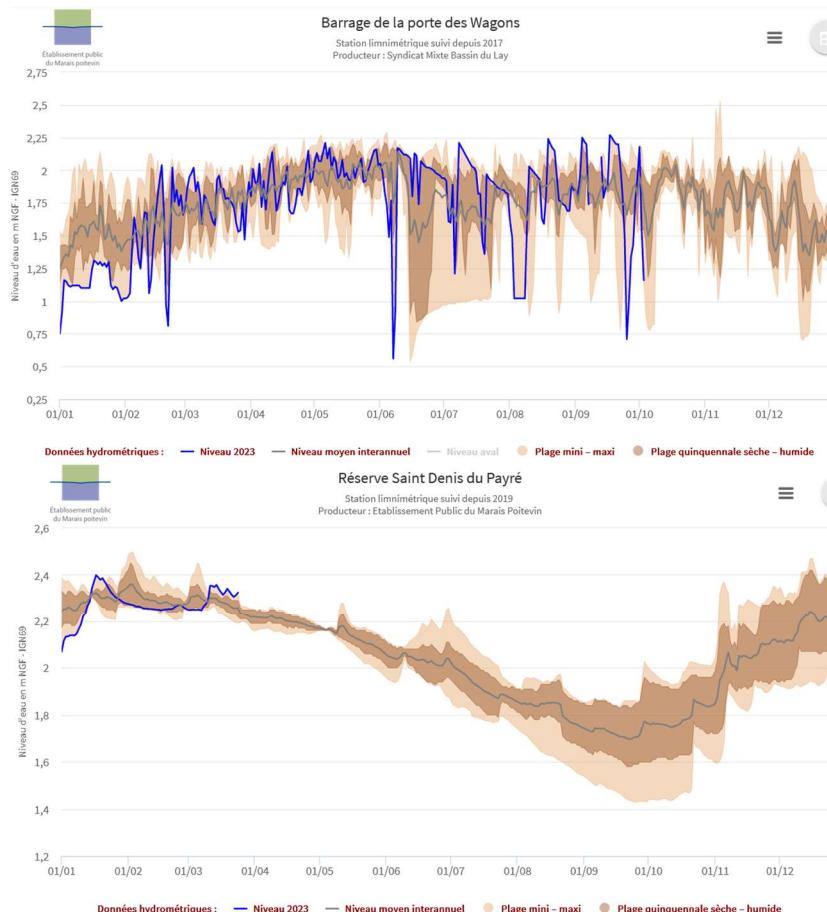


Figure 14 : Suivi interannuel des niveaux d'eau du Chenal Vieux et de la réservé Saint Denis du Payré en baie d'Aiguillon en amont du 1^{er} ouvrage à la mer (données SIEMP - Système d'Information sur l'Eau du Marais Poitevin).

Cas des régimes hydrologiques dans les marais doux atlantiques, Manche, Mer du Nord :

Les marais doux constituent la majeure partie surfacique des polders sur ces littoraux, leur vocation initialement marine ayant basculé précocément ou tardivement vers la production agricole et l'élevage.

Dans les marais doux, les fluctuations de niveaux d'eau devraient suivre un rythme naturel progressif :

- niveaux hauts l'hiver avec l'impluvium et les apports de bassins versants et de nappes de bordure
- Niveaux bas l'été avec l'évaporation, l'évapotranspiration, et l'affaiblissement des adduction continentales.

Deux types d'événement vont induire de plus fortes variations hydrodynamiques susceptibles d'altérer ce rythme et générer de fortes fluctuations de niveaux d'eau en peu de temps (quelques heures à quelques minutes) :

- les apports du bassin versant et notamment des cours d'eau en cas d'orages ou d'épisodes de crues fluviales ;
- la gestion des évacuations des « excédents » d'eau par des évacuations massives à la mer.

Selon l'usage dominant, les casiers hydrauliques peuvent de nos jours connaître une gestion des niveaux d'eau **conforme** (haut l'hiver, bas l'été) comme c'est le cas dans une utilisation pastorale et fourragère principale. Ils peuvent connaître au contraire une gestion des niveaux **inverse** (bas l'hiver, haut l'été) dans le cas de cultures céréalier dominantes. Les cas médians ou moins marqués sont aussi très présents lorsque les usages sont mixtes et que les négociations internes des usagers ont pu conduire à un compromis.

Cela a donc des impacts importants sur l'évolution intersaisonnière de la colonne d'eau constituant les habitats piscicoles. Les domaines vitaux de chaque espèce peuvent se voir contraints ou étendus selon les modalités de

gestion hydraulique sus-citée. Dans les fossés defaible profondeur (<30 cm), les poissons sont contraints de se regrouper dans des espaces de replis plus profonds du début de l'été à l'automne. Les canaux et fossés moins profonds deviennent des sites de visites occasionnels et ponctuels, car trop dangereux (visibilité par des prédateurs, manque d'oxygène, températures élevées). C'est le cas des gestions « conformes » au régime naturel. Les gestion inverses induisent quant à elle une non régularité de la permanence de l'eau avec des hauteurs maintenues assez hautes du printemps à l'automne (60 cm à plus de 1.50m), et très basses l'hiver (0 à 50 cm) avec de fortes et fréquentes fluctuations de niveaux. Ce qui ne garantit pas des habitats de qualité, la plupart de ceux-ci étant soumis à une instabilité chronique.

C'est en partie la raison pour laquelle des espaces de conservation, souvent installés au sein de systèmes intermédiaires ou inverses, ont été préservés dans des UHC isolées. Ils se sont dotés d'une gestion « non conforme » pour l'été depuis plusieurs décennies, en maintenant des niveaux élevés dans leur casier afin de ne pas contraindre la faune et la flore aquatique. Les conditions contraintes actuelles d'adduction d'eau, de plus en plus faibles l'été amènent ces opérateurs à réviser leur protocole de gestion, et à se calquer sur un affaiblissement de la colonne d'eau, avec zones de replis. Diverses tactiques d'aménagement sont alors envisagées sur les réseaux (recurgages de certains fossés avec connectivité optimisée et orientée vers les zones de replis, diversité des profils et sections de fossés pour favoriser la végétation aquatique de berge et les hydrophytes, re-circulation de l'eau si possible pour l'oxygénation...).

3.6. LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

3.6.1. LA SALINITE

La salinité est un élément essentiel dans le fonctionnement des marais. Elle présente une variabilité spatiale et temporelle à l'échelle saisonnière et journalière. Elle constitue un critère de différenciation des milieux (Taverny et al., 2009).

| Type d'eau | Salinité (g/l) | Type de milieu | |
|-------------|----------------|------------------|-----------------------|
| Eau douce | =< 0.5 | Eau dulçaquicole | |
| Oligohaline | 0.5 à 5 | | |
| Mésohaline | 5 à 18 | Eau saumâtre | Milieux de transition |
| Polyhaline | 18 à 30 | | |
| Marine | >30 | | |
| Hypersaline | >40 | Eau euhaline | |

Tableau 9 : Caractéristiques de salinité selon les différents types de milieu- Venise System (Anonymous, 1959 in Taverny et al., 2009).

Les marais peuvent se caractériser par des salinités allant de moins de 0.5 g/l à des valeurs dépassant les 150 g/l.

Dans une lagune méditerranéenne, l'étang de l'Or, le suivi annuel de la salinité montre une variabilité saisonnière et inter-annuelle avec des teneurs qui peuvent varier entre 13 et 34 g/l (figure 13).

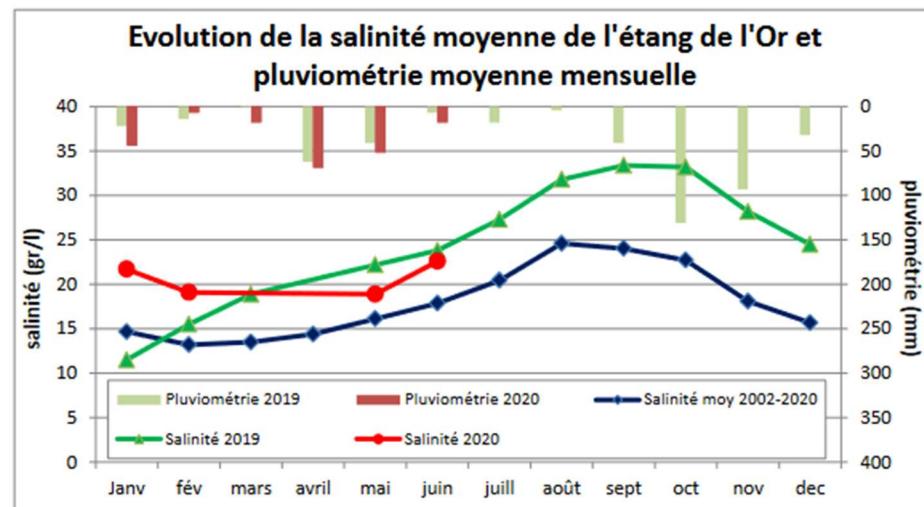


Figure 15 : Suivi de la salinité de l'étang de l'Or (Hérault)(données Symbo Etablissement public territorial du bassin de l'Or).

Cette variabilité peut également s'exprimer dans l'espace. Le système du complexe lagunaire de Vaccarès montre à la fois une variabilité saisonnière de la salinité mais également spatiale avec des valeurs atteignant 60 à 130 g/l dans certains habitats (figure 14).

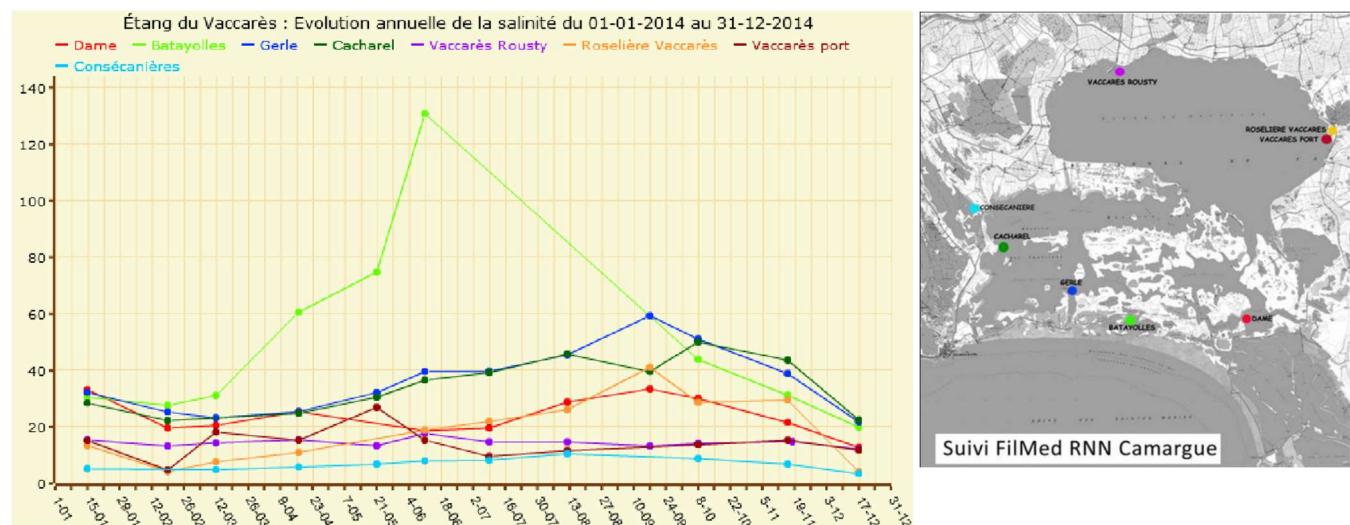


Figure 16 : Evolution de la salinité en différents points du complexe lagunaire de Vaccarès sur l'année 2014 (données Suivi FILMED réalisé par la SNPN - RNN de Camargue).

Le suivi inter-annuel de la salinité au niveau des étangs et les marais salins de Camargue (Nicolas et al., 2020) montre bien une variabilité temporelle avec des salinités plus faibles en hiver et au début du printemps (entre 25 et 50 g/l) puis des augmentations en été avec des concentrations pouvant varier entre 25 et 175 g/l. Ce système présente également un gradient plus ou moins marqué de la mer vers les terres (figure 15).

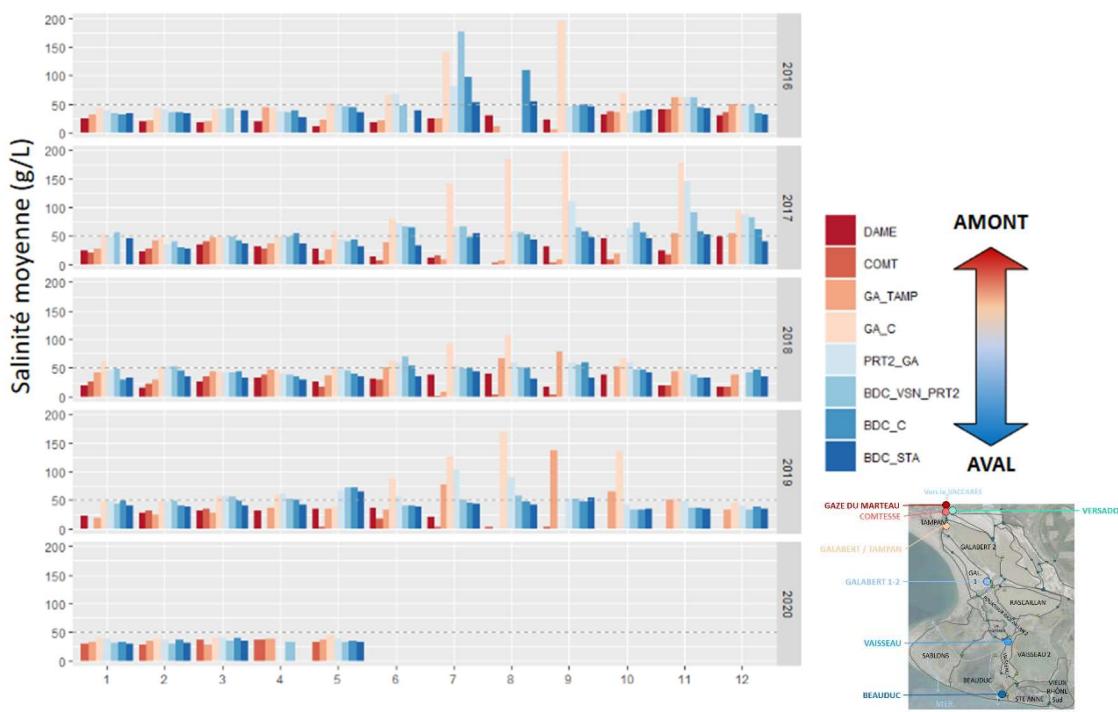


Figure 17 : Moyennes mensuelles des salinités mesurées en continu ou manuellement en différents points du complexe lagunaire du Vaccarès (in Nicolas et al., 2020).

En Baie d'Aiguillon, le suivi de la salinité montre à la fois une variabilité spatiale avec des valeurs variant en moyenne entre 5 et 15 g/l dans les habitats des zones aménagées mais surtout dans le temps avec des amplitudes saisonnières allant de 0.5 à 35 g/l dans le fleuve Sèvre et des amplitudes journalières ou hebdomadaires de plus de 10 à 15 g/l (figure 16).

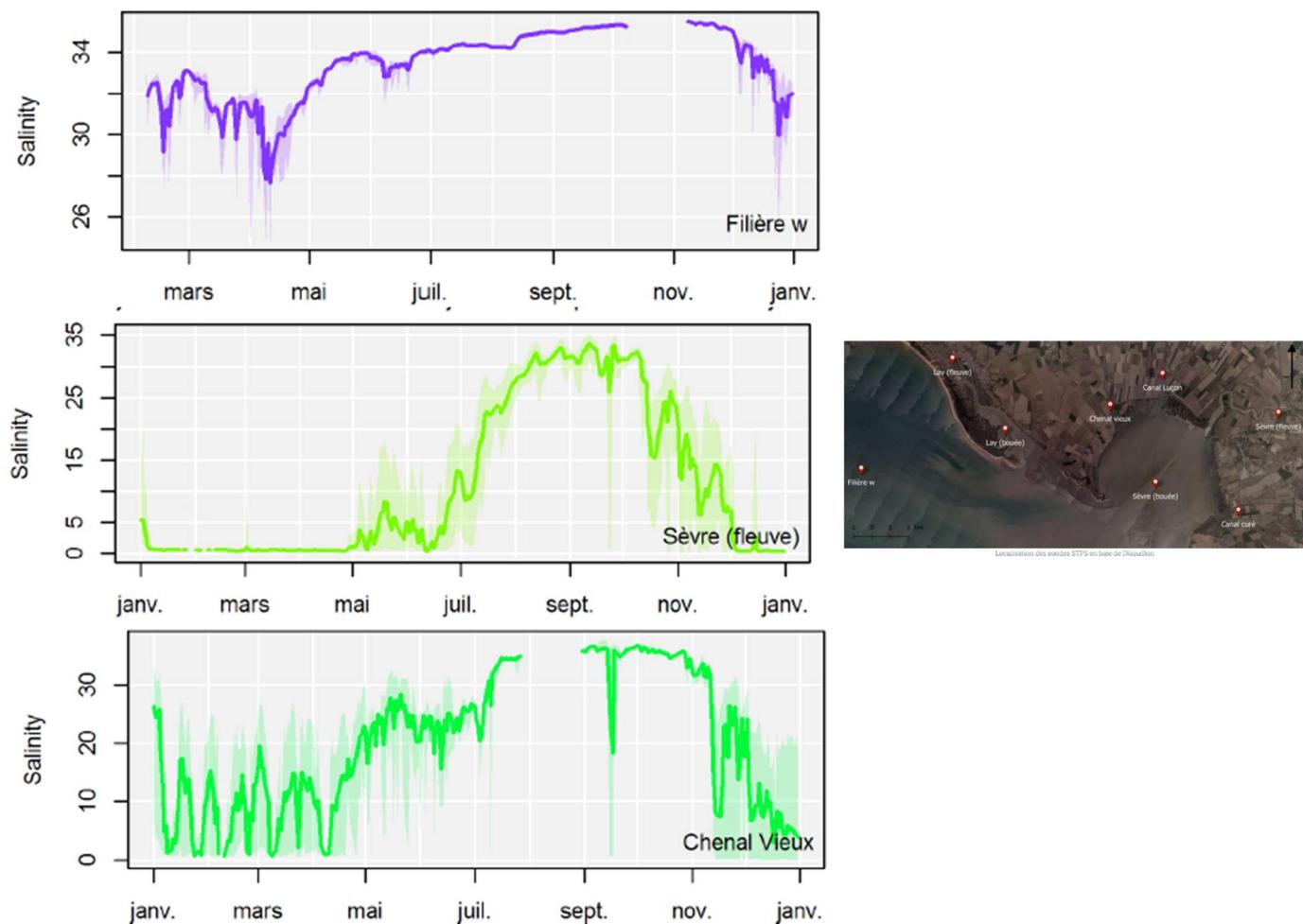


Figure 18 : Exemple d'évolution temporelle et spatiale de salinité dans différents points de la baie d'Aiguillon (in IFREMER, 2020, données <https://life.reserve-baie-aiguillon.fr>).

Ces variabilités spatiales et temporelles vont fortement conditionner l'organisation des communautés biologiques et notamment des poissons.

3.6.2. LA TEMPERATURE

Comme la salinité, la température présente des variations spatiales et temporelles assez marquées dans les systèmes estuariens et les marais. Les régimes thermiques de ces systèmes sont complexes. Ils sont régis par les flux de chaleur atmosphérique, les échanges avec l'océan dus aux marées et aux tempêtes, l'hydraulique et l'hydromorphologie estuarienne ainsi que les apports d'eau douce (Kurylyk et Smith 2023). Dans les habitats soumis à la marée, les amplitudes infrajournalières de température peuvent être extrêmement élevées. Dans les marais endigués, on peut également observer de fortes amplitudes notamment dans les habitats de faibles profondeurs.

En estuaire, les températures suivent un cycle saisonnier et peuvent varier, en moyenne, entre 6°C et 24°C avec des maximums de 25°-26°C et des minimums de 1° à 2°C (données réseau MAGEST estuaire de la Gironde).

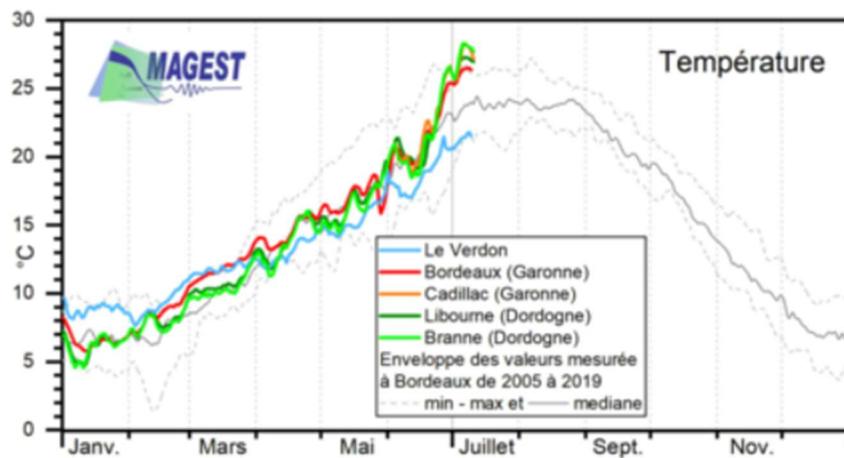


Figure 19 : Suivi de la température moyenne journalière (en °C) de 5 stations du réseau MAGEST, de l'embouchure (Le Verdon) à l'aval de la Garonne et de la Dordogne de janvier à juillet 2019 (<https://www.odatis-ocean.fr/>).

Dans les lagunes méditerranéennes, le cycle saisonnier est également très marqué avec un réchauffement précoce au printemps et des températures moyennes mensuelles pouvant atteindre 25°C à plus de 30°C (figure 18).

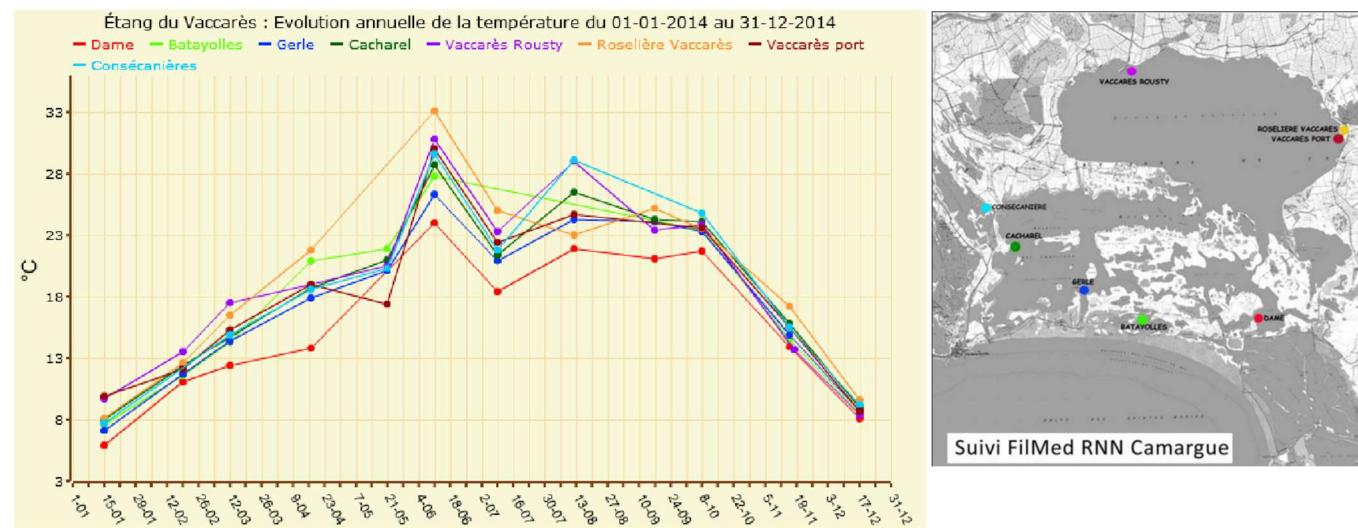


Figure 20 : Evolution de la température de l'eau en différents points du complexe lagunaire de Vaccarès (données Suivi FILMED réalisé par la SNPN - RNN de Camargue).

En Baie d'Aiguillon, le suivi de la température montre à la fois une variabilité spatiale avec des valeurs maximales variant entre 21°C dans la Baie (Filière W) et 25°-26°C dans le canal du Curé et le fleuve Sèvre niortaise (figure 19).

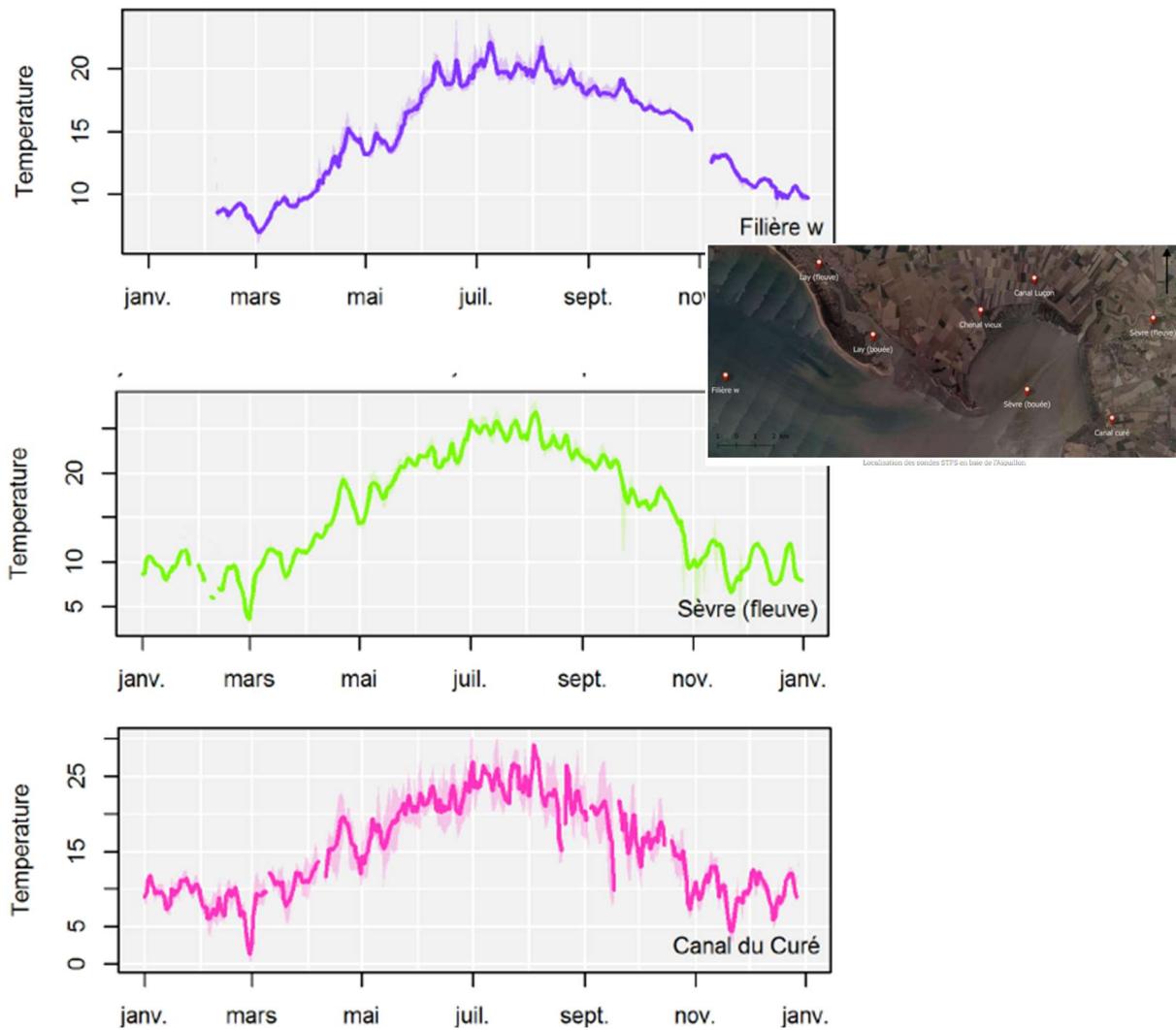


Figure 21 : Exemple d'évolution temporelle et spatiale de salinité dans différents points de la baie d'Aiguillon (in IFREMER, 2020, données <https://life.reserve-baie-aiguillon.fr>).

Les températures maximales atteintes et surtout les amplitudes journalières vont dépendre du volume d'eau des milieux concernés ainsi que du taux de renouvellement. Plus les volumes d'eau seront réduits et les taux de renouvellement faible et plus les incidences du régime de température de l'air seront fortes avec des effets importants pour la faune aquatique.

3.6.3. L'OXYGENE DISSOUS

Comme pour la température et la salinité, ce paramètre est essentiel au fonctionnement écologique des marais et des estuaires. La variabilité spatiale et temporelle peut être forte avec pour certaines situations des valeurs très faibles de concentrations en oxygène.

En estuaire l'oxygène dissous suit un cycle saisonnier avec des valeurs qui baissent au printemps et surtout en été pour atteindre des concentrations inférieures à 5 g/l (données réseau MAGEST estuaire de la Gironde)(figure 20).

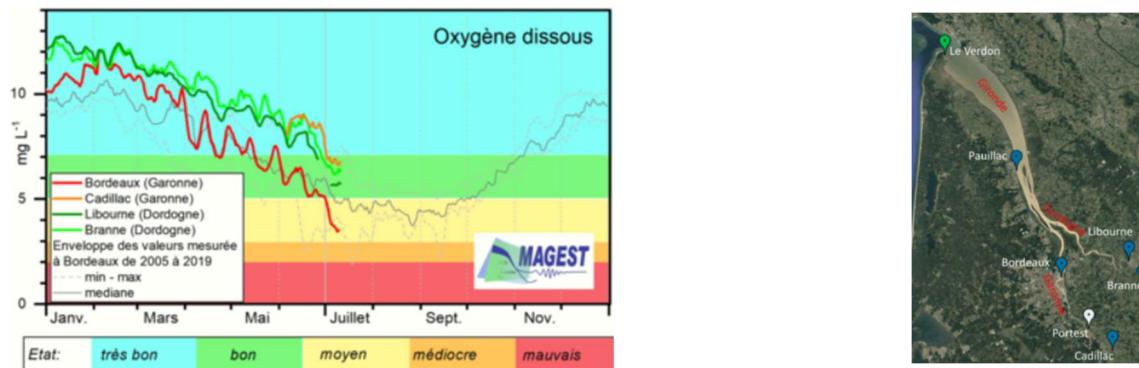
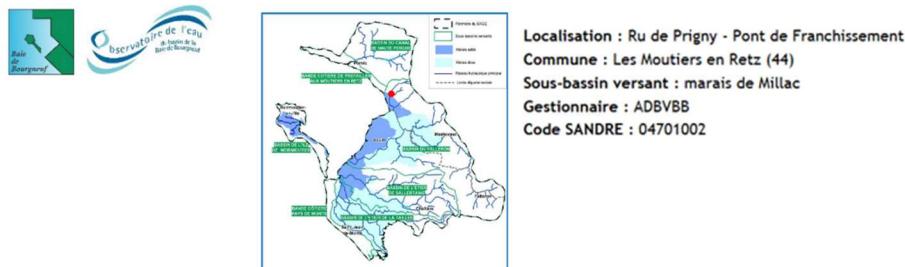


Figure 22 : Suivi de la teneur moyenne journalière en oxygène dissous (en mg.l⁻¹) pour les 4 stations du réseau MAGEST à l'aval de la Garonne et de la Dordogne, de janvier à juillet 2019.

Dans les marais, les concentrations en oxygène peuvent atteindre des valeurs proches de 0 comme le montre le suivi de certains sites en Baie de Bourgneuf (données Observatoire de l'Eau de la Baie de Bourgneuf). Dans le marais salés (Ru de Prigny), chaque année, 10% des concentrations en oxygène sont inférieures à 2 mg/l voire proches de 0.5 mg/l. Sur d'autres parties du marais salés, les valeurs varient entre 3 et 6 mg/l (tableaux 10 et 11).



Caractéristiques physico-chimiques

Situation de la qualité de l'eau par rapport aux objectifs de « bonne qualité » fixée par la DCE

| Objectif de bonne qualité de la DCE | Bilan de l'oxygène | | | | | | | Nutriments | | | | | | | Température de l'eau | Phytoplancton | | |
|-------------------------------------|--------------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|-----------|---------|----------------------|-----------------------|---------------------|------|
| | O2 (mg/L) | O2 (% sat) | DBO5 (mg/L) | DCO (mg/L) | COD (mg/L) | MES (mg/L) | PO4 (mg/L) | P tot (mg/L) | NH4+ (mg/L) | NO2 (mg/L) | NO3 (mg/L) | NKJ (mg/L) | pH mini | pH maxi | Conductivité (µS/cm) | Chlorophylle A (µg/L) | Phéopigments (µg/L) | |
| | [8;6] | [90;70] | [3;6] | [20;30] | [5;7] | [25;50] | [0,1;0,5] | [0,05;0,2] | [0,1;0,5] | [0,1;0,3] | [10;50] | [1;2] | [20;21,5] | [6,5;6] | [8,2;9] | | | |
| 2014-2016 * | 1,8 | 16,4 | 4,5 | 96 | 31,3 | 62 | 2,69 | 2,44 | 0,71 | 0,15 | 5,94 | 3,03 | 15,6 | 6,9 | 7,3 | 884 | 14,1 | 23,0 |
| 2015-2017 * | 0,5 | 3,8 | 4,1 | 88 | 31,65 | 59 | 3,7 | 2,46 | 0,79 | 0,11 | 4,9 | 2,93 | 15,5 | 6,7 | 7,4 | 983 | 13 | 7,6 |
| 2016-2018 * | 0,5 | 3 | 3,6 | 97 | 36,5 | 33 | 4,4 | 2,2 | 0,94 | 0,16 | 7,8 | 3 | 18,3 | 6,8 | 7,3 | 935,5 | 9 | 7 |
| 2018** | 0,5 | 1 | 3,6 | 115 | 45 | 11 | 6,4 | 2,2 | 1,2 | 0,16 | 9,6 | 4,2 | 19,1 | 6,5 | 7,5 | 893 | | |



| Objectif de bonne qualité de la DCE | Bilan de l'oxygène * | | | | Nutriments * | | | | Température de l'eau * (°C) | Acidification | Conductivité * (µS/cm) | Escherichia Coli dans l'eau ** (en UFC/100 ml) | |
|-------------------------------------|----------------------|------------|------------|------------|--------------|------------|-----------|---------|-----------------------------|---------------|------------------------|--|--|
| | O2 (mg/L) | O2 (% sat) | MES (mg/L) | PO4 (mg/L) | NH4+ (mg/L) | NO3 (mg/L) | pH mini | pH maxi | | | | | |
| | [8;6] | [90;70] | [5;25] | [0,1;0,5] | [0,1;0,5] | [10;50] | [20;21,5] | [6,5;6] | [8,2;9] | | | | |
| 2017-2019 | 3,4 | 59,2 | 106 | 0,85 | 0,68 | 8,48 | 25,3 | 7,4 | 8,8 | 56 970 | 3 381 | | |
| 2018-2020 | 5 | 66,7 | 104 | 0,84 | 0,47 | 8,12 | 23,1 | 7,6 | 8,3 | 56 700 | 2 237 | | |
| 2019-2021 | 6 | 77 | 100 | 0,84 | 0,468 | 6,38 | 23,1 | 7,6 | 8,9 | 54 700 | 2 003,4 | | |
| Valeur la plus déclassante en 2021 | 6 | 82 | 52 | 0,86 | 0,58 | 4 | 23,9 | 7,6 | 8,4 | 58 000 | 2 029 | | |

* Percentile 90

** Percentile 95

Tableaux 10 et 11 : Caractéristiques physico-chimiques de 2 points de suivi en Baie de Bourgneuf (données Observatoire de l'Eau de la Baie de Bourgneuf)

3.6.4. LES MATIERES EN SUSPENSION (MES)

Les eaux de marais sont majoritairement turbides. Deux raisons à la présence de matières en suspensions :

- la forte bioturbation par la macrofaune benthique (larves d'insectes, crustacés, mollusques, oligochètes, etc.) et les animaux fouisseurs (insectes, crustacés, poissons, anatidés, etc.)
- Les flux d'eau circulants qui peuvent dépasser 10 cm.s^{-1} sont susceptibles de soulever la fine couche de sédiments fins recouvrant les fonds. La finesse des sédiments induit de long temps de dépôt avant éclaircissement, ce qui n'arrive donc jamais, sauf cas de confinement locaux ou crises dystrophiques.

Ces milieux aquatiques sont parmi les plus turbides au monde, avec les eaux des estuaires. Ils n'en demeurent pas moins naturellement eutrophes, et grâce aux mouvements convectifs de l'eau (gradient thermique vertical, et bioturbation) permettant un accès à la lumière, une production phytoplanctonique et phytobenthique abondante est entretenue. De fait, l'amorce d'une chaîne trophique est sous la dépendance des MES, et l'alimentation des poissons benthofages fouisseurs peut limiter les possibilités de développements de prédateurs. Les marais sont donc plutôt le royaume de benthophages et d'omnivores à spectre large.

3.6.5. QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU

Dans un travail de synthèse sur les exigences des principales espèces colonisant les estuaires, les lagunes et les marais, Taverny *et al.* (2009) ont proposé une grille d'évaluation des potentialités d'accueil à partir des paramètres oxygène, température, turbidité et salinité et en fonction du type d'habitat (estuaire ou lagune, tidal ou non, (tableau 11).

| Classes | Oxygène | Température ($^{\circ}\text{C}$) | | Turbidité (NTU) : masse | | Salinité (PSU) |
|------------|-----------------------|------------------------------------|-------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|
| | OD mg.L ⁻¹ | Estuaire | Lagune | Tidale | Non tidale | Lagune (*) |
| Très bonne | ≥ 7 | < 20 | < 22 | ≤ 50 | < 5 | ≤ 40 |
| Bonne | < 7 et ≥ 5 | ≥ 20 et < 23 | ≥ 22 et < 25 | | | |
| Moyenne | < 5 et ≥ 3 | ≥ 23 et < 28 | ≥ 25 et < 30 | > 50 et ≤ 500 | > 5 et ≤ 50 | ≥ 40 et < 100 |
| Médiocre | < 3 et ≥ 2 | ≥ 28 | ≥ 30 | > 500 | > 50 | ≥ 100 |
| Mauvaise | < 2 | | | | | |

Tableau 12 : Grille proposée en oxygène dissous, température, turbidité et salinité pour les poissons dans les masses d'eaux de transition françaises (* : au niveau du domaine marin de la lagune et des secteurs en relation avec le grau) (in Taverny *et al.*, 2009).



Ce qu'il faut retenir : La salinité, la température, l'oxygène dissous et les matières en suspension, qui sont des paramètres essentiels au bon fonctionnement écologique des marais et notamment pour la vie piscicole varient fortement dans le temps et l'espace. La faible profondeur de l'eau fait de ces milieux des ensembles très peu tamponnés au niveau thermique. La forte hydrodynamie occasionnelle liée à la gestion des ouvrages, et aux événements météorologiques extrêmes (vent, grandes marées, tempête de la mer, crue), ainsi que la forme et la dimension des surfaces en eau vont fortement influencer ces caractéristiques physico-chimiques. Les marais peuvent alterner spatialement et temporellement entre des situations hyperhalines et oligohalines. En moyenne, dans ces milieux, les températures estivales sont chaudes, très souvent au-dessus de 25°C voir ponctuellement 30°C . Les concentrations en oxygène dissous peuvent très souvent atteindre des valeurs inférieures à 5 mg/l voire 3 mg/l.

3.7. LE NIVEAU TROPHIQUE

Les marais salés et les schorres comptent parmi les écosystèmes les plus productifs de la planète, tout en contribuant de manière substantielle au cycle du carbone côtier (Bauer *et al.*, 2013 ; Najjar *et al.*, 2018). Ils sont naturellement eutrophes. Les producteurs primaires, notamment les macrophytes et les macroalgues le

phytobenthos et le phytoplancton sont à l'origine de la productivité de ces écosystèmes. Les estimations des taux de production primaire brute (PPB) dans ces milieux varient de 1900 g C m⁻² an⁻¹ à 3600 g C m⁻² an⁻¹ (Duarte et al., 2005). Ces niveaux élevés de productivité sont en grande partie le résultat des producteurs primaires (Alongi, 2020). Les marais salés abritent de nombreux types de microalgues et quelques macroalgues fixées sur les sédiments ou associées aux vastes systèmes racinaires et rhizomiaux des macrophytes (Sullivan et Moncreiff, 1990). Les algues microphytiques présentent des niveaux élevés de production primaire et constituent une ressource alimentaire majeure pour de nombreux invertébrés et certaines espèces de poissons (Sullivan et Moncreiff, 1990 ; Kneib, 1997). Les macrophytes des marais salés ne sont généralement pas broutés directement par les organismes aquatiques, mais leur décomposition constitue une composante importante des détritivores et bactéries hétérotrophes qui les recyclent en nutriments et de l'énergie dans tous les marais salés.

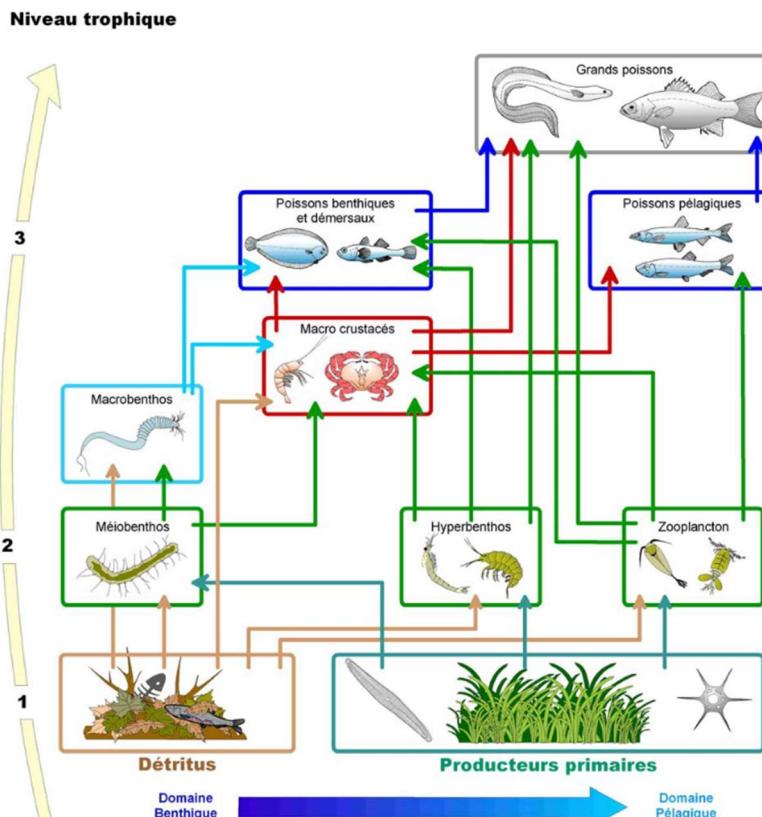


Figure 23 : Exemple de réseau trophique d'un estuaire du type de la Gironde (d'après Lobry, 2004, in Nicolas et al., 2010)

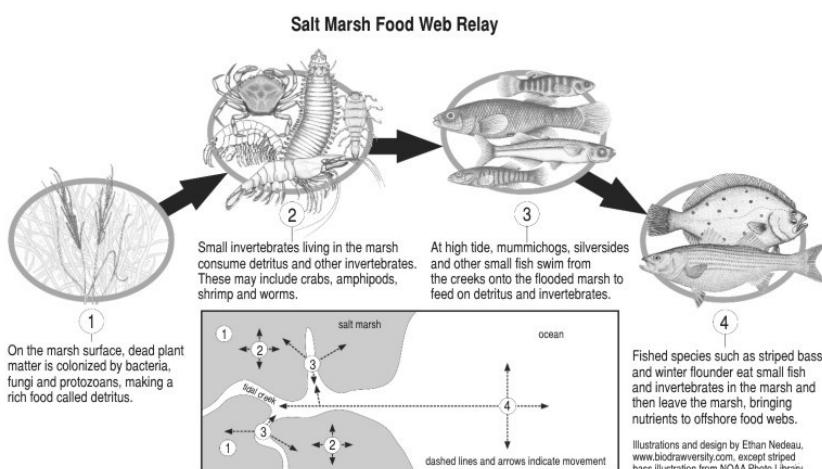


Figure 24 : Diagramme de Taylor (2005) montrant une structure trophique simplifiée et les schémas de déplacement des espèces communément rencontrées dans un marais salé.

De par les connectivités physiques (échanges d'eau et de particules sédimentaires) et biologiques (migrations de poissons et de crustacés) que les marais entretiennent avec les milieux estuariens et marins, il est important de considérer des flux d'échanges hydrobiologiques importants entre ces compartiments adjacents. Il est vérifié qu'une exportation de nutriments s'opère vers les écosystèmes estuariens littoraux (Weinstein et al., 2011 ; Lafaille et al., 1998).

Le niveau trophique des marais est donc un élément essentiel pour définir ses capacités de production au travers notamment de la production primaire (concentration en chlorophylle a notamment). Dans une analyse des marais Charentais, Tortajada et al. (2011) ont identifié sur la base du fonctionnement physico-chimique (NO₃, chlorophylle a, PO₄), 12 types différents de milieu (7 en eau douce et 5 en eau salée ou saumâtre). Au sein de la gamme très variées des niveaux eutrophes rencontrés sur ces milieux, un besoin de disposer d'un référentiel de fonctionnement s'est récemment fait sentir. Il se distingue des outils DCE de caractérisation déclassante des eaux continentales ou côtière et s'attache au caractère naturellement eutrophe des milieux.

Depuis 10 ans, des travaux de l'Université de la Rochelle (laboratoire LIENSs) en collaboration avec le Syndicat mixte Unima et sous la coordination du Forum des Marais Atlantiques conduits dans les marais de la façade atlantique contribuent à l'élaboration la mise au point d'un indicateur trophique basé sur des paramètres décrivant les premiers maillons de la chaîne alimentaire. Cet indicateur traduit le stade de maturation trophique d'un milieu dans le cycle saisonnier, atteint par le compartiment aquatique en le comparant à une trame type d'évolution (5 gammes différencierées). Cet indicateur permet de définir un fonctionnement trophique « en instantané » mais également l'évolution du statut du marais au cours d'une année. A l'aide de nécessaires informations de gestion (date, durée et amplitudes d'ouvertures-fermeture d'ouvrages) et d'environnement (paramètres météorologiques et hydrologiques), l'indicateur permet de statuer sur le caractère plus ou moins confiné des milieux, de leur dérive vers l'eutrophisation tendancielle, ou de déséquilibres manifestes, sur lesquels le gestionnaire peut rétroagir pour corriger les altérations. C'est un outil d'aide au pilotage et de gestion adaptative.

Référentiel disponible sur : <http://ligero-zh.org/la-boite-a-outils>

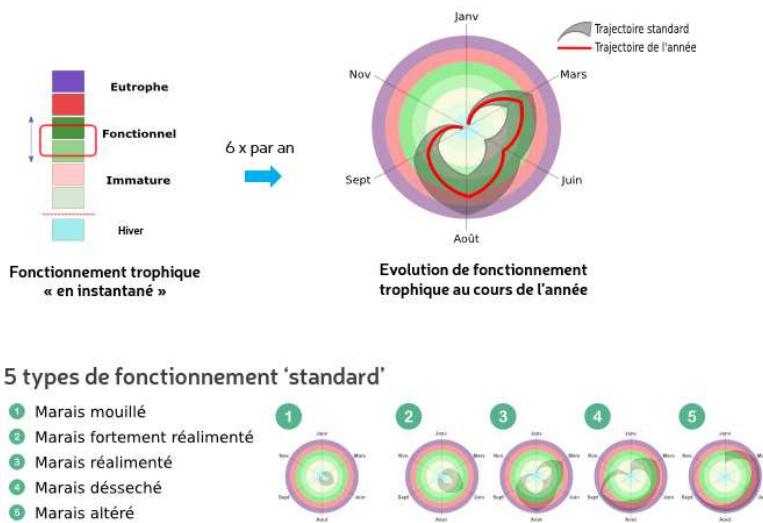


Figure 25 : référentiel de l'indicateur trophique des marais (<http://ligero-zh.org/la-boite-a-outils>).

Le phytoplancton constitue l'un des piliers du fonctionnement trophique des marais. Son rôle est essentiel dans la production de matière végétales puis animales ainsi que vis-à-vis des cycles biogéochimiques. Il constitue une source importante de nutrition avec le zooplancton pour les poissons filtreurs et détritivores, ainsi que pour les crustacés et les mollusques.

Son développement dépend des temps de transit des eaux, de la température, de l'ensoleillement, des concentrations des différentes formes d'azote et de phosphore, de l'intensité de la prédatation du zooplancton et de la compétition avec les autres formes végétales (macrophytes). Dans les zones de marais, le phytoplancton et notamment les algues vertes et les cyanobactéries utilisent préférentiellement l'ammonium comme source principale de nutriments (Dominguez et al., 2011) notamment dans des conditions d'oxydoréduction peu favorables. L'ensemble de ces conditions favorisent les fortes concentrations en phytoplancton, qui, elles-mêmes

peuvent avoir des incidences sur les concentrations en oxygène en fin de nuit et par voie de conséquence des effets sur les organismes aquatiques et notamment les poissons.



Ce qu'il faut retenir : le niveau trophique des zones de marais est un élément essentiel dans leur fonctionnement écologique. Il doit être évalué pour définir les potentialités d'accueil de ces milieux. Le phytoplancton joue un rôle clé dans le fonctionnement trophique avec des incidences potentielles vis-à-vis du cycle de l'oxygène et donc des capacités d'accueil pour la faune et notamment les poissons.

4. CONNAISSANCES SUR LES ESPECES IDENTIFIEES

Dans ce chapitre, nous traiterons successivement des connaissances sur les structures des peuplements piscicoles des marais littoraux, sur les fonctions des habitats vis-à-vis des cycles biologiques des espèces et enfin sur la qualification et le rôle des migrations et des déplacements des poissons dans ces milieux.

4.1. LES PEUPLEMENTS PISCICOLES DES MARAIS LITTORAUX

Les marais littoraux abritent des peuplements piscicoles très différents selon l'ensemble des caractéristiques présentées dans la typologie hiérarchisée (chapitre 3). Il est important de souligner que, naturellement, les peuplements se structurent dans un continuum biologique depuis le milieu marin, estuarien et l'eau douce. Les communautés piscicoles et carcinicoles des estuaires présentent naturellement une structuration longitudinale mais également latérale dans laquelle les marais côtiers non endigués jouent un rôle essentiel (Duhamel et Feunteun, 2012).

L'endiguement des marais constitue une rupture parfois très marquée dans ce continuum biologique de par les modifications morphologiques, hydrauliques, physico-chimiques qu'il engendre et les altérations de la libre circulation des espèces.

Il n'existe pas actuellement de synthèse sur la caractérisation des peuplements piscicoles des marais littoraux en France. Contrairement aux lacs et rivières en eau douce, il n'y a pas encore de véritable réseau de suivi des peuplements piscicoles et carcinicoles au niveau national. Ces milieux très diversifiés présentent des difficultés d'échantillonnage de par la morphologie (profondeur, substrat meuble) et la forte conductivité. Depuis 2015, dans le cadre de l'Observatoire du Patrimoine Naturel littoral (OPNL) un réseau de suivis de l'ichtyofaune de 20 sites a été mis en place afin de caractériser les fonctions écologiques des prés salés (ouverts à la mer). En 2020, le Forum des Marais Atlantique a proposé un ensemble de fiche méthodologique traitant de la stratégie et des méthodes d'échantillonnage des peuplements piscicoles en marais (FMA, 2020).

De nombreuses études locales sont également disponibles ainsi que des suivis qui portent en général sur l'anguille (suivi du Parc Naturel Régional du Marais Poitevin, suivi en Gironde-Garonne-Dordogne par MIGADO).

Dans le cadre de cette synthèse, nous ne présenterons que quelques exemples illustratifs des grands types de peuplements piscicoles observés dans les marais en replaçant la présence des 17 espèces de poissons ciblées dans ce travail.

4.1.1. MARAIS SALES OUVERTS A LA MER

Il s'agit des zones de marais ouverts et des vasières soumises aux marées au sein des estuaires. La structure des peuplements piscicoles dépend de la position depuis les eaux salées de l'embouchure jusqu'aux eaux douces tidales. Les peuplements de ces milieux peuvent s'approcher de « références » par rapport à des marais endigués. C'est la raison pour laquelle, nous présentons quelques éléments sur la composition de ces peuplements.



Figure 26 : Position géographique des différents exemples d'étude de la composition du peuplement piscicole en marais salés ouverts à la mer.

Dans une étude de la communauté piscicole de vasières de la zone mésohaline de l'estuaire de l'Escaut(1) l'un des derniers véritables estuaires d'Europe occidentale, Stevens (2006) a recensé 25 espèces de poissons dont 3 migrateurs amphihalins (anguille, mullet porc et éperlan), 3 espèces estuariennes (gobie tacheté, athérine, épinoche), 8 espèces d'eau douce et 11 espèces marines migratrices. En termes d'effectifs, 4 espèces représentaient 90% des effectifs (37% pour le hareng, 34% pour la sole, 13% pour le flet et 6.5% pour le bar). La grande majorité des espèces était constituée de juvéniles dont la longueur moyenne se situait entre 5 et 15 cm.

Dans le système lagunaire de la Ria d'Aveiro (2), Rebelo (1992) a inventorié 55 espèces de poissons dont 3 espèces migratrices amphihalines, 8 espèces marines migratrices, 4 espèces d'eau douce, 5 espèces sédentaires des lagunes et 35 espèces classées comme marines occasionnelles. En termes d'effectifs, ce sont les espèces sédentaires (athérinidae, gobiidae, mugilidae) qui étaient largement dominantes tandis qu'en biomasses, les peuplements étaient dominés par les espèces marines migratrices.

Des échantillonnages sur deux années dans le petit estuaire de la Canche (3) dans les Hauts de France a permis d'inventorier 28 espèces de poissons avec un peuplement fortement dominé par les espèces estuariennes sédentaires comme les Gobiidae, les espèces marines migratrices (bar, plie, sardine) et une espèce migratrice amphihaline, le flet (Selleslagh et Amara, 2008).

Une étude comparative de marais salés ouverts et de vasières dans l'estuaire du Tejo au Portugal (4) a permis de recenser 28 espèces de poissons (14 dans les marais salés et 27 dans les vasières). Deux espèces d'eau douce ont été recensées, le barbeau ibérique et la gambusie, 2 espèces migratrices amphihalines (anguille et mullet porc), 9 espèces estuariennes (dont l'athérine) et 15 espèces marines migratrices (Saldago et al., 2004). Le peuplement était assez riche mais numériquement dominé par deux espèces, le gobie tacheté et le mullet porc. Dans la baie du Mont-Saint-Michel(5), le suivi en aval du barrage du Couesnon, les mulets et le gobie buhotte étaient les 2 espèces les plus abondantes des communautés de poissons, représentant 70% des effectifs (Lafaille et al., 2001).

Dans les marais salés de la Baie de Saint-Brieuc (6), les échantillonnages conduit par Parlier (2006) ont permis de caractériser le peuplement piscicole avec 18 espèces. Parmi ces espèces, 3 étaient amphihalines (anguille, mullet sp. et flet), 6 euryhalines d'origine marine (athérine, juvéniles de clupéidés, bar, mullet doré et le sprat), 5

sténohalines marines (lançon, hareng, lieu jaune, barbut, chabot buffle) et 4 « résidentes » ou autochtones (épinoche, gobiidae). A noter que, dans ce milieu, aucune espèce d'eau douce n'a été échantillonnée. Les effectifs étaient dominés par les juvéniles de mulets sp.

Les échantillonnages réalisés par la Cellule de Suivi du Litoral Normand ont recensé 27 espèces dans les berges et schorre de l'estuaire de l'Orne (7) et 44 espèces dans 5 havres de la côte ouest du Cotentin (8) (Duhamel et al. 2021). Sur 3 sites de la baie d'Aiguillon, Joyeux et al., (2017) ont inventorié 18 espèces de poissons dont 56% de juvéniles de mulets sp., 14% de bars et 10% d'épinoche.

Le réseau de suivi mis en place depuis 2015 sur les chenaux des prés salés de 17 sites de la façade atlantique et de la Manche dans le cadre de l'Observatoire du Patrimoine Naturel Littoral a permis de caractériser l'ichyofaune et la carcinifaune de ces habitats (Baumann et Caillot, 2023). Sur 5 sites de la Seudre et de la Gironde, 27 espèces de poissons et 25 espèces de crustacés ont pu être identifiées, avec une variabilité non négligeable entre les sites. Les 5 taxons les plus abondants étaient le gobie tacheté, les mulets (indéterminés), le bar européen, le mulet porc et le mulet doré (représentant 85% des individus, avec une fréquence d'occurrence FO% comprise entre 68 et 93% selon les espèces) (Le Port et al., 2022)

4.1.2. PEUPLEMENTS PISCICOLES ET DEPOLDERISATION

Les marais côtiers non endigués constituent des habitats « naturels » qui accueillent une faune piscicole très souvent dominée par les espèces marines et certaines espèces migratrices amphihalines (anguille, mulets, flet). Pour évaluer les différences de types de peuplements par rapport à un marais endigué, il faut analyser les évolutions des communautés piscicoles après des opérations de dépoldérisation (Don, 2011).

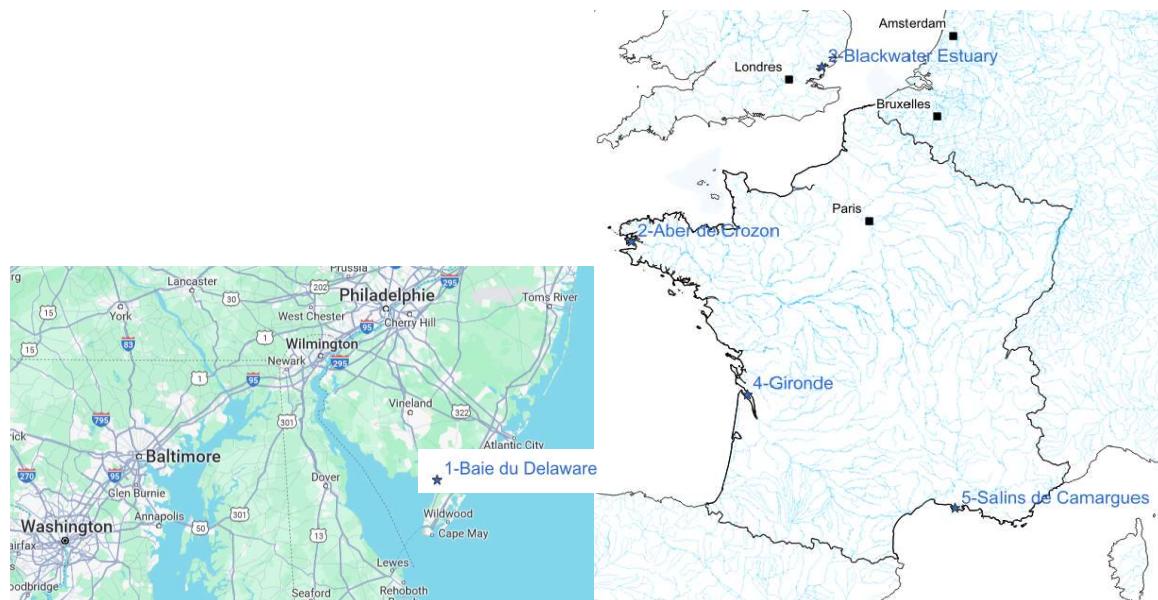


Figure 27 : Position géographique des différents exemples d'étude de dépoldérisation.

Une opération de dépoldérisation dans la baie du Delaware (1), a conduit à passer de 2 à 12 espèces de poissons (Able et al., 2000). Dans l'aber de Crozon (France) (2), une étude réalisée quatre ans après la restitution du polder à la mer a montré que le site a recouvré son ancienne richesse piscicole (Yoni et al., 1999 in Goeldner-Gianella, 2007 a). Une vingtaine d'espèces de poissons a en effet recolonisé la lagune de l'aber de Crozon (Bawedin, 2004 a). La dépoldérisation du marais de Abbot Hall (estuaire du Blackwater en Angleterre) (3) a permis le retour de plusieurs espèces caractéristiques dont le mulet, l'athérine, le flet et l'épinoche notamment (Colclough et al., 2005). Ces résultats très rapides sont en partie liés à la forte dynamique végétale observée dans les nouveaux habitats inondés.

Des suivis piscicoles et carcinicoles conduits en 2011 et 2012 dans l'estuaire de la Gironde (4) (Rimond et Lechêne, 2014) sur différents types de milieux (cinq vasières intertidales, un marais endigué, un marais intertidal naturel et deux marais dépoldérisés) permettent de bien appréhender les différences de structures de peuplements piscicoles en fonction des milieux côtiers.

| Localisation | Site échantillonné | Type de milieu | Code station | Salinité (%) | |
|----------------------------|-------------------------------|-------------------------|--------------|--------------|------------|
| | | | | Moyenne | Ecart-type |
| Rive droite (Saintonge) | Baie de Chant Dorat | Vasière intertidale | V5 | 18,68 | 5,16 |
| | Marais de Mortagne | Marais dépolâtré | MD2 | 13,06 | 4,15 |
| | Étier de Mortagne | Chenal de marée naturel | ET | 12,26 | 3,80 |
| | Marais de Saint-Dizant-du-Gua | Marais endigué | ME2 | 0,33 | 0,05 |
| Rive gauche (Médoc) | Phare de Richard | Vasière intertidale | V4 | 17,92 | 5,70 |
| | Saint-Christoly | Vasière intertidale | V3 | 10,94 | 4,61 |
| | Saint-Estèphe | Vasière intertidale | V2 | 5,98 | 4,00 |
| | Lamarque | Vasière intertidale | V1 | 2,28 | 2,76 |
| Ile Nouvelle | Bouchaud centre | Marais dépolâtré | MD1 | 2,68 | 2,57 |

Tableau 13 : Description sommaire des stations de pêche intertidales et salinité moyenne relevée en 2011 et 2012

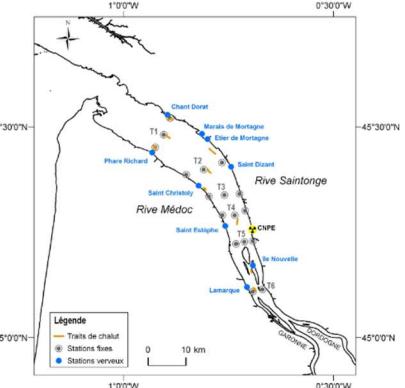


Figure 28 : Localisation des stations et secteurs de pêche dans les zones interet subtidale de l'estuaire de la Gironde (in Rimond et Lechène, 2014).

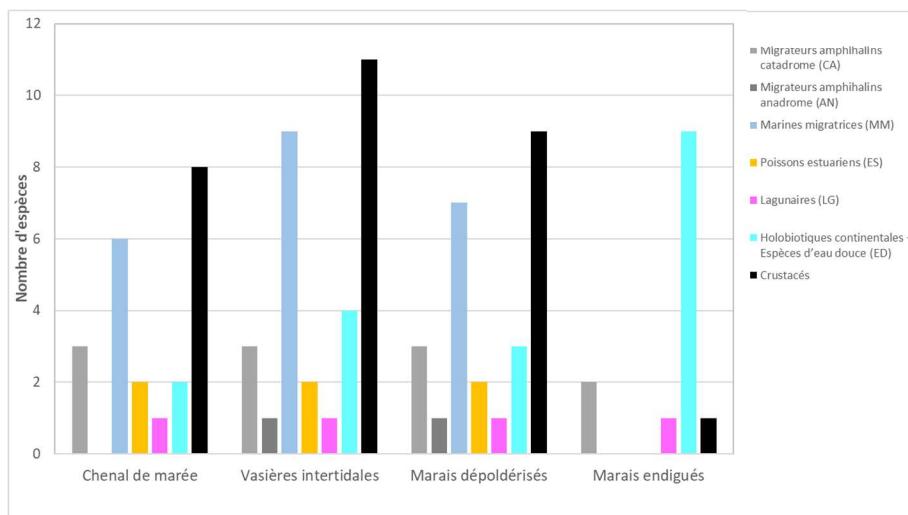


Figure 29 : Comparaison des nombres d'espèces par groupes fonctionnels entre les 4 types de milieux suivis (d'après Rimond et Lechène, 2014).

Les suivis révèlent des différences importantes entre le marais endigué qui n'accueille que des espèces d'eau douce notamment l'épinoche et une espèce migratrice amphihaline l'anguille tandis que les vasières et les marais dépolâtrés accueillent un cortège d'espèces beaucoup plus important et notamment les espèces migratrices marines comme le bar, la sole ou le maigre ainsi que 4 espèces migratrices amphihalines. Ces suivis indiquent non seulement les différences entre les milieux mais surtout la trajectoire très rapide des marais lorsqu'ils sont réouverts.

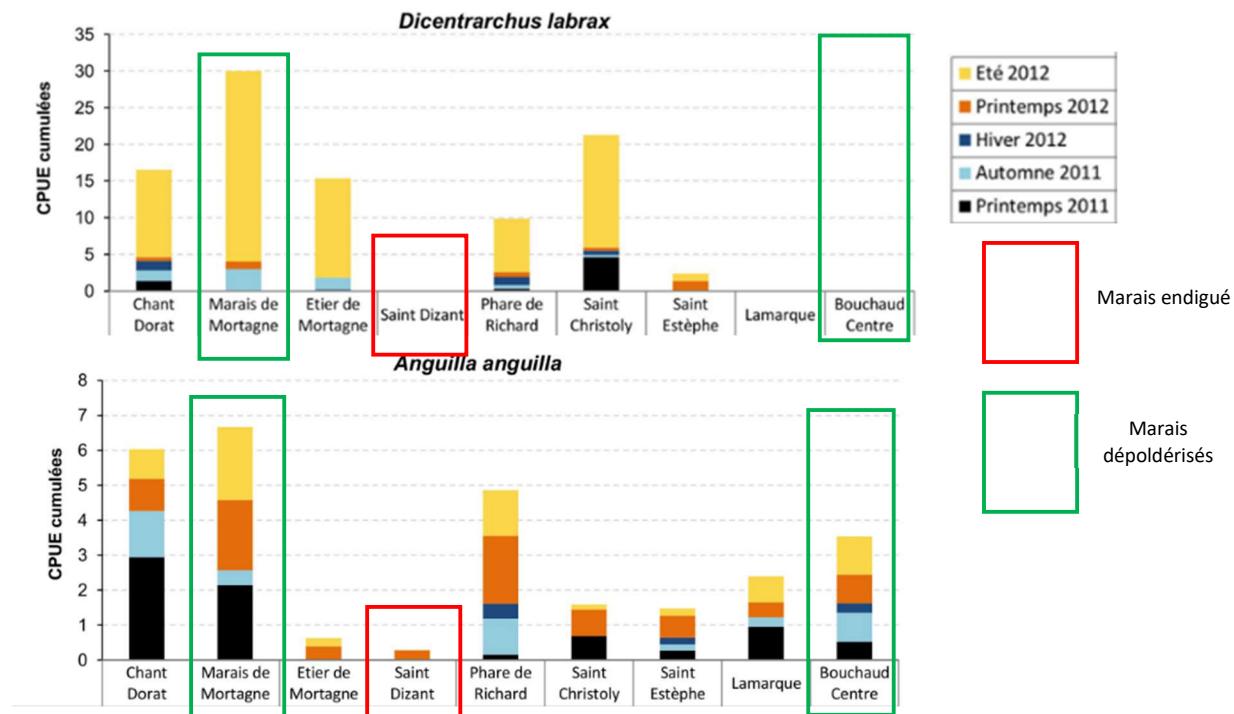


Figure 30 : Occupation saisonnière des habitats intertidaux par le bar franc (*Dicentrarchus labrax*) et l'anguille (*Anguilla anguilla*) (in Rimond et Lechêne, 2014).

L'analyse sur 2 espèces, le bar franc et l'anguille montre que les vasières, le chenal et l'un des marais dépoldérisé sont des habitats très attractifs pour les juvéniles de bars tandis que l'anguille est très représentée dans les marais dépoldérisés et sur certaines vasières, et assez peu présente dans le marais endigué.

Sogard et Able (1991) ont comparé les densités et la richesse spécifique de différents habitats côtiers. Si les zones de marais abritent les plus fortes densités de poissons, la richesse en espèces y est plus limitée que dans les herbiers à Zostères et à Laitue de mer (9 espèces contre 14 à 17).

Afin de suivre les effets de la renaturation sur le secteur des étangs et marais des Salins de Camargue (5) qui constitue depuis 10 ans un secteur à nouveau ouvert sur la mer et reconnecté aux étangs intérieurs, un suivi piscicole a été mis en œuvre de 2016 à 2021 le long de ce nouvel axe de connectivité du delta (Nicolas et al., 2021). Le suivi piscicole a permis de recenser 52 espèces de poissons sur 8 sites différents ainsi que 11 espèces de crustacés (Nicolas et al., 2021). Parmi toutes ces espèces, on dénombre 15 espèces d'eau douce, 10 espèces des lagunes, 3 espèces migratrices amphihalines, 15 espèces marines migratrices, et 9 espèces marines migratrices occasionnelles. Le peuplement piscicole se structure en fonction du gradient de salinité allant du sud vers le nord. Ce suivi, comme celui de la Gironde montre que la réouverture des marais littoraux aboutit à une colonisation rapide par les espèces notamment les espèces marines qui retrouvent très vite dans ces espaces, les habitats de nurserie nécessaires à leurs juvéniles.

4.1.3. MARAIS SALES ENDIGUES

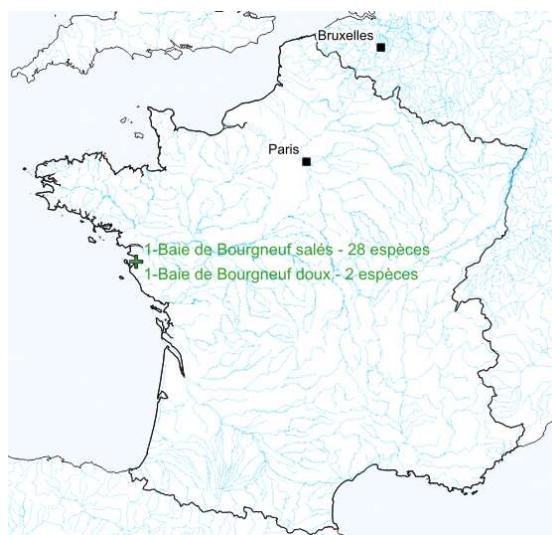


Figure 31 : Position géographique du marais de Bourgneuf.

Les échantillonnages réalisés séparément dans le marais salé endigué de la Baie de Bourgneuf (1) au sud de l'estuaire de la Loire ont permis de qualifier la structure des peuplements de ces deux systèmes (Feunteun et al., 1999). Les marais salés accueillaient 28 espèces de poissons dont 2 espèces d'eau douce (carpe et poisson-chat), 4 espèces de migrants amphihalins (anguille, mulot porc, flet et saumon), 4 espèces des lagunes (Gobie tachetée, syngnathus, athérine et épinoche) et 18 espèces marines migratrices arrivant soit en automne soit au printemps. En termes d'effectifs, le peuplement était dominé par les espèces sédentaires (épinoche, gobie tachetée, athérine) alors qu'en biomasse l'anguille représentait 76%. Toutefois, il s'agit de valeur ponctuelle issue de vidange hivernale de bassin n'intégrant pas forcément les espèces marines migratrices comme le bar ou la sole capable de pénétrer assez loin dans le marais. Lors d'une étude ponctuelle conduite sur 2 campagnes printanières de 3 jours en 2016 sur le même marais, Balazuc (2016) mentionne la capture par verveux et bosselles de seulement 6 espèces (anguille, bar, mulot porc, lamproie marine, gobie tachetée et gobie buhotte) avec des abondances beaucoup plus fortes dans l'étier primaire que dans l'étier secondaire (petits canaux par lesquels un marais salant communiquait avec la mer).

4.1.4. MARAIS DULÇAQUICOLE

Dans le marais dulçaquicole (1), Feunteun et al. (1999) ont recensé 21 espèces de poissons dont 2 espèces amphihalines (anguille et éperlan). A l'exception de l'épinoche, toutes les autres espèces sont inféodées aux eaux douces. La biomasse était dominée par 6 espèces qui représentaient 75% de la biomasse de poissons avec le poisson-chat (53%), l'anguille (15%), la tanche et la carpe (8%) et les brèmes et la perche-soleil (5%). A noter que ce cortège d'espèces correspondent toutes à des espèces thermophiles affectionnant les habitats lentiques.



Figure 32 : Position géographique des exemples d'études en marais dulçaquicoles.

En marais de Brière (2), Cucherousset et al. (2008) ont inventorié 15 espèces de poissons dans différents habitats (roselières, chenaux, prairies inondées). Comme pour la Baie de Bourgneuf, le peuplement était dominé par 6 espèces thermophiles et lénitophiles¹ et notamment le poisson-chat. La comparaison des 3 habitats montraient que les abondances de poissons étaient presque 18 fois plus fortes dans les chenaux que dans les roselières et les prairies inondées.

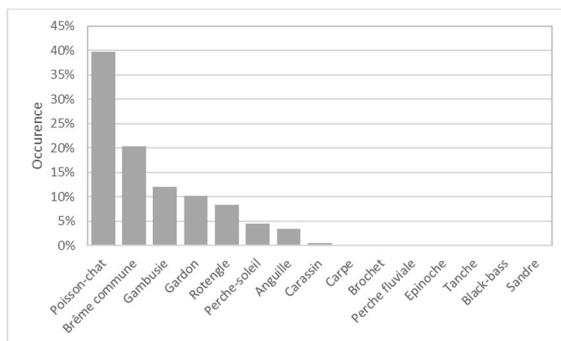


Figure 33 : Occurrence des espèces de poissons capturés en marais de Brière (d'après Cucherousset et al., 2008))

Durant 6 années, de 2015 à 2020, les peuplements piscicoles de 11 unités différentes du marais Poitevin (3) ont été échantillonnés (Crabot et al., 2022). Au total, 25 espèces de poissons ont été inventoriés dont deux espèces migratrices, l'anguille et le flet. Selon les sites, les richesses spécifiques variaient de 11 à 19 espèces. Le gardon est l'espèce la plus abondante suivie du poisson-chat, des brèmes, de la gambusie, de l'épinoche, du carassin et de la perche-soleil. Le brochet est présent dans 8 des sites mais avec des abondances faibles. Le site le plus riche en chlorophylle accueillait un cortège d'espèces thermophiles dominées par le poisson-chat et la gambusie tandis que le site avec les concentrations les plus faibles présentaient le plus fort effectif de brochet.

On retrouve, dans ce suivi, des caractéristiques de peuplement piscicole proches de celles observées dans d'autres suivis à savoir une dominante d'espèce lénitophiles et souvent thermophiles.



Ce qu'il faut retenir : les peuplements piscicoles des zones de marais se différencient fortement entre les marais salés ouverts à la mer accueillant une richesse spécifique élevée et un peuplement composé de différents groupes fonctionnels (espèces marines migratrices, espèces des estuaires et lagunes, espèces migratrices amphihalines, espèces d'eau douce) et les marais endigués. Ces derniers accueillent toujours un peuplement mixte d'espèces marines et d'eau douce mais dans des proportions qui varient beaucoup selon la morphologie du marais et son degré de connectivité à l'estuaire ou la mer. Les marais doux eutrophes et dégradés présentent des peuplements dominés par 4 à 6 espèces thermophiles tandis que ceux plus tamponnés accueillent un cortège plus large pouvant aller jusqu'à 19 espèces.

¹ espèce ayant la capacité de vivre dans les zones à courant faible ou nul.

4.2. LES CYCLES BIOLOGIQUES

4.2.1. LES ESPECES MIGRATRICES AMPHIHALINES

Pour les espèces migratrices, les estuaires et les lacs représentent des milieux de transition entre différentes zones fonctionnelles. Ces migrations, d'ampleur variable selon les espèces considérées, peuvent avoir deux finalités : soit alimentaire pour les espèces migrant vers une zone d'alimentation (juvenile ou adulte), soit reproductive pour les espèces migrant vers une frayère. Le maintien de la continuité écologique à la fois sur le plan longitudinal et transversal représente donc un élément fondamental pour l'alimentation et le renouvellement des populations.

4.2.1.1. LES ESPECES ANADROMES

Les 4 espèces migratrices anadromes concernées par cette synthèse sont les 2 espèces d'aloises (grande alose et alose feinte) et les deux espèces de lampreys (lamproie fluviatile et lamproie marine). **De par leurs exigences en termes d'habitats de reproduction (zones lotiques avec des substrats de galets), les 4 espèces ne se reproduiront pas en marais littoral. Ces milieux ne constitueront éventuellement qu'un lieu de passage dans le cas où des cours d'eau favorables sont présents en amont.**

- [La lamproie marine et fluviatile \(Cornu, 2019a et 2019b\)](#)

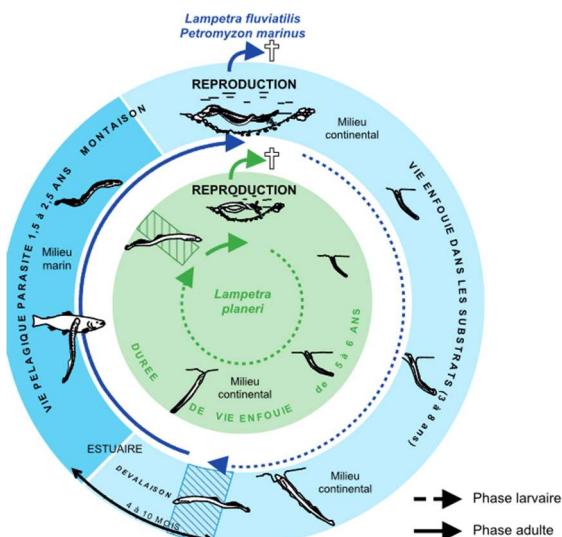


Figure 34 : Diagramme du cycle de vie des lampreys parasites anadromes (cercle extérieur) et non parasite (cercle intérieur) (in Taverny et Elie, 2010)

Les lampreys marins et fluviatiles sont des espèces migratrices anadromes sémelpares : elles meurent après sa reproduction, qui a lieu en eaux douces, mais passe une partie de son cycle de vie en mer. On distingue essentiellement trois stades de vie :

- Le stade ammocète (larvaire), avec des larves qui colonisent des sédiments fins (sable) pour y rester de 4 à 6 ans en consommant par filtration de petites proies (algues, zooplancton),
- le stade subadulte qui subit des transformations physiologiques (développement des yeux) et se laisse emporter par le courant vers la mer (dévalaison) d'octobre à février où elle va parasiter des poissons pélagiques et benthiques ainsi que des mammifères marins.
- le stade adulte qui correspond :
 - o A la phase de croissance en mer qui dure probablement de 1 à 2 années pour la lamproie marine et 2.5 à 3 ans chez la fluviatile,
 - o A la phase de migration et de reproduction en eau douce. La migration de montaison a lieu de nuit entre février et juillet pour la lamproie marine et entre novembre et mai pour la fluviatile. La lamproie marine est soumise au phénomène de « straying ». Elle n'est pas attirée par son cours d'eau de naissance, mais

favorise ceux accueillant déjà des ammocètes, signes que la reproduction est possible et efficace sur ceux-ci. Ces deux espèces n'utilisent les marais que comme des zones de passages migratoires.

- La reproduction qui peut se dérouler dans des parties très amont des cours d'eau (plusieurs centaines de km de la mer) a lieu d'avril à juillet. Pour la lampre fluviale, la période s'étale de mars à juin. Les géniteurs construisent des nids en déplaçant les galets dans lesquels les femelles vont enfouir leurs œufs. Les habitats de reproduction correspondent à des plages de galets aux interfaces des faciès plats courants et radier/rapide (Taverny et Elie, 2010). Les lampreys fluviales utilisent des granulométries plus petites (4-6 cm) (Lasne et Sabatié, 2009).

• La grande alose et les alooses feintes (Cornu et Menessier, 2019c et 2019d)

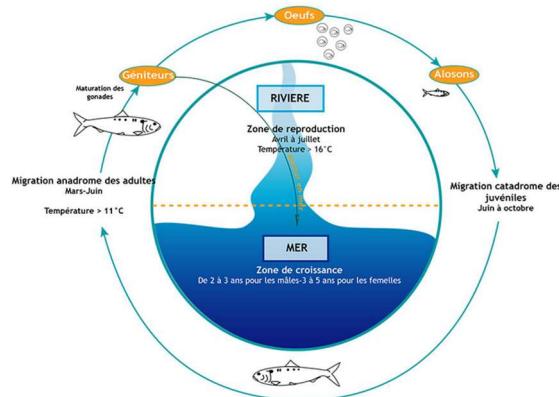


Figure 35 : Schéma du cycle biologique des 3 espèces d'alooses (d'après MRM).

La grande alose et les alooses feintes sont des espèces migratrices anadromes. Seule la grande alose est sémelpare. Les alooses feintes sont capables de se reproduire plusieurs fois. On distingue essentiellement trois stades de vie :

- Le stade aloson qui correspond aux alevins et juvéniles issus des larves. Ils se développent en eau douce et débutent directement leur migration de dévalaison vers l'aval courant juin-juillet et ce jusque fin octobre. Les alosons ne fréquentent pas les marais aménagés ou accidentellement, leur vocation étant de rejoindre la mer (Crivelli et Poizat, 2001). Leur alimentation est composée principalement de crustacés, de zooplancton et de larves de diptères. Les alosons de l'espèce grande alose sont plutôt pélagiques tandis que ceux des alooses feintes évoluent plus au fond,
- Le stade juvénile qui correspond à l'arrivée des alosons dans l'estuaire. Cette phase qui débute en fin d'été peut s'étendre sur une assez longue période pour la grande alose et l'aloise feinte atlantique. Elle est beaucoup plus courte pour l'aloise feinte de méditerranée. Ils continuent de s'alimenter à base de larves d'insectes, de crustacés et d'algues.
- Le stade adulte qui correspond :
 - A la phase de croissance marine qui peut durer de 2 à 6 ans pour les alooses feintes et 2 à 4 ans pour la grande alose,
 - A la phase de migration génératrice anadrome qui débute fin février et se poursuit jusqu'en juin pour les alooses feintes et juillet pour la grande alose. Les alooses ne fréquentent les marais que comme des zones de passages pour accéder en amont à des cours favorables à leur reproduction
 - A la reproduction qui dépend beaucoup de la température (seuils de 14°-16°C minimum). Les frayères correspondent, pour les 3 espèces à des habitats lotiques assez particuliers constitués en général par des zones d'accélération situées entre les deux faciès de chenal lotique et de radier. La reproduction a lieu en surface, les géniteurs effectuant des rotations très rapides caractéristiques et appelées « bull ».

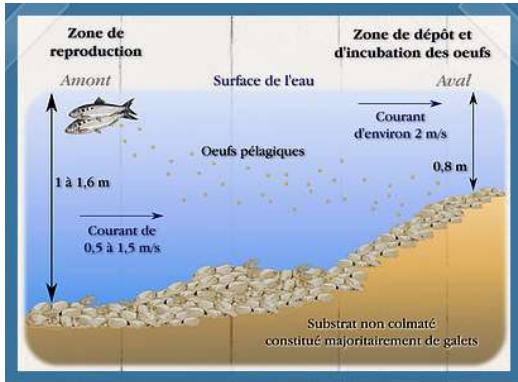


Figure 36 : Schéma d'une frayère type de grande alose (source : Réserve Naturelle de la frayère d'aloise).

4.2.1.2. LES ESPÈCES CATASTROPHES

Les 3 espèces migratrices catastrophes concernées par cette synthèse sont l'anguille, le flet et le mulot porc. De par leurs exigences en termes d'habitats de croissance des juvéniles voire des adultes pour l'anguille, les marais littoraux constituent des habitats importants pour ces 3 espèces.

• L'anguille

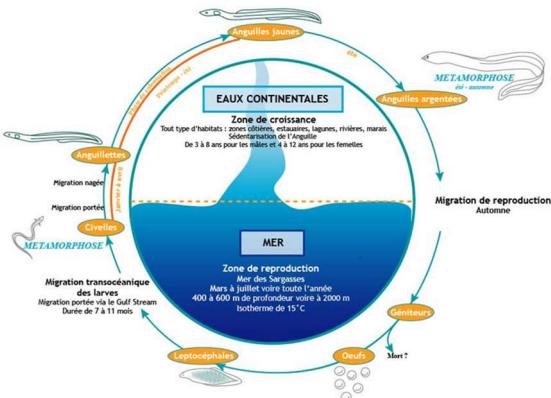


Figure 37 : Schéma du cycle biologique de l'anguille (d'après MRM).

Cette espèce aux fortes capacités d'adaptation peut coloniser de très nombreux milieux dont les marais salés, saumâtres et doux. Son cycle biologique se décompose en plusieurs phases :

- La leptocéphale stade larvaire qui traverse l'Atlantique portée par le Gulf Stream.
- La civelle qui correspond à l'entrée sur le plateau continental et dans les estuaires. Ces civelles vont pénétrer dans les terres en utilisant les courants de marée via le transport tidal sélectif (TTS) puis en nage active (Trancart et al., 2014). Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les civelles, durant cette phase possèdent des capacités de nage et les utilisent pour progresser vers l'amont lors du flot. La civelle y trouve dans le marais des milieux favorables à sa croissance. La phase de colonisation débute en hiver et se prolonge au début du printemps. Au cours de cette phase, la civelle, tout d'abord transparente va complètement se pigmenter et devenir anguillettes.
- L'anguillette va soit s'installer dans les habitats littoraux soit poursuivre sa migration. Elles peuvent ainsi coloniser des marais aménagés via les estuaires, les étiers et des chenaux. On estime que cette phase migratoire dure jusqu'à une taille de l'ordre de 35 cm. Ensuite, il s'agit davantage de déplacements individuels que de véritables migrations. Les anguillettes consomment surtout des larves d'insectes et de poissons. Toutes les anguillettes ne migrent pas vers de zones amont de cours d'eau. Un nombre important va rester à proximité des estuaires, dans les parties aval de cours d'eau et surtout dans les marais (Daverat et Tomas, 2006). Elles peuvent coloniser tous les habitats des estuaires et des marais aménagés.

- L'anguille jaune correspond à la phase de croissance des individus dans les différents milieux colonisés. Durant cette phase les anguilles deviennent de plus en plus ichtyophages au fur et à mesure de leur croissance. Elles peuvent rester de 8 à 15 ans dans les milieux saumâtres et continentaux. Les environnements saumâtres et marins en aval favorisent des taux de croissance plus que les habitats d'eau douce en amont (Jessop et al., 2004). La croissance des anguilles en milieu saumâtre serait plus élevée qu'en eau douce (Gutt, 1985). Les mâles grandissent rapidement et atteignent le stade argenté à une taille plus petite que les femelles qui se développent plus lentement dans les zones en amont et atteignent plus tard la maturité à une taille plus grande (Leo et Gatto, 1995 ; Pool et Reynolds, 1998). La présence de femelle de grande taille issues des parties aval est attestée. Dans les milieux aval et notamment les marais, les fortes densités peuvent générer des effets de compétition qui ralentissent la croissance (Parson et al., 1977 ; Walsh et al., 2007). L'anguille jaune qui a emmagasiné suffisamment d'énergie pour repartir en mer et aller se reproduire se transforme en anguille argenté
 - L'anguille argentée, apte à la vie en forte profondeur réalise tout d'abord une migration de dévalaison dans les milieux continentaux, puis les estuaires puis une migration dans l'océan pour regagner la mer des Sargasses. Cette phase débute en général à l'automne et se prolonge jusqu'au début du printemps.

A l'échelle des bassins, on considère en général que les zones amont des cours d'eau produisent exclusivement des femelles anguilles de grande taille et les zones aval des mâles de petites tailles.

L'anguille est très présente dans les marais littoraux et les lagunes (dans 70 % des lagunes méditerranéennes (Pérez-Ruzafa et al., 2011)). La biomasse estimée peut atteindre 30 kg ha⁻¹ dans les lagunes (Amilhat et al., 2008) contre des valeurs de l'ordre de 5-6 kg ha⁻¹ dans les habitats d'eau douce (rivières et lacs) (Rosell et al., 2005 ; Breteler et al., 2007 ; Acou et al., 2009).

• Le mulet porc

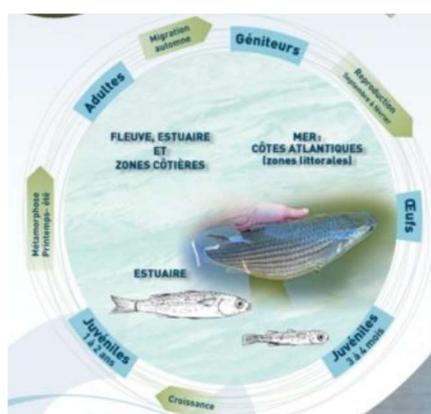


Figure 38 : Schéma du cycle biologique du mulot porc (d'après LOGRAMI).

Cette espèce amphihaline est capable de coloniser des milieux très différents au cours de son cycle biologique :

- Le stade larve correspond à la colonisation depuis la mer où a lieu la reproduction des zones estuariennes. Cette colonisation s'effectue a priori par transport tidal sélectif de novembre à avril.
 - Le stade juvénile qui peut durer 1 à 2 années se déroule quasi exclusivement en estuaire. Le régime alimentaire devient détritivore avec une forte proportion d'algues notamment filamenteuses. Leur exploration de proximité à l'estuaire et aux baies les amène à coloniser activement les marais salés aménagés, et certains marais doux de manière accidentelle.
 - Le stade adulte à partir duquel les mullets porcs vont effectuer des migrations vers les parties amont des bassins. Leur exploration de proximité à l'estuaire et aux baies les amène à coloniser activement les marais salés aménagés, et certains marais doux de manière accidentelle
 - Au début de l'automne, les géniteurs dévalent pour aller se reproduire en mer.

Pour cette espèce, les marais jouent un rôle très important comme nurserie des juvéniles. Des études portant sur la génétique des populations à l'échelle européenne depuis l'atlantique jusqu'à la méditerranée ont montré une faible différenciation des populations indiquant un assez fort brassage entre les différentes zones géographiques assurant le maintien des stocks (Pereira et al., 2023).

• [Le flet \(Skerritt, 2010\)](#)

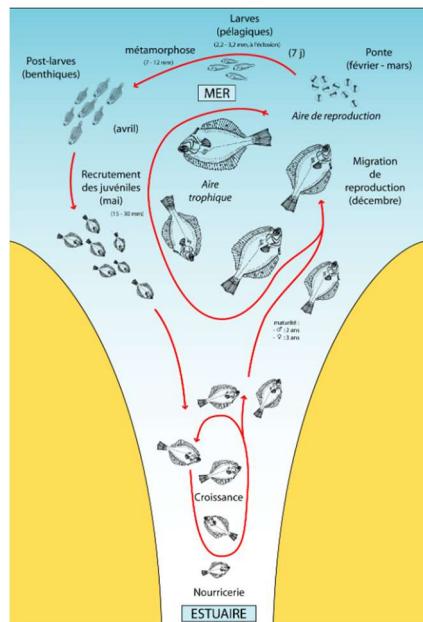


Figure 39 : Schéma du cycle biologique du flet (d'après Laroche et al., 2009).

Le flet réalise la plus grande partie de son cycle biologique en estuaire dans les milieux oligohalins (petits juvéniles et grands juvéniles), comme mésohalins (grands juvéniles et subadultes) et polyhalins (subadultes et adultes). Plusieurs phases caractérisent son cycle biologique :

- La phase larvaire durant lequel se déroule la colonisation des estuaires en avril par l'intermédiaire du transport tidal sélectif (Jager 1999). Les larves vont effectuer une migration vers les parties les plus amont en zone d'eau douce (Bos et Thiel, 2006),
- La phase juvénile qui a lieu en zone amont et médiane des estuaires et début en mai-juin. Le régime alimentaire est diversifié avec des crustacés, de petits poissons et des mollusques. Durant cette phase, les individus explorent différents habitats au sein des estuaires et des baies les amenant à coloniser activement les marais salés aménagés, et certains marais doux. Les poissons peuvent être amenés à effectuer des migrations de dévalaison notamment en avril-mai de l'année suivante (Summer, 1979 in Skerritt, 2010),
- La phase adulte qui correspond aux poissons matures âgés de 2 à 3 ans et qui vont redescendre en décembre à l'embouchure des estuaires pour se reproduire.

Comme le mullet, le flet a besoin des zones latérales et des marais avec notamment le besoin d'accéder à des habitats d'eau douce dès le printemps de sa 1^{ère} année.

4.2.2. LES ESPECES MARINES MIGRATRICES

4.2.2.1. LES ESPECES SE REPRODUISANT EN MER

Il s'agit de la sole, de la daurade et du bar. Ces 3 espèces présentent des similitudes dans leur cycle de vie avec une reproduction en mer, un développement larvaire qui aboutit à la colonisation des zones côtières et des estuaires, une utilisation de ces habitats en tant que nourriceries pour la croissance des juvéniles et un retour des adultes vers le milieu marin.

- La sole (Laffargue, 2004)

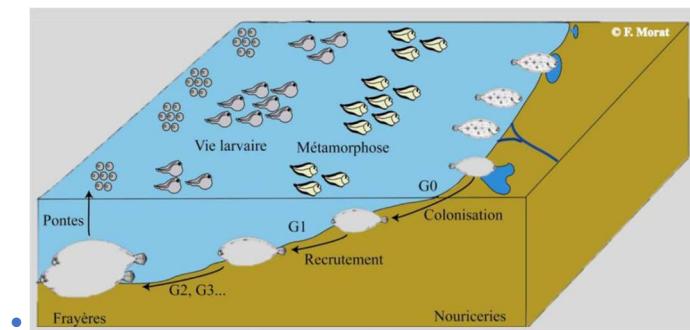


Figure 40 : Schéma illustrant le cycle de vie de la sole commune, *Solea solea*. (Morat, 2011)

Cette espèce présente un cycle de vie complexe qui se partage entre les zones côtières, les estuaires et les lagunes et la mer. Son cycle biologique peut être divisé en plusieurs phases :

- La reproduction qui a lieu en zone peu profonde à proximité des côtes soit en hiver en mer du Nord et jusqu'au début du printemps dans le Golfe de Gascogne.
- La phase larvaire au printemps qui dure de 1 à 3 mois au cours de laquelle la sole subit une métamorphose qui lui confère sa physionomie de juvénile et d'adulte. Elle passe d'une vie pélagique à une vie benthique.
- La phase de juvénile qui correspond à une colonisation des estuaires et des lagunes au printemps puis une phase de croissance. Les juvéniles colonisent activement les marais salés aménagés. Les jeunes soles se nourrissent de la faune benthique et épibenthique (polychètes, mollusques et crustacés). Durant cette phase, des migrations peuvent avoir lieu notamment en hiver pour gagner des zones plus profondes ou trouver des ressources alimentaires plus abondantes.
- La phase adulte qui utilise les estuaires, les lagunes ou le milieu marin. Les géniteurs effectuent une migration pour se reproduire.

- Le bar européen ou loup (Laugier, 2015)

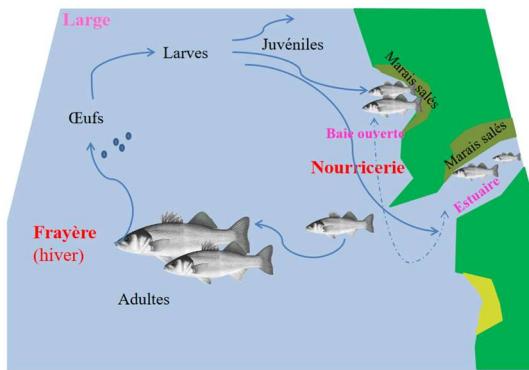


Figure 41 : Schéma théorique du cycle de vie du bar européen (in Laugier, 2015).

Cette espèce euryhaline est également très dépendante des estuaires (Kelley, 1988 ; Elliot et al., 2007). Comme pour la sole, on distingue au cours de son cycle biologique :

- Une phase de reproduction hivernale près des zones côtières (Dando et Demir, 1985).
- Une phase de développement larvaire au cours de laquelle elle dérive avec les courants vers des milieux côtiers où la salinité peut être variable. Les larves et juvéniles mènent une vie pélagique comme le plancton dont elles se nourrissent pendant quelques mois (Sabriye et al., 1988). À une taille comprise entre 5 et 15 mm (J5 et J60) (J, jours après l'éclosion), elles peuvent se trouver dans les eaux peu profondes des estuaires (Kelley, 1988).

- Une phase juvénile avec des poissons de plus de 2 à 3 cm et jusqu'à 15 cm qui colonisent les estuaires et les zones côtières. Il est commun d'observer des juvéniles (~60 jours 20-30 mm) qui migrent activement dans des estuaires, parfois jusqu'à l'eau douce (Brehmer et al., 2006). Les jeunes bars vont rester plusieurs mois dans ces zones et coloniser activement les marais salés aménagés.
- Une phase adulte à partir de laquelle les poissons reviennent en mer à proximité des côtes en faisant également des déplacements vers les estuaires. A l'âge de 4 à 5 ans, les géniteurs vont retourner sur les zones de fraie pour la ponte.

• [La Daurade \(Mignucci, 2021\)](#)

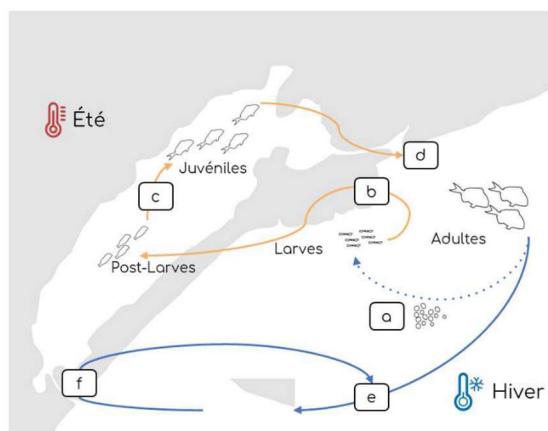


Figure 42 : Schéma du cycle de vie de la daurade royale entre la mer et les lagunes côtières (Théo Navarro, d'après Bodinier et al. (2010) et Lett et al. (2019)). (a) reproduction en mer des adultes, (b) recrutement des post-larves dans les lagunes, (c) croissance des juvéniles, (d) migration en mer des juvéniles (automne), (e) résidence en mer des adultes, (f) retour dans les lagunes des adultes (printemps).

La daurade est une espèce euryhaline et eurytherme, côtière. La daurade royale est connue pour être une espèce migratrice (Lasserre, 1976). Son cycle biologique se partage entre plusieurs phases :

- Une phase de reproduction en mer d'octobre à décembre.
- Une phase larvaire avec une migration assez rapide vers les zones côtières et une entrée dans les estuaires et surtout les lagunes.
- Une phase post-larvaire et juvénile dans les habitats où elles trouvent des ressources trophiques abondantes et des températures favorables (Arias, 1980 ; Pita et al., 2002 ; Chaoui et al., 2006). Ces individus effectuent des migrations entre la mer et les lagunes ou les estuaires voisins sûrement liées à la recherche de refuge pendant les épisodes dystrophiques (Katselis et al., 2007). Les juvéniles retournent en mer à l'automne.
- Une phase adulte à partir de l'automne avec de possibles migrations hivernales vers les lagunes. La reproduction a lieu à l'automne suivant.

4.2.2.2. LES ESPECES SE REPRODUISANT EN ESTUAIRE : LE MAIGRE (SOURGET ET BIAIS, 2009)

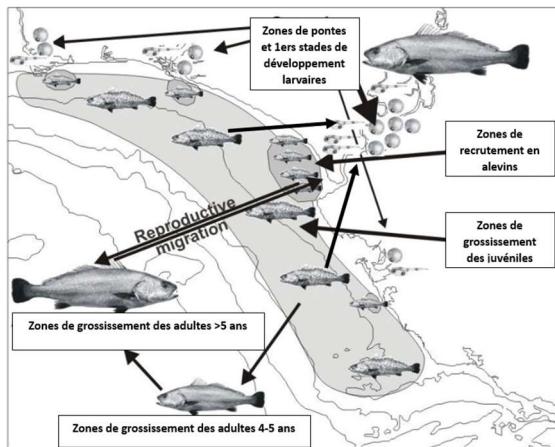


Figure 43 : Schéma théorique du cycle de vie maigre (in González-Quiros et al., 2011).

Le maigre est la seule espèce marine migratrice de notre synthèse à se reproduire en estuaire. Le cycle biologique se déroule en plusieurs phases :

- Au printemps, les adultes se regroupent dans les estuaires pour pondre. Pendant la saison de ponte, les mâles produisent un bruit profond typique, en poussant leurs muscles abdominaux contre la vessie natatoire.
- La phase de développement larvaire et d'alevin a lieu en estuaire en période estivale. Quand ils atteignent 30-40 cm, ils se nourrissent de poissons pélagiques et de céphalopodes. Ils gagneront ensuite la mer pour se mettre à l'abri des températures hivernales et cesseront alors de s'alimenter.
- Les juvéniles restent à proximité des côtes et ils reviennent dans les estuaires, sur les aires de nourrissage, au printemps,
- Les adultes passent plusieurs années en mer avant de revenir pour la reproduction.

4.2.3. LES ESPECES SEDENTAIRES DES ESTUAIRES ET LAGUNES

4.2.3.1. L'ATHERINE

Cette espèce est souvent considérée comme sédentaire mais elle peut aussi faire une migration vers des marais d'eau douce (Rosecchi et Crivelli, 1995 ; Bardin et Pont 2002).

La reproduction qui peut être très fragmentée a lieu de mars et juillet, dans des habitats peu profonds des chenaux et des plans d'eau.

Les larves se développent à proximité des zones de pontes. Le régime alimentaire des juvéniles et des adultes est variable selon les saisons avec de fortes activités au printemps et en automne (Chrisafi et al., 2007). Leur exploration de proximité à l'estuaire et aux baies les amène à coloniser activement les marais salés aménagés. Les études ont révélé un comportement alimentaire opportuniste avec toutefois des préférences marquées pour les petits crustacés (Castel et al., 1977 ; Gon et Ben-Tuvia, 1983 ; Bartulovic et al., 2004). Les contenus stomacaux ont aussi révélé que, bien que l'athérine soit benthivore dans les endroits où la couverture végétale est importante, elle est capable d'orienter son régime vers le zooplancton (Vizzini et Mazzola, 2005).

4.2.3.2. L'EPINOCHE

L'épinoche est capable de vivre totalement en eau saumâtre mais aussi en eau douce (Crivelli et Britton, 1987). Son cycle biologique y est identique. L'épinoche se reproduit de mars à juillet selon la région. Le mâle construit un nid en forme de tunnel avec des matières végétales agglomérées par du mucus. Il attire successivement plusieurs femelles attirées par la livrée vive du mâle vers son nid où se déroule la ponte. Le mâle assure la garde du nid et les soins parentaux (ventilation des œufs, éliminations des œufs morts...) jusqu'à l'éclosion.

Duhamel et al. (2012) indiquent que dans l'estuaire de la Seine, les plans d'eau de la plaine alluviale semblent être indispensables à l'accomplissement du cycle de vie de l'épinoche avec de flux saisonniers importants dans

les chenaux de marée. Craig-Bennett (1931) a réalisé de nombreuses observations de montaison d'épinoche au moment de la reproduction avec des tentatives de franchissement d'obstacles.

L'épinoche colonise durablement les parties saumâtres des marais salés aménagés, où ils se développent dans les secteurs déssalé (fonds de marais, près des coteaux). Elle est présente en forte densités dans les marais endigués dulcicoles et salés où il peut conduire l'intégralité de son cycle de vie.

Le régime alimentaire des juvéniles et des adultes est constitué de zooplancton, de micro-invertébrés, de petits crustacés et de chironomes. En marais, elle recherche souvent les zones proches des ouvrages où abondent le zooplancton estuaire. Elle constitue elle-même une ressource trophique importante pour l'avifaune.

4.2.4. LES ESPECES HOLOBIOTIQUES

4.2.4.1. LES BREMES

Les deux espèces de brèmes sont souvent considérées comme des espèces holobiotiques sédentaires colonisant les parties aval des cours d'eau, les lacs et les marais dulçaquicoles. Toutefois, elles présentent des capacités d'osmorégulation leur permettant d'évoluer dans des eaux légèrement salées (Asgari et al., 2013).

Elles sont notamment présentes dans les marais dulcicoles (salinité 0-5) de la façade atlantique Manche et mer du Nord, où elles peuvent effectuer l'intégralité de leur cycle de vie. Elles effectuent également des déplacements notamment au printemps pour la reproduction et en début d'hiver pour gagner des zones profondes (Hanssen et al., 2019).

- La reproduction se déroule au printemps, principalement de mai à juin. Les œufs sont déposés près de la rive sur des supports végétaux.
- Munies d'une vésicule, les larves de 4 mm se fixent aux plantes et restent immobiles. Une fois la vésicule résorbée, les juvéniles se déplacent en petits bancs et se nourrissent de plancton.
- Les juvéniles vont continuer d'évoluer en banc mais leur régime alimentaire va changer et devenir zoobenthophagie.
- Les adultes occupent surtout des habitats lenticules et assez profonds avec des fonds de sédiments fins favorables à leur alimentation.

4.2.4.2. LE BROCHET

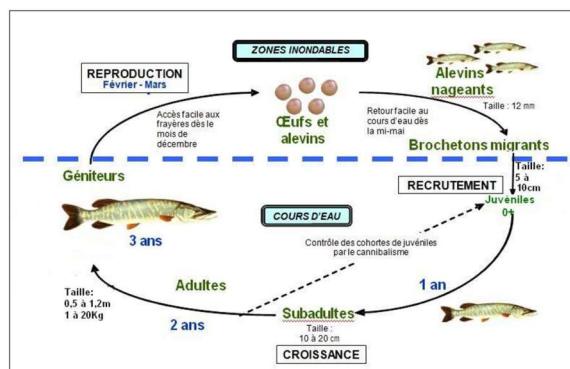


Figure 44 : Cycle biologique du brochet (source FDAAPPMA Calvados).

Le brochet est considéré comme un migrant holobiotique capable de vivre dans de nombreux types de milieux dulçaquicoles mais également saumâtre (cas de la mer Baltique, Arlinghaus et al., 2023.). Son cycle biologique comprend plusieurs phases :

- La reproduction qui a lieu en fin d'hiver-début du printemps. Les géniteurs sont susceptibles d'effectuer des migrations de plusieurs kilomètres pour gagner les zones de frayères qui peuvent correspondre à une plaine inondable, des annexes fluviales ou des affluents (Ovidio et Philippart, 2003 ; Cormont et al., 2020). L'utilisation des habitats de la plaine alluviale réclame une inondation hivernale et printanière. Les crues débordantes sont donc indispensables à l'espèce.

- La phase larvaire va se dérouler dans les zones de frayères. Les larves se nourrissent essentiellement de zooplancton avant une transformation conduisant à un changement de régime alimentaire (passage à l'ichtyophagie).

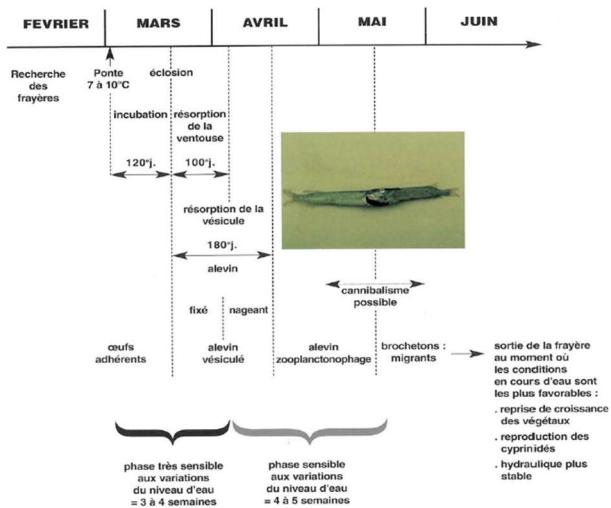


Figure 45 : Cycle de reproduction du brochet (d'après Chancerel 2003).

- Les juvéniles vont quitter les zones de frayères à la fin du printemps pour regagner les cours d'eau ou les lacs. Ils vont évoluer dans des habitats peu profonds riches en herbiers. Capturant leur proie à vue, ils préfèrent les eaux assez peu turbides.
- Les adultes ont besoin d'habitats profonds avec également une forte couverture végétale mais ils utilisent également des zones de faible hauteur d'eau pour s'alimenter. En début d'hiver, les géniteurs rechercheront les habitats de fraie.

Les marais peuvent constituer un habitat favorable au cycle de vie du brochet notamment en termes de zones de frayères. Ils doivent bénéficier d'une inondabilité durable. La réalisation de la totalité du cycle de vie en marais réclame de disposer d'un espace aquatique de grande dimension avec une bonne connectivité.

4.2.4.3. LA CARPE COMMUNE

Comme les brèmes, la carpe commune est souvent considérée comme une espèce holobiotique plutôt sédentaires colonisant les parties aval des cours d'eau, les lacs et les marais dulçaquicoles. Toutefois, elle dispose de capacités d'osmorégulation lui permettant d'évoluer dans des eaux légèrement salées (Ansall et al., 2013 et 2016).

La reproduction a lieu au printemps et en début d'été lorsque les températures dépassent 17-18°C (Scott and Crossman, 1973). Les géniteurs peuvent effectuer des migrations pour se reproduire dans des habitats peu profonds et très végétalisés (Chizinski et al., 2016 ; Watkinson et al., 2021).

Les larves restent d'abord fixées à la végétation jusqu'à résorption du sac vitellin. Elles se maintiennent ensuite dans les zones végétalisées et se nourrissent de zooplancton et de micro-algues. Les juvéniles et surtout les adultes deviennent benthophages et omnivores avec un comportement fouisseur très marqué. Ce comportement participe à la remise en suspension des sédiments du fond et à une augmentation de la turbidité des eaux (Kloskowski, 2011). Ce comportement peut avoir des impacts sur les communautés végétales ainsi que sur les équilibres trophiques des plans d'eau (Zambrano et al. 2001).

Au-delà de la migration de reproduction, les carpes adultes effectuent également des déplacements en automne et début d'hiver pour gagner des zones plus profondes (García-Berthou, 2001).

4.2.5. LES CRUSTACES

Les 4 crustacés étudiés présentent des phases de cycles de vie similaires avec une phase planctonique de développement larvaire (stades protozoé, zoé et métazoé) puis une phase benthique dès l'instant où les crevettes ou les crabes disposent de leur morphologie définitive.

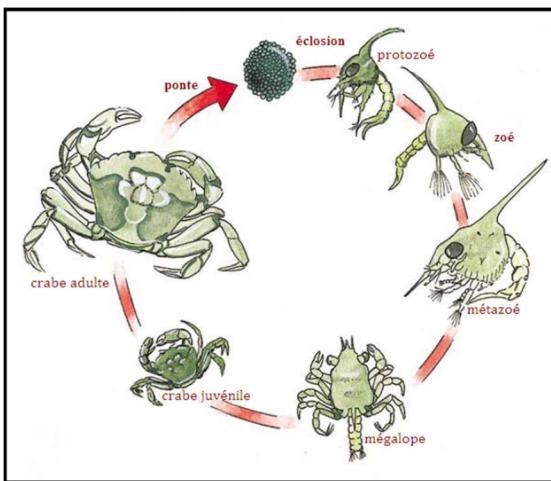


Figure 46 : Cycle de vie du crabe vert (d'après Varagnolo, 2004 in Baklouti Zouari S., 2010).

Les différences de cycle de vie entre les 4 espèces vont être liées aux lieux de développement des différentes phases, aux comportements et aux régimes alimentaires.

L'importance écologique de ces espèces pour les écosystèmes côtiers est liée à leurs habitudes alimentaires. Elles se nourrissent d'une grande variété de ressources aquatiques. Détritivores, elles contribuent à la décomposition mécanique de la matière organique réfractaire comme les fibres végétales, tout en étant un consommateur primaire et secondaire (Escaravage et Castel 1990). Ces différentes espèces constituent également des ressources trophiques importantes pour les poissons et l'avifaune. Elles ont donc un rôle essentiel dans le transfert de nutriments et d'énergie entre les différents niveaux tropiques des écosystèmes côtiers.

4.2.5.1. LE CRABE VERT (KLASSEN, G. ET LOCKE A., 2007)

Les deux espèces (crabe vert atlantique et méditerranéen) présentent des cycles biologiques assez proches. Elles peuvent coloniser alternativement les zones côtières, les lagunes et les marais.

Une ou deux pontes ont lieu chaque année. Les femelles peuvent engendrer jusqu'à 185 000 œufs à la fois (Cohen et Carlton, 1995). Les larves (quatre stades zoés et un stade mégalope) se développent sur une période pouvant atteindre 50 à 80 jours dans les eaux côtières (DeRivera et al., 2006). Les larves au stade zoé effectuent des migrations verticales actives qui favorisent leur sortie des estuaires (Quieroga et al., 1997). Au large du Portugal, la répartition des larves était confinée aux eaux côtières du plateau continental intérieur et moyen, les stades zoés plus tardifs se trouvant plus loin au large, principalement à une distance de 15 à 20 km environ des côtes (Queiroga, 1996). La distance maximale des larves par rapport aux côtes était de 45 km.

Au stade mégalope, elles utilisent certains courants de marée comme moyen de transport pour remonter vers les eaux côtières et les estuaires afin de s'établir et de se métamorphoser en crabes juvéniles (Quieroga, 1998). Les crabes verts sont abondants en marais salés à saumâtres. Une partie colonise ces milieux en phase larvaire par courant porté, une partie en phases juvénile et adulte à partir des étiers et des estuaires, à la faveur des ouvertures de vannages des marais.

Les adultes peuvent prendre une couleur rouge ou verte. Au Pays de Galles, Hunter et Naylor, (1993) ont montré que les individus de couleur verte effectuaient des déplacements intertidaux tandis que ceux de coloration rouge restaient dans les zones marines.

4.2.5.2. LA CREVETTE GRISE

La crevette grise fréquente les eaux saumâtres et marines de faible profondeur (< 50 m).

Les pontes peuvent avoir lieu au printemps ou en automne dans les zones aval des estuaires ou à proximité des côtes. La salinité joue un rôle important dans la maturation des femelles. Des salinités <5‰ inhibent la maturation des gonades chez les femelles (Gelin et al., 2001).

Les stades larvaires évoluent dans la masse d'eau et sont transportés en direction des baies et des estuaires. La pontes de printemps produisent des juvéniles qui vont pénétrer dans les zones intertidales, dans les marais et les lagunes pour s'y développer jusqu'au stade adulte. Les pontes d'automne produisent des juvéniles qui vont d'abord migrer vers le large en hiver avant de remonter en estuaire au printemps suivant.

La crevette grise est un prédateur épibenthique avec un large éventail d'organismes, tels que les vers, les amphipodes, les schizopodes, les escargots, les jeunes moules, des algues et même des poissons juvéniles (Oh et al., 2001). C'est une espèce écologiquement importante, en raison de sa place centrale dans le réseau alimentaire en tant qu'organisme proie de nombreuses espèces marines et d'oiseaux.

Aux stades juvéniles et adultes cette espèce est inféodée aux fonds meubles sableux et vaseux, des baies et estuaires. La maturité sexuelle est atteinte en quelques mois ou un an selon que les individus appartiennent à la génération de printemps (recrutement en avril-juin) ou à la génération d'automne (recrutement en septembre-octobre).

4.2.5.3. BOUQUET DES MARAIS OU DES CANAUX (BARNES 1994 ; HAYWARD ET RYLAND, 1995)

Cette crevette se développe en eau saumâtre dans des eaux peu profondes, par exemple dans des baies abritées et richement végétalisées ou dans des estuaires (Barnes, 1994 ; Dolmen et al., 2004). Elle affectionne les eaux très turbides, avec de grandes variations saisonnières de la salinité et de la température (Hayward et Ryland, 1995 ; Vieira et Bio, 2011). Pendant la journée, elle a tendance à rester dans un abri et la nuit, elle vient se nourrir sur les débris du rivage. L'espèce est omnivore. Elle se nourrit de larves d'insectes, de plantes ou de petits animaux en décomposition. Les femelles portent des œufs de mai à septembre. Les larves sont pélagiques.

Sa durée de vie maximale est proche de 24 mois avec une période de reproduction s'étendant de mai à septembre (Laurent-Bizot-Espiard 1984).

On pense que les larves de *P. varians* peuvent être exportées de l'environnement d'eau saumâtre vers l'environnement marin ancestral pour le développement larvaire et qu'elles recolonisent l'eau saumâtre pendant les stades juvéniles (Fincham 1979, Oliphant et Thatje 2014).

4.2.5.4. LA CREVETTE BLANCHE (CARTAXANA 2003 ; BEGUER ET AL., 2010)

Cette espèce est beaucoup plus oligohaline que les deux autres. Elle effectue son cycle biologique en totalité dans les zones estuariennes et lagunaires. Les juvéniles et les adultes peuvent même évoluer durant de longues périodes en eau douce.

La reproduction a lieu entre mars et juillet et dépend fortement de la température de l'eau. Les géniteurs dévalent dans les eaux mésohalines.

Les juvéniles et les adultes sont des carnivores consommant des proies benthiques et notamment beaucoup de petits crustacés, ainsi que ponctuellement des chironomes et quelques déchets végétaux (Ashelby et al, 2013).

Dans l'estuaire de la Gironde, le statut de l'espèce apparaît fragile avec une très forte baisse des effectifs depuis 20 ans (Béguer et al., 2010).

Plus que les deux autres espèces, la crevette blanche semble fortement dépendante de la qualité des habitats d'interface entre les eaux salées et douces et donc en partie de la fonctionnalité des zones de marais.



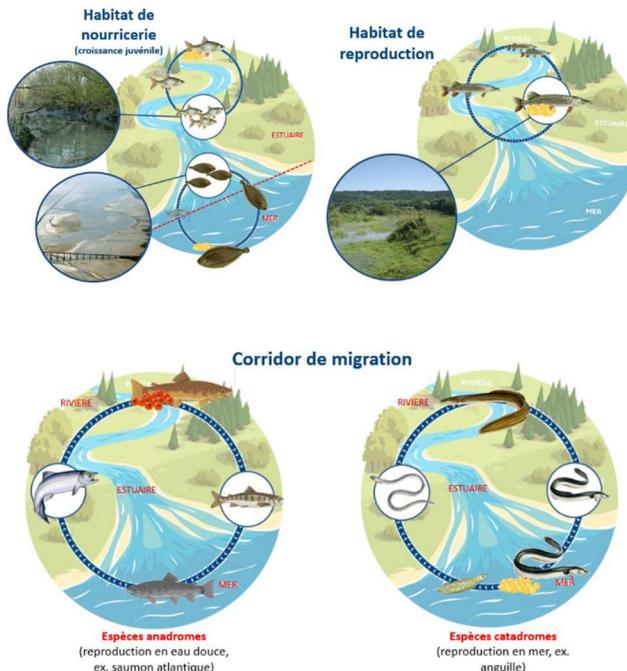
Ce qu'il faut retenir : les cycles biologiques des 17 espèces de poissons et des 4 crustacés étudiés sont très différents avec toutefois des similitudes par groupes fonctionnels (migrateurs amphihalins anadromes, catadromes, migrateurs marins, sédentaires et holobiotiques). Les marais littoraux apparaissent essentiels comme :

- Zones de nourricerie des juvéniles de migrateurs marins (bar, sole daurade, mullet doré) ainsi que de mullet porc et de flet ;
- Zone de croissance des juvéniles et adultes d'anguilles, des crevettes blanche, grise, du bouquet des marais ainsi que du crabe vert ;
- Zone pour développement des athérines, des épinoches, des brèmes, de la carpe et du brochet ;
- Zone de passage (chenaux et cours d'eau) pour les migrateurs amphihalins anadromes (aloises et lampreys) et catadromes (anguille, mullet porc et flet).

Ces différentes fonctions écologiques dépendront fortement des caractéristiques des marais (salinité, morphologie, type de gestion) et de leur connectivité hydraulique.

4.3. GENERALITES SUR LES PREFERENCES D'HABITATS DES ESPECES

Comme nous venons de le voir, les marais peuvent remplir plusieurs fonctions pour les espèces de poissons et les crustacés. Ils hébergent souvent de nombreux poissons résidents et sont colonisés par les juvéniles de diverses espèces migratrices marines (Rodríguez-Climent et al. 2013 ; Verdiell-Cubedo et al. 2013). Selon ces différents groupes espèces et les stades de développement, les patrons d'utilisation des habitats pourront être très différents (Whitfield, 2016). Les marais vont constituer des zones de nourricerie pour les juvéniles des espèces migratrices marines (le bar, la daurade, la sole), des espèces sédentaires (l'athérine, l'épinoche pour les marais salants ; les brèmes et le brochet pour les marais doux) et de certaines espèces migratrices amphihalines (l'anguille, le flet) (Boesch et Turner, 1984). En effet, la productivité élevée et la couverture de macrophytes de ces milieux fournissent une nourriture et des abris optimaux aux poissons juvéniles (Levin et al. 2001). Leur profondeur souvent réduite et la présence d'une structure d'habitat complexe limite l'accès aux grands prédateurs (Halpin, 2000). Pour certaines espèces sédentaires, les marais sont également des zones de frayères.



(Source de la représentation graphique de l'estuaire : www.mnivesse.com)

Figure 47 : Représentation schématique des différentes fonctions associées aux milieux estuariens (in Muntoni, 2020).

Dans cette partie nous décrirons les deux composantes de l'habitat des espèces, à savoir l'habitat lié aux caractéristiques physico-chimiques et celui lié aux caractéristiques physiques.

4.3.1. DES FONCTIONNEMENTS BIOLOGIQUES FORTEMENT DEPENDANT DES HABITATS

La caractérisation des habitats des marais littoraux est un élément important pour le bilan des connaissances vis-à-vis des 21 espèces identifiées. En effet, de par leur cycle biologique, ces espèces sont susceptibles de coloniser des habitats très différents au sein des marais littoraux en relation avec leurs exigences écologiques. Il convient donc de bien définir ces différents types d'habitats et leurs caractéristiques. Dans de nombreux habitats de lagunes et/ou de marais, l'abondance et la composition globale du peuplement de juvéniles de poissons sont en premier lieu fortement contraintes temporellement, par les cycles de colonisation et de reproduction des espèces (migratrices et résidentes), mais également par les variations saisonnières des paramètres de l'eau. Ce couplage entre les cycles de vie des poissons et les cycles environnementaux saisonniers refléterait les stratégies de chaque espèce pour optimiser leur métabolisme et réduire le stress subi par les juvéniles, favorisant ainsi leur survie et croissance (Drake and Arias, 1991 ; Marshall and Elliott, 1998 ; Pérez-Ruzafa et al., 2004). Cependant, au-delà de cette forte contrainte temporelle, il est possible d'observer un effet des contraintes locales des habitats générant des variations spatiales marquées de la richesse spécifique et de la structure du peuplement de juvéniles de poissons. Bien que les variabilités de la salinité et de la température conditionnent la répartition spatiale des juvéniles de poissons dans de nombreuses lagunes (Gordo et Cabral, 2001 ; Maci et Basset, 2010 ;

Rodríguez-Climent et al., 2013), les caractéristiques locales des habitats et notamment la présence des communautés végétales peuvent jouer un rôle important (Anras, com. pers. ; Ouisse et al., 2022).

4.3.2. RELATIONS AUX CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

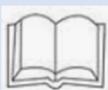
4.3.2.1. INFLUENCE DE LA SALINITE SUR LA DISTRIBUTION DES ESPECES

La salinité est une des principales caractéristiques abiotiques liées à la structure et au fonctionnement des marais salés (Butzeck et al. 2015 ; Pennings et Bertness 2001). Ce paramètre présente des variabilités à la fois spatiale et temporelle très fortement liées à la gestion des ouvrages qui conditionne les entrées d'eau issue de la mer ou de l'estuaire et les apports d'eau douce issue du bassin versant, au taux d'évaporation et au type de sols et aux échanges éventuelles avec les nappes d'eau souterraine (Odum 1988 ; Wang et al., 2007). Bon nombre de ces facteurs sont influencés par les saisons. La variabilité spatiale et temporelle de la salinité peut être forte comme le montrent les suivis sur le complexe lagunaire du Vaccarès (Nicolas et al., 2021) ou en baie d'Aiguillon.

Les valeurs optimales et les limites de tolérances ont été établies sur la base des données disponibles en bibliographie en reprenant notamment les travaux de Taverny et al. (2009).

| Nom commun | Larve | Juvénile | Adulte |
|-----------------------------------|---|---|---|
| Anguille | | | |
| Flet | | | |
| Mulet porc | | | |
| Lamproie marine | | | |
| Lamproie fluviaile | | | |
| Grande Alose | | | |
| Alose feinte | | | |
| Brochet | Sténohalin [0-7 g.l ⁻¹] | Sténohalin [0-12 g.l ⁻¹] | Sténohalin [0-18 g.l ⁻¹] |
| Brème commune et brème bordelière | | Sténohalin [0-10 g.l ⁻¹] | |
| Carpe commune | | Sténohalin [0-15 g.l ⁻¹] | |
| Epinoche | | Euryhalin [0-40 g.l ⁻¹] | |
| Athérine | | Euryhalin [0-60g.l ⁻¹] - Optimum [2 à 20 g.l ⁻¹] | |
| Mulet doré | Euryhalin [4-50 g.l ⁻¹] | Euryhalin [0-100 g.l ⁻¹] | |
| Bar commun | Optimum [10 à g.l ⁻¹] | Euryhalin [0.5-40 g.l ⁻¹] Optimum [10 à 20 g.l ⁻¹] | Euryhalin [0-40 g.l ⁻¹] Optimum [25-35 g.l ⁻¹] |
| Sole | Optimum [20 à 40 g.l ⁻¹] | Euryhalin [0.5-40 g.l ⁻¹] Optimum [10 à 25 g.l ⁻¹] | Euryhalin [0.5-40 g.l ⁻¹] Optimum [25-35 g.l ⁻¹] |
| Daurade royale | Optimum [15-25g.l ⁻¹] | Euryhalin Optimum [15-25 g.l ⁻¹] | Euryhalin [0.5-40 g.l ⁻¹] Optimum [25-35 g.l ⁻¹] |
| Maigre | | Euryhalin Optimum [15-30 g.t ⁻¹] | |
| Crevette blanche | | Euryhaline [5-40 g.l ⁻¹] | |
| Bouquet des marais | | Euryhaline [5-40 g.l ⁻¹] | |
| Crevette grise | Euryhalin optimum [20-32g.l ⁻¹] | Euryhalin [5-40 g.l ⁻¹] ; optimum [20-35 g.l ⁻¹] | |
| Crabe vert | >15 g.l ⁻¹ | Euryhalin [4 - 52 g.l ⁻¹] Optimum [10 à 30 g.l ⁻¹] | |

Tableau 14 : Gamme de tolérance [min-max] et d'optimum de développement vis-à-vis de la salinité.



Le bar : espèce euryhaline dont la tolérance à la salinité varie avec le stade de développement allant de 0.5 à 40 %. La croissance et la survie des larves et des juvéniles sont plus fortes dans les eaux oligohalines à mésohalines (Saillant et al., 2003).

La sole : espèce euryhaline dont la tolérance à la salinité varie avec le stade de développement. Les juvéniles de l'année préféreraient les zones de salinité allant de 10 à 33 % (Marchand et Masson 1988) avec de fortes densités d'alevins dans les zones oligohalines, sur les fonds vaseux riches en invertébrés benthiques (Martinho et al., 2007). La croissance optimale des larves a été observée pour des salinités de 25% (Tandler et al., 1995). Cependant, les subadultes et les adultes sont plutôt majoritairement présents en zone mésohaline, polyhaline et marine.

Le maigre : espèce euryhaline avec un développement optimal des juvéniles (10-35 g) entre 15 et 30 % de salinité (Abdel-Rahim et al. (2019)).

Les mullets : espèces migratrices marines ou amphihalines dont les tolérances à la salinité divergent. Le mullet porc est susceptible d'être affecté par des changements brutaux de salinité (Mires et al. 1974 ; Hotos et Valos 1998) tandis que le mullet doré, comme le mullet lippu, tolère une grande amplitude de variations salines (Ben-Yami, 1981) même si les juvéniles ont une forte affinité pour les eaux poly et euhalines (Cardona, 2006).

Le flet : bien que cette espèce euryhaline soit considérée comme sensible à certaines valeurs de salinité, les travaux d'O'Neil et al. 2011 n'ont pas montré d'effets de différentes valeurs de salinité sur la croissance et le développement du flet. Ses patrons de distribution dans les estuaires ne seraient donc pas liés à des préférences de salinité.

L'athérine : d'une manière générale, les atherinidés sont capables d'osmoréguler dans une gamme de salinité supérieure à celle des autres espèces de poissons que l'on trouve dans les lagunes (Thompson et Whitters, 1992). *Atherina boyeri* est très euryhaline avec un optimum de salinité entre 2 à 19 % (Rebelo 1992).

L'épinoche : elle présente une large tolérance à la salinité lui permettant de coloniser une large gamme d'habitat (Jordan et Garside, 1972). Campeau et al., (1984) ont montré une très grande tolérance des alevins d'épinoche à la salinité même si un passage bref en eau douce à ce stade pouvait provoquer une mortalité de l'ordre de 25% (Rind, 2018 ; Rind et al., 2020).

Le Brochet : la survie de juvénile de brochet a très fortement diminué pour des salinités >12 % (Jacobsen et al., 2007). Dans les lagunes, une tolérance jusqu'à 12–15 % a été observée (Schlumpberger 1966) allant jusqu'à un maximum de 18 % (Dahl 1961).

La brème commune: une étude sur l'osmorégulation chez la brème commune a révélé des mortalités importantes lors du passage à des salinités >10 %. L'optimum semble se situer autour de 4 % (Asgari et al., 2013).

La carpe commune : Des expérimentations ont révélé des capacités de tolérance jusqu'à des concentrations de 15 % notamment pour des juvéniles (Singh et al., 2018)

La Crevette grise: espèce considérée comme euryhaline surtout pour les juvéniles et les adultes (Cieluch al. 2004) avec une tolérance pour des salinités de 6 à 40 %. (McLusky et al., 1982). Les larves présentent une tolérance beaucoup plus étroite, avec des taux de survie élevés entre 17 et 32 % (Criales & Anger 1986). La survie diminue rapidement dans des milieux en dessous de 10% (Cieluch et al. 2004).

La Crevette blanche: espèce euryhaline avec une tolérance importante comprise entre 0,5 et 43 % (Campbell et Jones, 1990).

Le Bouquet des marais: espèce considérée comme euryhaline.

Le Crabe vert : espèce euryhaline avec une osmorégulation efficace (McGaw et al., 1999). Les adultes tolèrent des salinités variant de 4 à 52 % (Cohen et Carlton, 1995) mais ce sont les eaux allant de mésohalines à polyhalines (de 10 à 30 %) qui sont préférées (Grosholz et Ruiz, 2002). Les larves tolèrent moins bien les faibles salinités que les adultes. Des larves au stade zoé fraîchement écloses ont survécu à des salinités <15%, mais n'ont pas complété leur développement durant le cycle biologique puisque le stade mégaloïde exigeait des salinités ≥ 20% (Anger et al., 1998).

Pour beaucoup d'espèces, la tolérance à la salinité est fortement liée à la température de l'eau (Poxton et Allouse, 1982) avec une majorité de situations, notamment pour les espèces migratrices marines et les crevettes où la tolérance à la salinité diminue lorsque les températures baissent (Kelly et al., 2012 ; Yilmaz et al., 2019).



Ce qu'il faut retenir : Même si beaucoup d'espèces, notamment les migratrices marines sont considérées comme euryhalines, la salinité va conditionner en grande partie la distribution des poissons dans les zones estuariennes, lagunaires et les marais. Au-delà de la séparation entre les espèces d'eau douce colonisant les marais doux et les espèces marines ou lagunaires colonisant les marais salés, certaines espèces vont présenter des tolérances aux faibles salinités leur permettant de coloniser des eaux plus saumâtres.

4.3.2.2. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE

La température est le second élément déterminant dans la distribution des poissons. Elle intervient vis-à-vis de la croissance, du déclenchement de la reproduction et du développement des œufs et des larves. L'ensemble des espèces de poissons et de crustacés concernées par cette synthèse sont des espèces qui affectionnent les eaux tempérées à chaudes. Les espèces recherchant les eaux les moins chaudes sont les deux espèces de lamproies et le maigre dont la température optimale de développement est de l'ordre de 17° à 21°C.

La tolérance à la température dépend beaucoup de la température initiale d'acclimatation des individus. Plus l'écart est important entre l'acclimatation et la température subie, plus la croissance ralentit et le risque de mortalité augmente.

| Nom commun | Optimum | Maximum létal |
|-----------------------------------|------------|---------------|
| Anguille | [22-23°C] | 38°C |
| Flet | [18-24°C] | |
| Mulet porc | [25-28 °C] | 39-42°C |
| Lamproie marine | [15-22°C] | 33°C |
| Lamproie fluviatile | [18-20°C] | 34.5°C |
| Grande Alose | [15-27°C] | 30°C |
| Alose feinte | [24-28°C] | 30°C |
| Brochet | [13-21°] | 30°C |
| Brème commune et brème bordelière | [15-25°C] | |
| Carpe commune | [20-28°C] | 34°C |
| Epinoche | [24-30 °C] | |
| Athérine | [13-23°C] | |
| Mulet doré | [25-28 °C] | 39-42°C |
| Bar commun | [22-26 °C] | 34°C |
| Sole | [20-25°C] | 31°C |
| Daurade royale | [25-30 °C] | 35°C |
| Maigre | [17-21°C] | 30°C |
| Crevette blanche | | 35°C |
| Bouquet des marais | | 36°C |
| Crevette grise | [15-25 °C] | 33°C |
| Crabe vert | [10-26°C] | 35°C |

Tableau 15 : Gamme de tolérance et d'optimum de développement vis-à-vis de la température de l'eau.

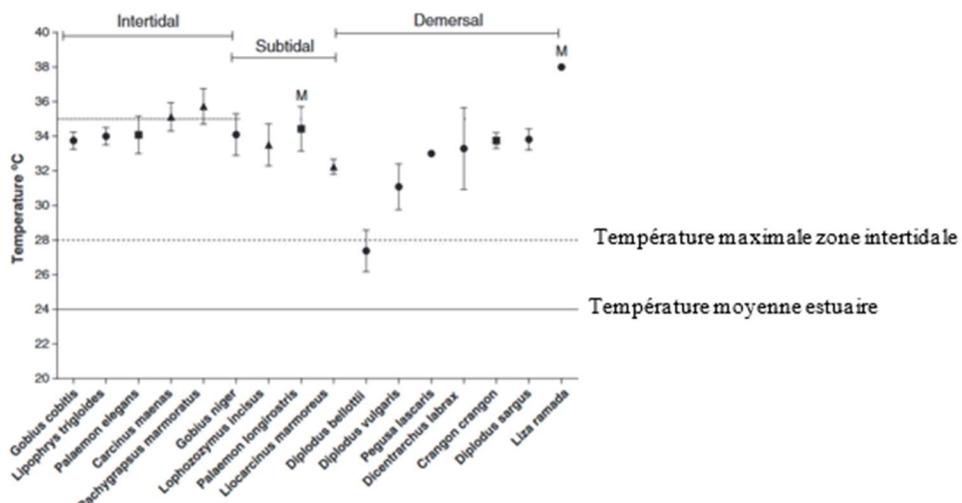


Figure 48 : Maxima thermiques critiques de neuf espèces de poissons, quatre espèces de crabes et trois espèces de crevettes de l'estuaire du Tage et des eaux côtières marines adjacentes (in Madeira et al., 2012).



L'anguille : Sadler (1979) a montré que la température optimale pour la croissance était de 22°-23°C tandis que la température létale est proche de 38°-39°C.

Grande alose : Jatteau et al. (2017) ont mis en évidence une relation entre la température et la survie des embryons et des larves, avec des taux de survie plus élevés (supérieurs à 80 %) pour des températures comprises entre 15,7°C et 25,6 °C pour les embryons et entre 14,6°C et 26,7°C pour les larves.

Alose feinte : Les larves d'*Alosa fallax* ont présenté des taux de croissance et de survie plus élevées lorsqu'elles étaient soumises à des températures de 24 °C à 28 °C (Navarro et al., 2014).

Lamproie marine : Potter et Beamish (1975) ont montré expérimentalement que les températures létales de larves de lamproies marines atteignaient 33°C pour des individus acclimatés à 25°C. Reynolds et Casterlin, (1978) ont identifié une gamme de 10°C à 19°C comme les valeurs optimales de développement des larves, mais Holmes et Lin (1994), sur la base des activités de nage, ont limité cette fourchette à 17,8°-21,8°C.

Lamproie fluviatile : Smirnov et al. (2020) ont déterminé une température létale des larves de lamproie fluviatile à 34,5°C. Ils ont identifié une température optimale de développement entre 18°C et 20°C.

Le bar : La croissance des juvéniles est maximale entre 22°C et 25°C (Barnabé, 1990 ; Claridge et Potter, 1983). Les jeunes ne se rencontrent pas au-delà de températures supérieures à 34°C (Coutant, 1977). L'adulte est aussi tolérant avec une valeur seuil qui atteint 30°-32°C (Claireaux et Lagardère, 1999).

La sole : Schram et al. 2013 ont montré que la gamme optimale de croissance des soles se situait entre 20°C et 25°C comme Fonds (1976).

Le maigre : La croissance optimale est observée entre 17°C et 21°C (Suquet et al., 2009).

La Daurade royale : La croissance des juvéniles est optimale entre 25°C et 30°C (Kir, 2020). En revanche, la survie des stades larvaires est optimale entre 16°C et 22°C (Polo et al., 1991).

Les mullets : Les juvéniles de *M. Cephalus* sont capables de fréquenter des zones où les valeurs des températures peuvent atteindre 34°C et 37,2°C. Leur niveau létal se situe entre 39°C et 42,5°C (Major, 1978).

Le flet : Aydin et al., 2012 ont étudié la croissance du flet pour 4 valeurs de température entre 13°C et 25°C. Ils ont montré que la croissance était optimale à 21°C. Fonds et al., 1992 observent des températures optimales pour la nutrition du flet entre 18°C et 24°C avec une forte baisse de l'activité pour des températures inférieures à 15°C.

L'athérine : Les étendues des paramètres associés avec la plus forte abondance de juvéniles et d'adultes sont pour la température 13°C à 23°C (Rebelo 1992).

L'épinoche : L'optimum de température se situe entre 24°C et 30°, l'espèce étant plus tolérante avec une salinité élevée (Jordan et Garside, 1972).

Le Brochet : Biberhofer (2014) dans une synthèse sur les préférences du Brochet a identifié une gamme optimale de croissance de 13°C à 21°C.

La Carpe commune : la gamme optimale de développement se situe en 20 et 28°C (Horvath et al., 1992). Malgré ce préférera pour des températures chaudes, les juvéniles de carpes peuvent maintenir une activité en hiver à des températures proches de 0.1°C (Billard, 1999). Chez les adultes, des valeurs <3°C semble fortement limiter l'activité (Bauer et Schlott, 2004).

Bouquet des marais : Des expérimentations ont permis de quantifier une tolérance maixmale à des températures de 37 et 37.7°C pour les mâles et femelles des crevettes des marais (Missionário et al. 2022).

Le Crabe vert : Le crabe vert adulte est eurytherme et survit à des températures inférieures à 0 et supérieures à 35°C (Eriksson et Edlund, 1977 ; Hidalgo et al., 2005), mais préfère des températures se situant entre 3°C et 26°C (Grosholz et Ruiz, 2002).



Ce qu'il faut retenir : Beaucoup des espèces étudiées dans cette synthèse peuvent être considérées comme des poissons d'eau chaude avec des capacités à résister à des températures supérieures à 33°-35°C. Ce sont plutôt les températures inférieures à 10°-15°C qui limiteront la croissance.

4.3.2.3. INFLUENCE DE L'OXYGENE DISSOUS

Ce paramètre est essentiel à la survie des poissons. La tolérance aux faibles concentrations varie en fonction des espèces et des stades de développement ainsi qu'en fonction de la température. La majorité des espèces étudiées dans cette synthèse présentent des valeurs limites qui varient entre 2 et 5 mg/l avec des espèces assez exigeantes comme le flet ou les alevins de grande alose (5 mg/l). L'anguille est capable d'évoluer ponctuellement dans des eaux avec des concentrations proches de 1 mg/l. De même, le mullet doré peut prélever de l'oxygène aérien pour survivre ponctuellement dans des environnements pauvres en oxygène. Chez les crustacés, le bouquet des marais est capable de tolérer des périodes d'anoxie prolongée (Nielsen et Hagerman 1998).

Les déficits en oxygène ont des incidences directes sur les espèces et notamment pour les poissons migrateurs amphihalins au cours de leur passage dans les estuaires et les zones de marais.

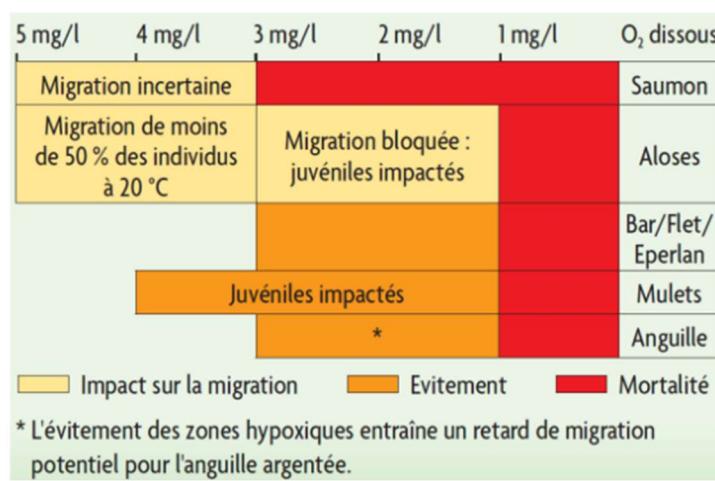


Figure 49 : Les enjeux de l'hypoxie pour les migrants - Source définition d'une méthode d'évaluation DCE basée sur l'oxygène dissous et préconisations pour une stratégie de surveillance optimale des grands estuaires : synthèse des résultats obtenus (in Froussard et Lepape, 2016).

4.3.3. LES RELATIONS AUX HABITATS

Les écosystèmes des marais littoraux sont constitués d'un ensemble de sous-habitats qui soutiennent la diversité des espèces de poissons qui utilisent ces écosystèmes. Ces différents sous-habitats peuvent être utilisés de diverses manières par différentes espèces (Jin et al., 2007 ; Able et al., 2018).



Figure 50 : Représentation schématique des fonctions ciblées et espèces retenues dans le cadre du projet PROPOSE (in Muntoni, 2020).

4.3.3.1. LES ZONE DE FRAYERES

Ce sont des habitats dont les caractéristiques sont favorables à la dépose des œufs. Selon le comportement des espèces (phytophiles, lithophiles, ponte pélagique, garde du nid...), les espèces sélectionneront des habitats plus ou moins spécifiques. **Dans le cas des espèces sélectionnées dans cette synthèse, 5 peuvent se reproduire dans les marais. Il s'agit du brochet, des 2 espèces de brème, de l'épinoche et de l'athérine.** Les exigences de la grande alose et de l'aloise feinte pour leur reproduction à savoir soit des zones profondes courantes avec des substrats de galets pour la grande alose, soit des plats courants ou des radiers à galets pour l'aloise feinte ne correspondent pas aux caractéristiques des habitats qui peuvent être rencontrés dans les marais (habitats lenticques et substrats fins).

| | Brochet | Brème commune | Brème bordelière | Carpe commune |
|-------------|---|---|--|---|
| Périodes | Février-avril | Mai-juin | Mai-juin | Mai-juillet |
| Supports | Végétaux immersés – préférence pour les végétaux semi-aquatiques ou terrestres submergés (œufs adhèrent aux supports) | Végétaux divers et supports minéraux (œufs adhèrent aux supports) | Végétaux immersés (œufs adhèrent aux supports) | Végétaux divers et supports minéraux (œufs adhèrent aux supports) |
| Profondeur | <1 m | 0.4 à 2 m | <1 m | <1 m |
| Vitesse | Nulle | Faible | Faible | Faible |
| Température | 7-11°C – éclosion œufs 120°C jour | 15-20°C – éclosion œufs 120°C jour | 15-25°C – éclosion œufs 200°C jour | 17-18°C – éclosion œufs 100°C jour |

| | Epinoche | Athérine |
|----------------------|--|-------------------|
| Périodes | Mars-juillet | Février-août |
| Supports | Construction d'un nid avec des débits végétaux | Végétaux immersés |
| Profondeur | <0.5 m | <0.5 m |
| Vitesse d'écoulement | Faible à nulle | Faible à nulle |
| Température | Non connue | Non connue |

Tableau 16 : Principales caractéristiques des zones de frayères des 6 espèces susceptibles de se reproduire dans les marais littoraux.

Les marais doux sont des milieux où l'hybridation entre les cyprinidés et notamment la carpe commune et le carassin ou les brèmes bordelières et communes peuvent être assez fréquentes. Le confinement des habitats de reproduction pourrait être l'un des facteurs explicatifs de ces hybridations associé au comportement territoriaux de certains géniteurs qui facilitent le contact entre les poissons d'espèces pourtant différentes (Nzau Matondo et al., 2009).



Ce qu'il faut retenir : Le rôle de la végétation immergée est essentiel pour la reproduction de ces espèces. Pour le brochet, une inondation des zones littorales et des prairies constitue un facteur très important pour la réussite de la reproduction. Cela signifie, pour cette espèce, une gestion qui garantisse en hiver une submersion de certaines zones latérales.

4.3.3.2. LES NOURRICERIES

Les marais remplissent une fonction essentielle de zone de nourricerie pour de nombreuses espèces de poissons (Costa et al. 1994, Rozas 1995, Kneib 1997, Dionne et al. 1999) dont la majorité des espèces faisant l'objet de cette synthèse (le bar, la sole, la daurade royale, le maigre l'athérine, l'épinoche, le mullet doré, le mullet porc, l'anguille, le flet, le brochet, les brèmes).

Une zone de nourricerie se définit comme une aire géographique au sein de laquelle les juvéniles d'une même espèce se regroupent afin d'optimiser leur croissance jusqu'à la première maturation sexuelle (Delage et Lepape, 2016). Cette zone est sélectionnée par les organismes en fonction de leurs besoins : disponibilité en nourriture, présence de refuge, conditions physico-chimiques ou encore compétition avec d'autres espèces pour les ressources. Selon Beck et al. (2001) et Whitfield et Patrick (2015), un habitat constitue une nourricerie pour les espèces si :

- les conditions physiques et chimiques du milieu sont adaptées aux besoins physiologiques, spécifiques à chaque stade de développement de l'espèce ;
- les ressources trophiques sont abondantes et adaptées, la forte productivité et la disponibilité en ressources trophiques étant un critère fondamental (Le Pape et Bonhommeau, 2015) ;
- la protection contre les prédateurs est suffisante (Ebeling et Laur, 1985) ;
- La connectivité inter-habitats permet la colonisation par les larves et les stades précoces puis l'émigration vers les habitats des adultes.

Le concept de nurserie s'applique généralement aux espèces migratrices d'origine marine, c'est à dire présentant des zones de vie clairement disjointes entre les phases juvénile et adulte (Beck et al., 2001, Sheaves et al., 2015). C'est notamment le cas du bar (*Dicentrarchus labrax*, L. 1758), de la daurade royale (*Sparus aurata*, L. 1758) ou encore la sole commune (*Solea solea*, L. 1758). Leur cycle de vie complexe, bipartite, les conduit, comme nous l'avons déjà mentionné, à utiliser différents habitats selon leur stade de développement (Doherty et al., 2004). Les larves de ces espèces gagnent les nurseries depuis les zones de pontes qui peuvent être marines pour la sole, le bar, la daurade et estuarienne pour le maigre. Une fois installés, les individus, alors considérés comme juvéniles, évoluent et grandissent dans ces zones côtières jusqu'à atteindre une taille suffisante pour effectuer à nouveau une migration vers les zones de vie adultes, qui sont plus étendues voire différentes de celles des

juvéniles. Sheaves et al. (2015) indiquent que la valeur des nurseries tient à leur connectivité avec le milieu marin ou estuaire, à la disponibilité en ressources trophiques et en abris.

Les zones estuariennes et les marais offrent des températures plus élevées que sur les côtes, ce qui confère un avantage important pour la croissance d'espèces comme le bar. En effet, les juvéniles de cette espèce ont une croissance optimale à 24°C, soit une température beaucoup plus fréquente dans les estuaires et les lagunes que sur la côte (Vinagre et al., 2012).

Les études portant sur l'état des stocks ont pu montrer le rôle primordial des lagunes notamment pour la sole (Morat, 2011). En effet, chez cette espèce, les jeunes soles se concentrent dans les baies et estuaires, en sélectionnant spécifiquement les fonds meubles vaseux et sablo-vaseux généralement inférieurs à 20 m (Millner et Whiting 1990; Dorel et al. 1991). De la même façon, pour le bar, les marais salés, traversés par des criches (i.e. petits chenaux immergés entre les herbiers), sont des zones propices au développement et à la croissance des juvéniles (Mathieson et al., 2000 ; Laffaille et al., 2001, Lefevre et al., 2003 ; Cattrijssse and Hampel, 2006 ; Parlier, 2006).

L'utilisation des marais littoraux comme nurseries va beaucoup dépendre de leur connectivité hydraulique et de leur salinité. L'étude de Marthino et al. (2007) portant sur la distribution des juvéniles de bar, de sole et de flet dans un estuaire au Portugal a montré des patrons de distributions des espèces fortement liés à la salinité, avec des juvéniles de sole utilisant les parties oligohalines de l'estuaire avec des fonds vaseux, tandis que les flets étaient plus abondants dans les zones plus amont sur des substrats plus sableux.

Les marais salés endigués peuvent être des zones efficaces de grossissement, dès lors que les bassins en eau recèlent des zones de refuge en profondeur (marais à poissons), ou qu'ils connaissent un fort renouvellement permettant de tamponner les écarts thermiques atmosphériques (bassins de réserves salicoles et conchyliques). De même la fréquentation du printemps à l'automne des étiers et bras chenalés à la faveur des marées montantes et hautes, offre des linéaire fortement attractifs. Les fourrés halophiles lorsque submergés pour les grands coefficients (>85) sont particulièrement prisés et efficaces dans la prise alimentaire pour le bar par exemple, comme montré sur les hauts schorres par Lafaille et al. (2001).

Ces nurseries sont également des zones présentant de fortes contraintes environnementales provoquées par une forte variabilité de la salinité et de la température. Par ailleurs ce sont des systèmes qui, étant soumis au cycle des marées, ne sont, par conséquent, accessibles aux poissons et aux crustacés qu'à marée haute, limitant leur exploitation (Cattrijssse and Hampel, 2006). Lorsque ces habitats ne sont pas accessibles ou disponibles, d'autres habitats doivent être utilisés comme les estuaires (Vasconcelos et al., 2007) ou tout autre habitat subtidal non soumis à l'influence des eaux douces.

4.3.3.3. ZONES DE CROISSANCE DES ADULTES

Comme l'on montré les différents cycles biologiques, les marais littoraux sont essentiellement des zones de croissances des juvéniles. Seules les espèces sédentaires (athérine, épinoche), les espèces holobiotiques et l'anguille peuvent évoluer dans ces habitats au stade adulte.

L'anguille est une espèce très ubiquiste en termes de conditions d'habitats. Toutefois, les abris, principalement minéraux pour les poissons de grande taille et végétaux pour les individus de moins de 35 cm, ont un rôle essentiel en tant que zone de refuge et de repos (Knights et al. 2001).

La structuration des habitats joue également un rôle vis-à-vis du brochet qui recherche des alternances entre des zones d'abris (essentiellement végétaux) et des zones plus ouvertes et profondes (Pauwels et al., 2017).

4.3.3.4. LE ROLE SPECIFIQUE DE LA VEGETATION

Dans les milieux littoraux et estuariens salés, la végétation aquatique joue un rôle majeur vis-à-vis des abondances de poissons et notamment des juvéniles (Beck et al., 2001 ; Whitfield, 2017). En Camargue, Hoffman (1958) a identifié 22 espèces de poissons utilisant les herbiers de *Ruppia sp.* dans des marais littoraux dont 7 espèces d'eau douce. Kanouse et al. (2006) ont rapporté des densités de poissons allant de 10 à 102 individus par mètre carré dans des étangs saumâtres dominés par *R. maritima* en Louisiane. Byrne et al. (2022) montrent que les abondances de poissons sont directement corrélées aux biomasses d'herbiers de *Ruppia sp.* dans des zones côtières de Louisiane. McDevitt-Irwin et al. (2016) ont réalisé une méta-analyse de 51 études et ont constaté que les herbiers en mer et en marais avaient tendance à soutenir de plus importantes abondances de juvéniles avec des taux de survie plus élevés par rapport aux autres habitats (vasière, récifs...). Dans leur bilan du

rôle des lagunes côtières vis-à-vis des cycles biologiques des poissons méditerranéens, Ouisse et al. (projet NURSE, 2022) indiquent que la lagune du Prévost (-sud de Montpellier, Hérault), pour laquelle les gradients de salinité sont peu marqués, a une distribution des juvéniles de poissons organisée surtout selon la structure tridimensionnelle de l'habitat (couverture en sédiment, présence de roches et de macrophytes du fond) et la distance séparant les micro-habitats du « grau » qui la relie avec la mer. Polte et al. (2005) indiquent que les herbiers abritent les plus fortes densités de crabe vert. Les habitats à faible structuration accueillent surtout des gobies, des anguilles et des mulets alors que les habitats plus hétérogènes avec des substrats rocheux et des herbiers abritaient une plus grande diversité d'espèces comme le bar, la daurade royale, le sar. Par ailleurs, certaines modalités de gestion des territoires comme le pâturage des prés salés peuvent avoir des incidences sur la productivité des habitats en réduisant certains types de végétation ce qui conduit à diminuer les ressources trophiques notamment de petits crustacés très favorables aux juvéniles de bars (Laffaille et al., 2000a). De même, des modifications de la végétation liées à l'invasion de certaines espèces vont également modifier l'abondance et l'accessibilité des proies préférentielles et impacter le régime alimentaire des juvéniles de bar (Lafaille et al., 2005).

En eau douce, les herbiers de macrophytes constituent des habitats très utilisés par les poissons et notamment les larves (Grenouillet et al., 2000). Dans de nombreuses situations, les analyses comparatives montrent que ces habitats, à condition que leur couverture n'excède pas 40-50% de la surface en eau accueillent les plus fortes densités de poissons (Killgore et al., 1993 ; Richardson et al., 1998 ; Dibble et al., 1997 ; Looby et al., 2021). Dans une analyse de la distribution des anguilles sur le bassin du Frémur, Laffaille et al. (2003) montrent une influence significative de la couverture en herbiers sur les abondances d'anguilles et notamment celles des petits individus. Nilsson et al. (2014) ont montré que 80 à 95% des juvéniles de brochets quittaient les zones côtières de la mer Baltique lors de la disparition de la végétation aquatique immergée. Les adultes de cette espèce sont également très fortement dépendant de la couverture végétale (Harvey, 2009). Un minimum de 30% de couverture végétale semble nécessaire pour le développement des populations (Casselman, 1996).

Quel que soit les marais, la gestion de la végétation, tels que le fau cardage et l'arrachage, peut également avoir des effets négatifs directs et indirects sur les poissons, engendrant des mortalités et la destruction d'habitats (Nichols, 1991).

Paillisson et al., (2011) dans un suivi de différentes modalités de gestion de la roselière en marais de Brière, montrent que ces habitats accueillent 10 espèces de poissons avec une forte occurrence du brochet même si celle-ci est inférieure à celle observées dans les prairies inondées.

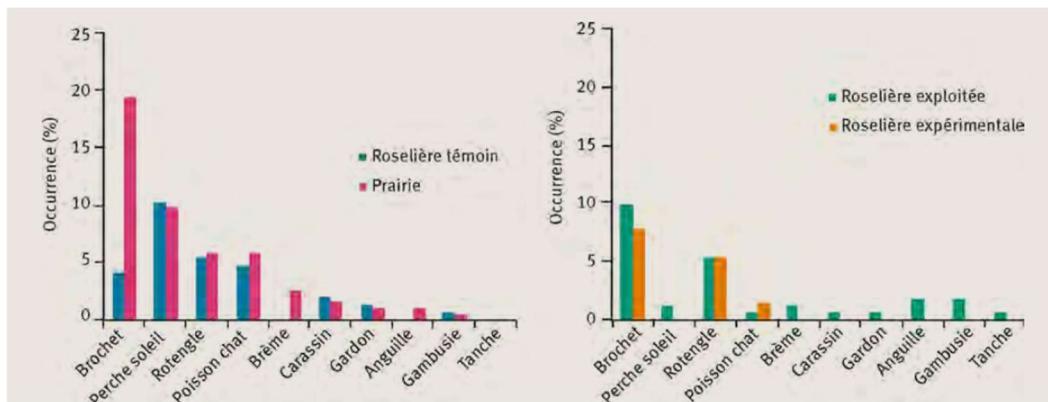


Figure 51 : Occurrence des différentes espèces de poissons échantillonées dans une prairie et trois roselières lors de la période d'inondation printanière des marais de Grande Brière en 2009 (in Paillisson et al. 2011)

Pour autant, lorsque les modes de gestion des niveaux d'eau et/ou l'augmentation du niveau de trophie favorisent le développement de ces habitats au détriment des habitats de macrophytes, les peuplements piscicoles peuvent être affectés (Pitkänen et al., 2013 ; Olson et al. 1998 ; Schrank et Lishawa 2019 ; Massa et Farrell, 2020). Niemi et al. (2023) ont mis en évidence que les habitats diversifiés avec roselières et végétation aquatique submergée accueillaient des densités plus fortes de brochets adultes que les roselières seules dans les zones côtières de la mer baltique.

Les berges des canaux et/ou des plans d'eau peuvent également être colonisées par une végétation arborée et arbustive surtout en marais doux. Ces formations buissonnantes immergées et ponctuellement des embâcles fournissent des habitats d'abris très recherchés par la faune piscicole dulçaquicole.

4.3.3.5. ROLE DES HABITATS OUVERTS

Si la végétation joue un rôle important dans les marais littoraux, les habitats ouverts constitués de zones peu profondes avec des substrats de sable et/ou de vase sont également essentiels au cycle de vie de plusieurs espèces. C'est le cas des espèces de crevettes qui s'enfouissent dans les substrats meubles. Les habitats dont les fonds sont couverts de coquilles de mollusques constituent des zones très attractives pour le crabe vert. Thiel et Dernedde (1994) ont montré que l'apport de coquilles augmentait significativement les densités de juvéniles de crabe vert.

Les juvéniles de sole, de daurade ou de flet utilisent aussi beaucoup ces substrats meubles.



Ce qu'il faut retenir : Les différentes espèces de poissons et de crustacés étudiés dans cette synthèse présentent des exigences particulières vis-à-vis des conditions des habitats dans les zones de marais littoraux :

- Habitat de reproduction : seules les espèces sédentaires (athérine, épinoche) et les espèces d'eau douce (brochet, carpe et brème) présentent des besoins en termes de zones de frayères. Les 5 espèces utilisent la végétation soit immergée, soit héliophytique, soit terrestre. Le brochet réclame des périodes de submersion des habitats latéraux.
- Habitat de nurserie : ces habitats sont indispensables aux espèces marines migratrices (bar, daurade, sole, mulot doré).
- Habitat de croissance des juvéniles et adultes : ces habitats correspondent aux exigences des espèces capables d'effectuer tout ou partie de leur cycle de croissance dans ces milieux (athérine, épinoche, anguille, brochet, brème, crevettes, crabe vert).

La diversité des habitats est essentielle pour de nombreuses espèces qui ont besoin d'utiliser différents biotopes lors de leur phase de croissance. La présence des herbiers aquatiques et rivulaires constitue un élément important dans la structuration des habitats. Ils peuvent être fortement utilisés par plusieurs espèces de poissons pour s'abriter et se nourrir (les juvéniles de bars, le brochet, les brèmes, le crabe vert). Les zones ouvertes constituées de sédiments fins et meubles sont également importantes pour les juvéniles de sole, de daurade ou de flet.

4.3.4. LES INCIDENCES DES ESPECES EXOTIQUES ENVAHISSANTES AU SEIN DES MARAIS

Les marais littoraux constituent des habitats dans lesquels la flore et la faune aquatique sont soumis depuis longtemps aux incidences des espèces exotiques. Plusieurs espèces exotiques envahissantes de poissons et de crustacés se développent dans ces milieux soit depuis de nombreuses années (poisson-chat, perche-soleil, écrevisse américaine) soit plus récemment (pseudorasbora, écrevisse de Louisiane, crabe bleu). Le carassin argenté, s'il n'est pas classé comme espèce exotique envahissante reste malgré tout une espèce introduite susceptible d'avoir des impacts sur la faune pisciaire.

Au Pays-Bas, une analyse comparative des faunes piscicoles de milieux avec ou sans pseudorasbora a montré un impact fort de la présence de cette espèce avec une réduction des abondances des espèces indigènes (Spikmans et al., 2020). En Angleterre, 4 ans après son introduction dans un lac, l'espèce représentait 97% des effectifs de poissons (Britton et al., 2017). De plus, cette espèce est porteuse d'un parasite *Sphaerotherecum destruens* susceptible de provoquer des mortalités chez les espèces piscicoles indigènes.

4.4. BESOINS MIGRATOIRES DES ESPECES

4.4.1. CONTINUITE ET CONNECTIVITE

Le fonctionnement des écosystèmes repose sur deux éléments vitaux :

La diversité des biotopes qui assure non seulement la richesse biologique mais aussi et surtout la capacité de résilience des organismes vivants face aux changements qu'ils soient d'origine climatique ou anthropique (Allan, 1995 ; Palmer et al. ; 1996 ; Palmer et Poff, 1997).

La connectivité qui correspond aux relations et aux déplacements des éléments physiques ou biologiques au cours du temps et à différentes échelles d'espace (Ward et Standford, 1989).

Il existe donc deux composantes essentielles lorsque l'on parle de continuité dans un écosystème (Baudry *et al.*, 1998) :

- Une composante structurelle qui correspond à la forme, la taille et la position relative des biotopes,
- Une composante fonctionnelle qui décrit la réponse des individus à cette diversité de structures en termes de mouvement et de dispersion.

La composante structurelle repose donc sur :

- Un réseau diversifié et plus ou moins continu de biotopes reliés par des corridors favorables aux déplacements des espèces,
- Des mécanismes physiques capables d'assurer le renouvellement de cette diversité de biotopes.

La composante fonctionnelle s'appuie sur les possibilités d'accès pour les espèces à cette diversité d'habitats c'est-à-dire sur les possibilités de déplacements de ces espèces à différentes échelles d'espace et de temps.

On perçoit alors que la notion de continuité ne peut être séparée de l'organisation spatiale des habitats, organisation qui dépend elle-même du déplacement de flux liquide et solide.

La connectivité correspond, elle, aux connexions physiques existant entre les biotopes, connexions qui peuvent être utilisées par les organismes pour se déplacer afin d'assurer leur cycle de vie dans les différents biotopes indispensables à leur développement. Dans le cas des marais, ces relations reposent sur les réseaux de cours d'eau, canaux et fossés reliant entre elles les Unités Hydrauliques Cohérentes.

Il faudra donc, lorsque l'on parle de continuité, tenir compte à la fois de la diversité des habitats, de leur organisation spatiale, de leur degré de fragmentation et de relation, de leurs mécanismes de renouvellement ainsi que des déplacements des organismes vivants.

4.4.2. CONNECTIVITE NATURELLE ET AMENAGEMENTS DES MARAIS

Les zones humides d'estrans (vasières, schorres, étiers et replats) présentent une connectivité marine naturelle pour les espèces les fréquentant. Seule leur surface disponible a connu une forte régression depuis l'ère industrielle. Les installations portuaires et urbaines, puis les infrastructures industrielles et de tourisme ont largement empiété sur l'emprise des schorres. Néanmoins les espaces résiduels en baies et estuaires conservent les propriétés d'accessibilité naturelles requises. Ce sont les autres compartiments amonts qui peuvent poser problème pour l'accès anadrome ou catadrome à ces derniers.

Auparavant, les marais endigués étaient également bâties sur les lignes de front des schorres, progressant ainsi au cours de siècles pour composer des polders de tailles croissantes (jusqu'à 1000 km² pour le marais poitevin en 12 siècles). Leur limites aval sont des ouvrages d'art et des digues. Leurs limites amonts sont des chenaux de ceinture et des ouvrages. Le cours d'eau (ou étier) les traversant est le plus souvent chenalé par des ouvrages et digues, limitant les accès latéraux aux espaces en eau des marais aménagés. Il existe ainsi au sein des marais aménagés de vastes système compartimentés.

La connectivité n'y est donc pas naturellement entretenue, seule l'action des hommes sur les ouvrages en garantit la transparence partielle ou totale, au rythme des marées et/ou périodes de crues et d'étiages. L'accès à ces habitats artificialisés mais pouvant se révéler satisfaisant a minima pour mener un cycle de vie est donc sous la tutelle entière de l'homme. Les biotopes sont peu diversifiés et les équilibres physico-chimiques et biologiques qui président aux conditions optimales sont particulièrement fragiles : les risques d'eutrophisation et de dystrophie sont importants si la gestion humaine est inappropriée.

4.4.3. COMMENT DEFINIR LES POTENTIALITES PISCICOLES ET CARCINICOLES ?

La mise en œuvre d'actions de restauration de la continuité dans les marais doit intégrer la caractérisation des potentialités d'accueil des habitats afin de définir une stratégie spatiale et temporelle.

4.4.3.1. UN EMBOITEMENT D'ECHELLE

Pour définir les potentialités d'accueil piscicole et carcinicole d'un marais littoral, il est nécessaire de considérer un emboîtement d'échelles spatiales. En effet, les marais littoraux doivent tout d'abord être replacés vis-à-vis de leur environnement proche caractérisé sur la façade atlantique par la dimension de l'estuaire ou de la baie dans lequel ils sont situés, ou par le complexe lagunaire auquel ils sont rattachés en méditerranée. A l'intérieur des marais, les communautés biologiques se différencieront d'abord en fonction de la salinité des eaux, puis selon le type de milieu aquatique (canal ou plan d'eau) et enfin selon les caractéristiques des habitats ou biotopes, le niveau de trophie et la qualité des eaux.

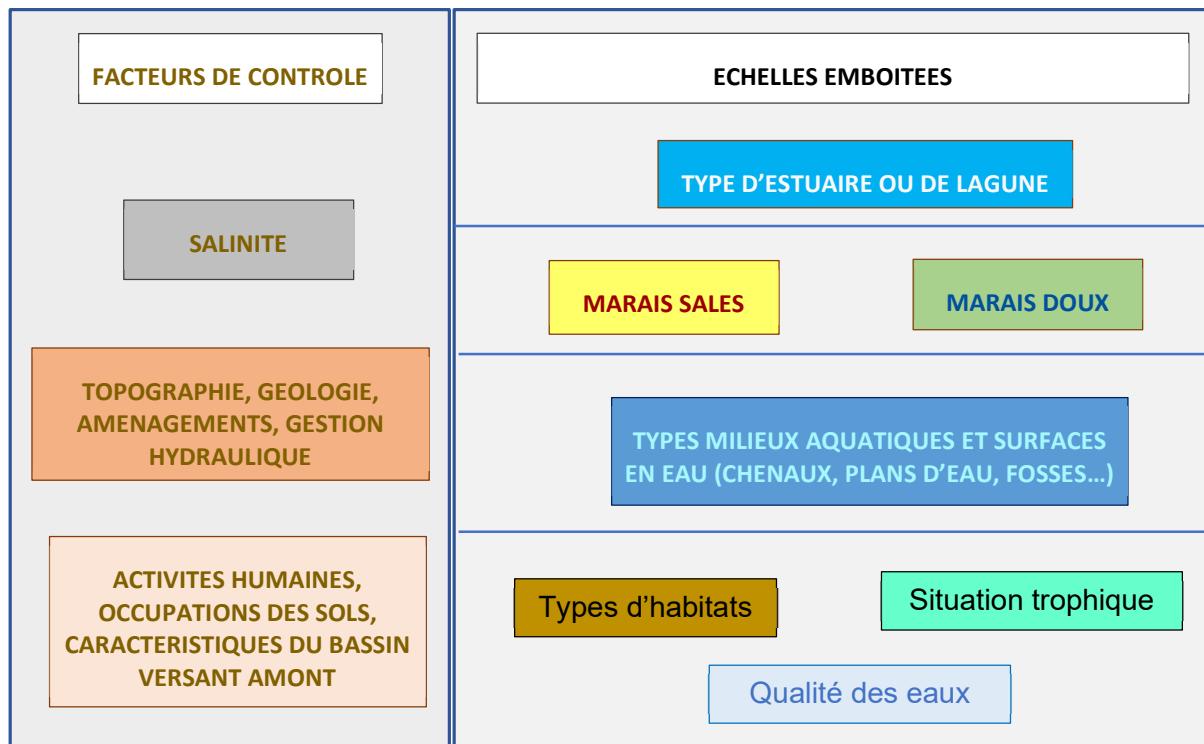


Figure 52 : Proposition d'une typologie hiérarchisée permettant de caractériser les potentialités d'accueil piscicole et carcinicole.

4.4.3.2. LA CONNECTIVITE HYDRAULIQUE

La caractérisation des potentialités d'accueil doit être complétée par celle de la connectivité hydraulique. Cette connectivité hydraulique joue un rôle déterminant à la fois dans le fonctionnement hydraulique, morphologique et physico-chimique des marais et vis-à-vis des migrations et des déplacements des espèces piscicoles et carcinicoles. Dans les marais endigués, l'intensité et la fréquence de cette connectivité est directement liée à la gestion des ouvrages hydrauliques.

4.4.3.3. LES ETUDES DE POTENTIALITES EXISTANTES

Dans le bassin Rhône-Méditerranée, un travail de caractérisation des potentialités des lagunes et de leurs marais associés a été réalisé pour les poissons migrateurs (Rivoallan et Campton, 2019 ; Rivoallan et al., 2020). Des fiches par lagunes caractérisent la situation en termes de surface en eau, d'état écologique DCE et de colonisation par les poissons migrateurs sur la lagune mais également sur les marais et tributaires amont.

Dans le bassin Charente-Seudre, un bilan des potentialités d'accueil et des possibilités de migration pour les poissons migrateurs a été réalisé (Abdallah et al. 2021). Ce bilan se base surtout sur une description des marais, de leurs usages et de leur gestion sans quantification des potentialités réelles. Le croisement avec les ouvrages permet d'établir une priorisation d'action sur la continuité écologique vis-à-vis des différentes espèces cibles et plus particulièrement l'anguille.



Ce qu'il faut retenir : La caractérisation des potentialités d'accueil des marais littoraux est un élément essentiel dans la stratégie de gestion de ces milieux. Une approche hiérarchique est nécessaire permettant d'identifier, dans un 1^{er} temps, les milieux salés des milieux doux, puis dans un 2^{ème} temps de caractériser les surfaces en eaux et leur typologie avant de s'intéresser aux habitats, au potentiel trophique et à la qualité des eaux. Les potentialités doivent être analysées en regard de la connectivité hydraulique.

4.4.4. GENERALITES SUR LES BESOINS MIGRATOIRES

4.4.4.1. LES MECANISMES DE DEPLACEMENTS DES ORGANISMES VIVANTS.

On distingue différents mécanismes de déplacement des organismes vivants (Begon et al., 1996) :

- Le mouvement qui correspond aux déplacements courants d'un ou plusieurs individus (nage active pour les besoins immédiats à courte distance),
- La migration qui correspond à un mouvement de masse dirigé avec une fréquence de retour annuel (nage active ou passive orientée à longue distance),
- La dispersion active ou passive qui correspond à des individus quittant leur population initiale.

Ces différents déplacements constituent les composantes fonctionnelles de la connectivité d'une population. Ils participent aux processus démographiques qui conditionnent avec la mortalité, la croissance et le recrutement, les éléments clés de la dynamique des populations (Andrewartha et Birch, 1954). Chaque mécanisme est relié à une échelle d'espace particulière (bassin-région pour les migrations, région pour la dispersion, locale pour les mouvements (Palmer et al. 1996).

Pour se déplacer, les organismes aquatiques peuvent utiliser :

- Leur capacité de nage,
- Le déplacement d'un hôte ou d'un support,
- La force du flux hydrique.

4.4.4.2. DETERMINISME DES DEPLACEMENTS

La distribution en mosaïque plus ou moins continue des habitats ainsi que leur renouvellement en fonction des ajustements de la morphologie à la variabilité hydrologique obligent les espèces à se déplacer afin d'accomplir leur cycle biologique. Ces déplacements qui se déroulent à différentes échelles de temps et d'espace sont indispensables à la réalisation du cycle biologique des espèces (Harden Jones, 1968).

Chez les poissons, l'amplitude des déplacements sera très variable selon les exigences en termes d'habitat et les capacités de nage (Jungwirth, 1998). Ils seront toujours conditionnés par le croisement entre une exigence biologique à un instant donné (reproduction, nutrition, repos), la disponibilité des habitats à cet instant et la présence éventuelle d'autres organismes (prédateurs, compétiteurs) (Northcote, 1978). Ils ont lieu dans trois situations différentes (Schlosser, 1991) :

- lorsque l'habitat nécessaire à une phase du cycle biologique n'est pas disponible dans l'environnement proche. C'est très souvent le cas pour la reproduction qui nécessite, pour de nombreuses espèces, des supports de ponte et des conditions hydrauliques spécifiques (végétation aquatique, bancs de graviers) que l'on ne rencontre que dans certains tronçons de cours d'eau,
- lorsque les conditions environnementales se dégradent et ne correspondent plus aux exigences de l'espèce que ce soit pour se nourrir ou s'abriter. Cette situation s'observe lors de réchauffement ou de refroidissement des eaux, d'épisodes hydrologiques particuliers (étiages, crues) ou lors de dégradations brutales de la qualité des eaux ou des habitats,
- lorsque des prédateurs ou des compétiteurs sont présents en fortes densités dans une zone donnée.

4.4.4.3. NOTION DE DOMAINE VITAL

Le domaine vital se définit comme l'aire qu'un animal fréquente et qui suffit à répondre à ses besoins primaires comme se nourrir, dormir ou se reproduire (Samuel et al., 1985 ; Börger et al., 2008). Dans le cas des poissons et des crustacés étudiés dans cette synthèse, les domaines vitaux peuvent être d'assez grande dimension notamment pour les espèces migratrices marines comme le bar, la sole ou la daurade.

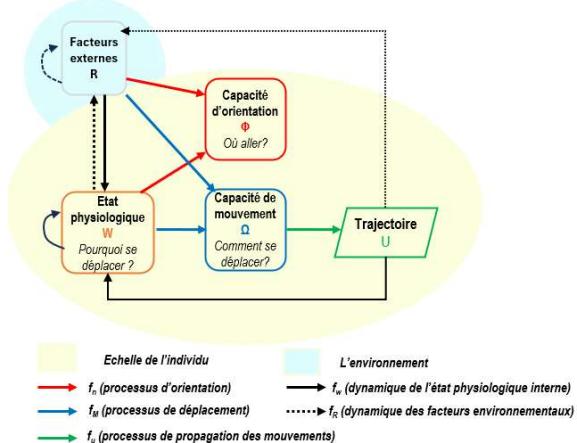


Figure 53 : Schéma illustrant le cadre conceptuel général pour l'écologie du mouvement établi par Nathan et al., 2008 (in Mignucci, 2021).

4.4.4.4. FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX ET MIGRATION

Si les migrations sont des processus soumis à des contraintes propres aux horloges biologiques de chaque espèce, les facteurs environnementaux auront également une incidence. Beaucoup d'espèces déclenchent leur processus migratoire en fonction de la température de l'eau, voire les mettent en œuvre pour échapper à des évolutions rapides de ce paramètre. Les évolutions de salinité induisent également des déplacements.

Enfin, les conditions hydrologiques constituent également un paramètre important pour l'activité migratoire. L'intensité des débits hivernaux et printaniers conditionnent fortement les montaisons des aloses, des lampreys et des anguilles. Les fortes hydraulicités semblent permettre une meilleure colonisation au niveau des systèmes estuariens.

4.4.5. LES MIGRATIONS DES ESPECES MIGRATRICES MARINES.

Ces espèces effectuent des migrations au stade adulte pour atteindre leur zone de frayère en mer, puis au stade larve pour revenir vers les côtes grâce aux courants marins et en milieux estuariens ou lagunes au stade juvénile pour venir s'installer sur leurs habitats de nurserie.

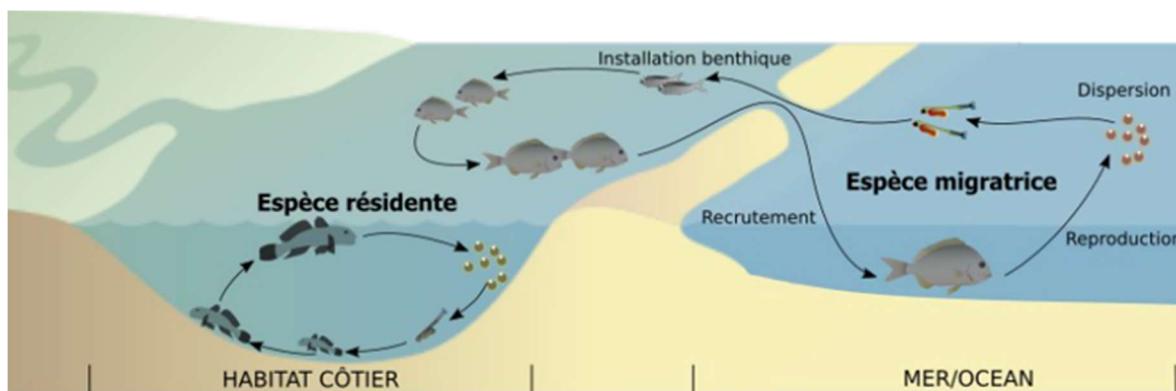


Figure 54 : Modèles d'utilisation des habitats côtiers par les espèces de poissons résidentes et migratrices. Crédit images et symboles: the Integration and Application Network, Université of Maryland Center for Environmental Science (ian.umces.edu/symbols/) (in Ouisse et al., 2022).

| | Quand ? | Pourquoi ? | Conditions nécessaires | Conséquences des perturbations sur la zone |
|--------------------------------|--|-----------------------------|--|---|
| Zone de ponte (frayère) | De la fécondation à l'éclosion | Développement embryonnaire | Conditions physico-chimiques adéquates | Baisse du recrutement |
| Zone de dispersion larvaire | De l'éclosion à la dernière métamorphose | Développement et croissance | Ressources trophiques Conditions physico-chimiques adéquates | Baisse du recrutement |
| Zone de nourricerie | De la dernière métamorphose à la première maturation | Croissance | Conditions physico-chimiques et type d'habitat adéquats Ressources trophiques | Baisse du recrutement |
| Zone de reproduction (frayère) | De la maturation à l'émission des gamètes | Reproduction | Conditions physico-chimiques adéquates Présence de congénères | Diminution de l'efficacité de la reproduction |
| Zone de croissance adulte | De l'émission des gamètes à la maturation suivante | Croissance | Conditions physico-chimiques adéquates Ressources trophiques | Diminution de la biomasse |
| Zone de migration | Trajet entre deux zones fonctionnelles | Changement de milieu | Continuité | Rupture de connectivité |

Tableau 17 : Identification des différentes catégories de zones fonctionnelles nécessaires au bon développement d'une ressource halieutique. La zone de ponte, de même que la zone de reproduction sont regroupées dans la suite du document sous l'appellation frayères (in Delage et Lepape, 2016).

Pour les marais littoraux, les migrations importantes correspondent :

- aux arrivées de juvéniles depuis la mer et/ou les estuaires,
- aux départs de juvéniles ou d'adultes vers la mer, soit pour trouver de meilleures conditions d'alimentation et de survie, soit pour la reproduction,
- à des retours d'adultes pour des phases de nutrition.

Ces différentes migrations ont lieu à des périodes différentes et peuvent dépendre à la fois des conditions du milieu (essentiellement la température, voir l'hydrologie), soit des conditions trophiques, soit de la compétition.

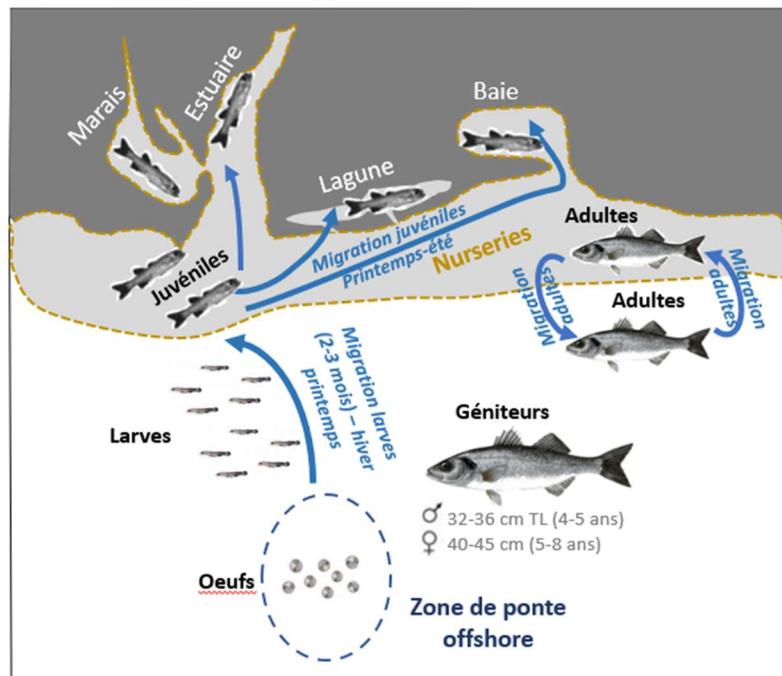


Figure 55 : Illustration des migrations du bar à différents stades de développement.

Au-delà des grandes phases de migration, au cours d'une même phase de développement, des migrations peuvent avoir lieu entre les systèmes lagunaires ou les marais et les zones marines plus profondes. C'est le cas des juvéniles de soles qui peuvent, en fonction de leur statut physiologique, de l'abondance de nourriture et des conditions hydroclimatiques, quitter les nurseries pour y revenir plusieurs mois après (Dorel et al., 1989 et 1991 ; Laffargue, 2004). En général ces migrations de sortie des nurseries ont lieu en hiver et les retours des poissons se font au printemps. Les adultes de bar peuvent effectuer les mêmes migrations.

Les pêches effectuées dans les étangs et marais salins de Camargue ont permis de caractériser des saisons de migration (Nicolas et al., 2020). Pour la sole, les captures se concentrent essentiellement en fin d'hiver et au printemps.

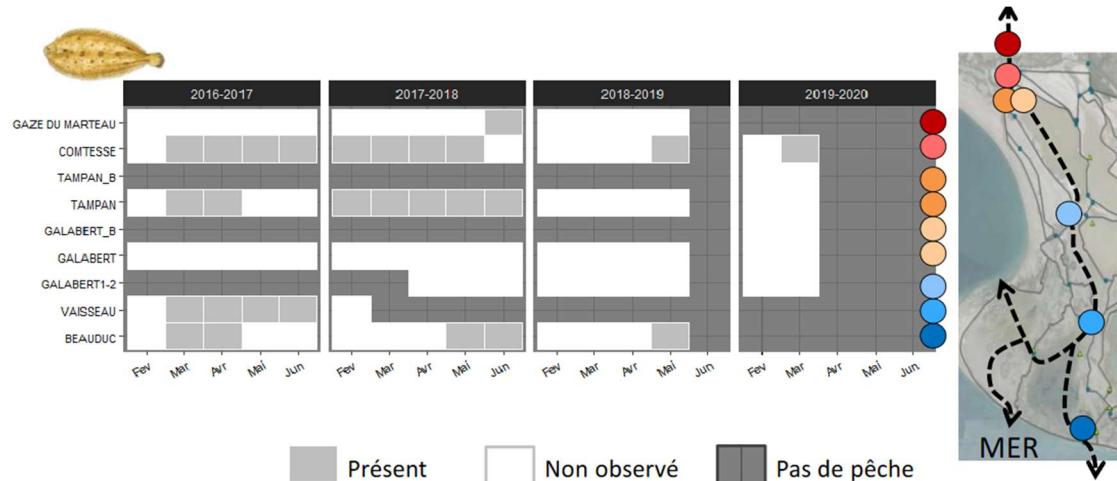


Figure 56 : Présence mensuelle de juvéniles de soleidés en considérant tous les filets posés (filets DCE et filets à Civelles) dans dans les étangs et marais salins de Camargues (in Nicolas et al., 2021)

Chez le maigre, les juvéniles quittent les zones de recrutement (estuaires) en fin d'été et migrent vers les eaux côtières (de 20-40 m) pour passer l'hiver. Au début de mi-mai, ils commencent à retourner à leurs zones d'alimentation en estuaires (Sourget et Biais, 2009).

| Espèces | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bar | | | | | | | | | | | | |
| Sole | | | | | | | | | | | | |
| Daurade | | | | | | | | | | | | |
| Maigre | | | | | | | | | | | | |
| Mulet doré | | | | | | | | | | | | |

Tableau 18 : Principales périodes de migration de montaison des juvéniles des espèces migratrices marines.

| Espèces | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bar | | | | | | | | | | | | |
| Sole | | | | | | | | | | | | |
| Daurade | | | | | | | | | | | | |
| Maigre | | | | | | | | | | | | |
| Mulet doré | | | | | | | | | | | | |

Tableau 19 : Principales périodes de migration de dévalaison des juvéniles des espèces migratrices marines.

4.4.6. LES MIGRATIONS DES ESPECES AMPHIHALINES

Les migrations des espèces amphihalines anadromes que sont les aloses et les lampreys ainsi que celles de l'anguille sont bien documentées que ce soit au niveau de la montaison ou de la dévalaison. Nous ne rappellerons ici que les calendriers migratoires des espèces. A noter que contrairement aux aloses, les lampreys s'arrêtent en estuaires et peuvent y séjourner plusieurs semaines afin de préparer les adaptations à l'eau douce (Bartels et Potter, 2004). Pour les civelles, les périodes de migration suivent un gradient sud-nord le long de la façade atlantique. Les entrées en estuaires sont plus précoces au sud (décembre-janvier) qu'au nord en Manche (mars-avril).

Chez le mullet porc, ce sont les alevins qui viennent coloniser les estuaires, les marais et les parties aval des cours d'eau en fin d'automne et début d'hiver (Katselis et al., 1994).

| Espèces | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Grande alose | | | | | | | | | | | | |
| Aloses feinte | | | | | | | | | | | | |
| Lamproie marine | | | | | | | | | | | | |
| Lamproie fluviatile | | | | | | | | | | | | |
| Anguille (civelle) | | | | | | | | | | | | |

Tableau 20 : Principales périodes de migration de montaison des espèces migratrices amphihalines.

| Espèces | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Grande alose | | | | | | | | | | | | |
| Aloses feinte | | | | | | | | | | | | |
| Lamproie marine | | | | | | | | | | | | |
| Lamproie fluviatile | | | | | | | | | | | | |
| Anguille (argentée) | | | | | | | | | | | | |
| Mulet porc (alevins) | | | | | | | | | | | | |

Tableau 21 : Principales périodes de migration de dévalaison des espèces migratrices amphihalines.

A l'échelle nationale, il existe plusieurs suivis de la migration des civelles et anguillettes à proximité ou dans les zones estuariennes. Ces suivis permettent d'observer les patrons de migration de l'espèce. Sur la Sèvre Niortaise, la migration des civelles débute en mars et s'achève à la fin du mois de juin (Der Mikaelian, 2016).

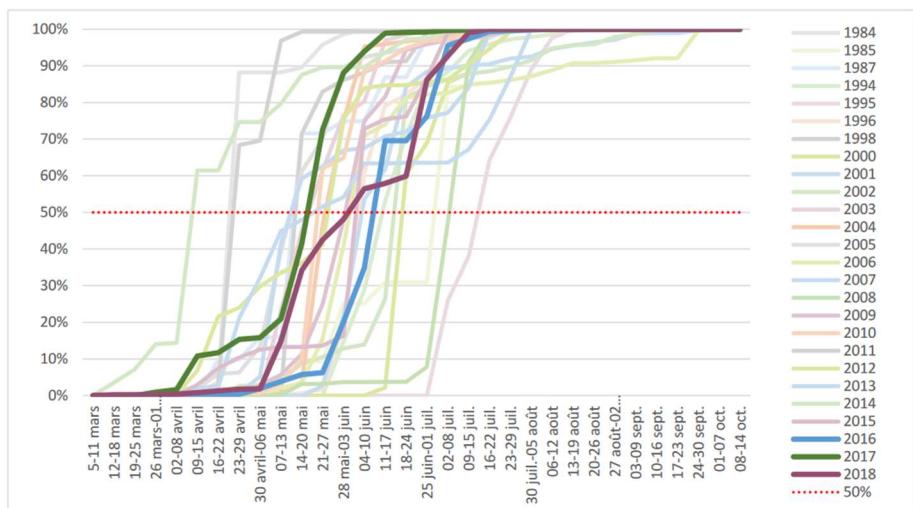


Figure 57 : Rythme migratoire de 2016 à 2018 à la passe à anguille des Enfreneaux (données Parc Naturel Régional du Marais Poitevin, Der Mikaelian, 2016)

Sur la base d'une modélisation des franchissements de passes à anguille sur 13 ans dans les étangs et marais des salins de Camargue, Bouchard et al. (2022) ont montré que les patrons de migration étaient variables avec une forte hétérogénéité spatiale. Un pic migratoire était toutefois observé sur la période février-mars. Ces résultats sont confirmés par l'analyse des rythmes migratoires des civelles et des anguillettes capturées au niveau de l'étang de Vaccarès avec des passages dès janvier et s'étalent jusqu'à mars (Lambremon et al., 2021).

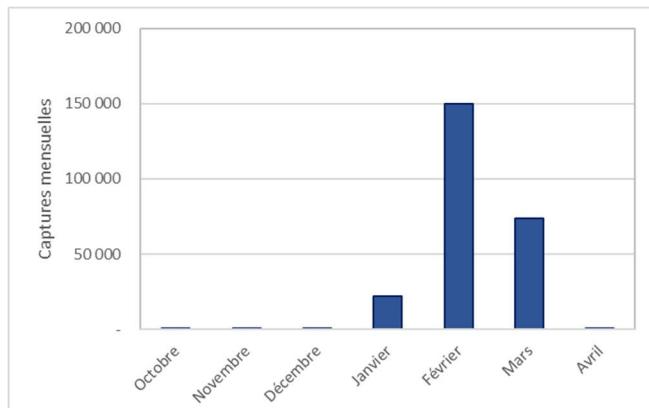


Figure 58 : Nombre de captures mensuelle d'anguilles dans la passe piège de Vaccarès (in Lambrenon et al., 2021).

Au niveau des étangs et marais des salins Camargue, les suivis réalisés par Nicolas et al. (2010) indiquent une présence de civelles sur pratiquement tous les mois d'octobre à mai.

Pour les espèces catadromes que sont le flet et le mulet porc, les migrations de montaison correspondent à l'arrivée des larves venant de la mer puis des juvéniles colonisant des parties plus amont.

| Espèces | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mulet porc | | | | | | | | | | | | |
| Flet | | | | | | | | | | | | |

Tableau 22 : Principales périodes de migration de montaison du flet et du mulet porc.

| Espèces | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Mulet porc | | | | | | | | | | | | |
| Flet | | | | | | | | | | | | |

Tableau 23 : Principales périodes de migration de dévalaison du flet et du mulet porc.

Concernant le flet, Summers (1979) (in Skeritt, 2010) a identifié quatre migrations influençant les changements de taille et de structure de la population de flet de l'estuaire de l'Ythan ; l'émigration hivernale des reproducteurs matures, l'immigration printanière (avril et mai) de poissons immatures et épuisés, l'immigration estivale d'alevins (fin juin/début juillet).

A noter que les espèces catadromes sont capables de développer différentes stratégies migratoires d'utilisation des habitats avec des degrés de sédentarité variés en estuaire (Daverat et al., 2012). Ces espèces sont susceptibles d'effectuer des allers et retours entre les eaux douces et les estuaires. Le flet colonise d'abord les eaux douces puis revient en estuaire (Selleslagh et Amara 2008). Chez l'anguille, il est possible d'observer des déplacements entre différents types de milieu dans les estuaires, les lagunes et les marais au stade anguillette et anguille jaune. Les migrations de montaison qui peuvent avoir lieu toute l'année se concentrent souvent au printemps et début de l'été. Pour la dévalaison, les périodes sont moins documentées mais il est très probable qu'elles aient lieu lors des plus fortes hydraulicités des cours d'eau amont du bassin.

4.4.7. LES MIGRATIONS ET DEPLACEMENTS DES CRUSTACES

Les 3 espèces de crevettes effectuent des migrations depuis les zones estuariennes et les lagunes vers les zones côtières. Ces migrations sont fortement liées à l'évolution de la salinité et la température de l'eau. Au printemps, les crevettes grises se dirigent vers les eaux saumâtres peu profondes et repartent vers les eaux marines plus chaudes en automne et en hiver (Marchand, 1981).

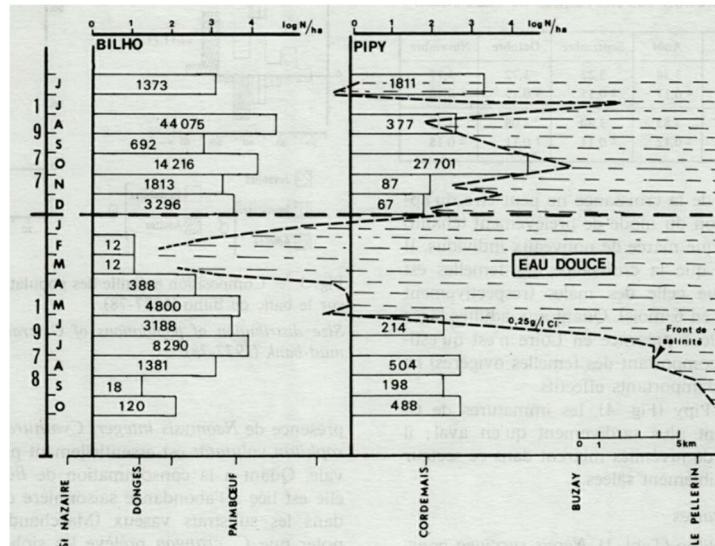


Figure 59 : Densités mensuelles de *C. crangon* sur les bancs de Bilho et de Pipy de l'estuaire de la Loire avec la situation du front de salinité (in Marchand, 1981).

Dans son étude d'un estuaire au Portugal, Cartaxana (1994) a mis en évidence des migrations de crevette blanche vers l'aval de l'estuaire et les marais salés lorsque les débits du cours d'eau augmentaient et que la salinité diminuait. Marchand (1981) a identifié les mêmes relations entre salinité et stock de crevettes blanches dans l'estuaire de la Loire.

4.4.8. LES MIGRATIONS ET DEPLACEMENTS DES ESPECES HOLOBIOTIQUES

De nombreuses études ont également montré l'importance de considérer les déplacements d'une très grande diversité d'espèces holobiotiques (Lucas and Baras, 2008; Benitez et al., 2015). Ces déplacements essentiels s'effectuent à des échelles temporelles et spatiales variables, allant des micro-habitats aux grands compartiments de l'hydrosystème (par exemple, les différents tronçons du lit mineur, les annexes hydrauliques, le lit majeur, les zones humides). Une grande variété de déplacements sont entrepris chez les individus adultes et juvéniles, durant la période de reproduction mais aussi durant le reste de l'année (Baras and Lucas, 2001). La disponibilité et l'accessibilité des habitats nécessaires aux différents stades de croissances des poissons conditionnent la réalisation complète du cycle de vie des individus.

- Le cas du brochet

Plusieurs suivis par radiotélémétrie ont permis de caractériser les migrations du brochet. Celles-ci ont lieu essentiellement lors de la reproduction. Ovidio et Philippart (2003) sur le bassin de l'Ourthe ont mis en évidence des migrations de 5 à 18 km de géniteurs de brochet. La grande majorité des poissons ont effectué des montaisons vers des annexes fluviales et des affluents. A noter qu'après la reproduction, les brochets ont dévalé sans pour autant revenir dans leur habitat initial.

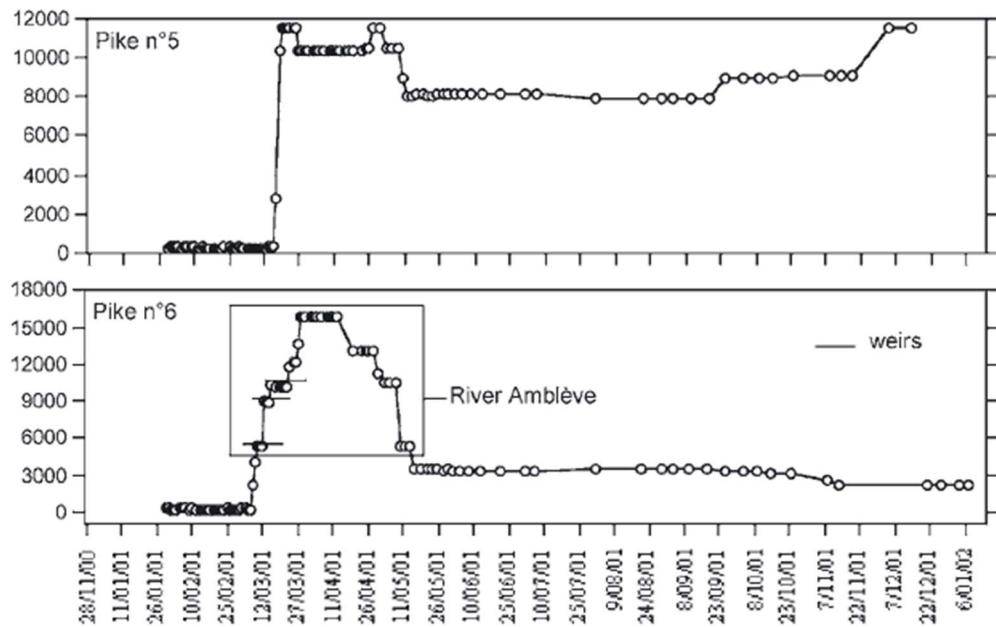


Figure 60 : Exemple de déplacements du brochet au moment de la reproduction dans le bassin de l'Ourthe en Belgique (in Ovidio et Philippart, 2003).

Dans un suivi effectué sur 42 brochets par radiotélémétrie sur la Seine dans le département de l'Aube, Pradeilles et Cousin (2021) ont montré que la distance maximale de déplacement variait de 0 à 70 km avec une moyenne de 12 km. Dans un suivi identique sur la rivière Aisne, Cormont et al. (2020) ont montré que 65% des 44 brochets marqués avaient fréquenté les annexes hydrauliques du cours d'eau.

A l'opposé de ces populations fonctionnant avec des migrations sur des distances importantes, il existe des situations où les populations de brochet peuvent se développer sur des territoires de petites dimensions comme des étangs de moins de 1 ha. Dans une étude sur 2 lacs en Angleterre, Wright (1990) montre que les densités de brochets sont 10 fois plus élevées dans un lac de 2 ha couvert de végétation que dans un plan d'eau de 17 ha avec très peu de végétation. La présence de zones de frayères est un élément essentiel pour le développement de la population quelque soit la dimension du milieu aquatique.

• Le cas de la brème

La brème peut effectuer de nombreux déplacements en cours d'eau. Ces déplacements semblent liés à des groupes d'individus (Winter et Britton, 2021). Majoritairement, il semble que la brème commune effectue :

- des déplacements au printemps en période de reproduction qui sont orientés vers l'amont des cours d'eau,
- des déplacements en automne plus vers l'aval pour gagner des zones plus profondes.

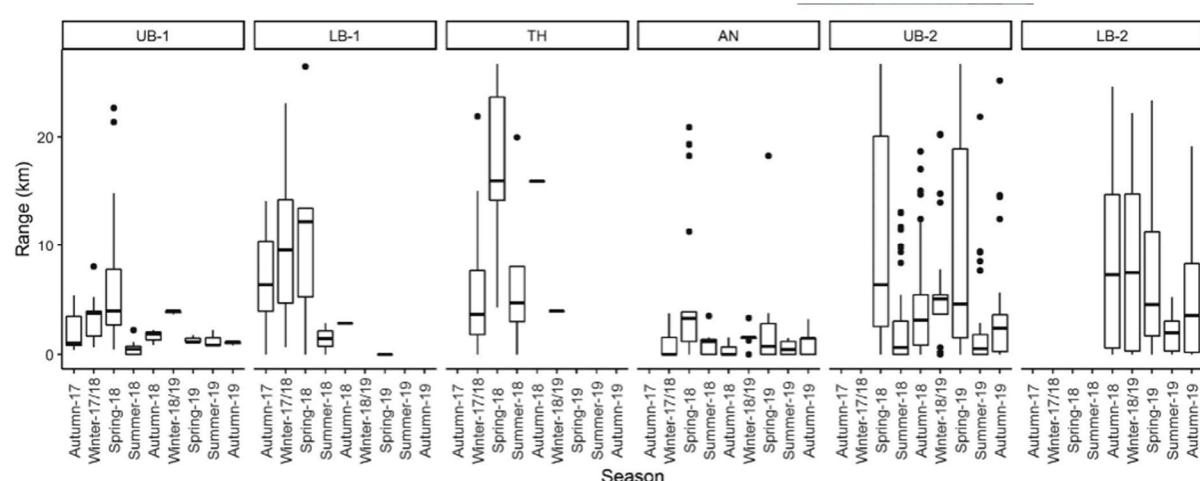


Figure 61 : Amplitudes des déplacements de différentes populations de brèmes selon les saisons sur la rivière Bure en Angleterre (In Winter et Britton, 2021)

Les déplacements pour la reproduction ne semblent pas directement liés à des problématiques de déficits de zones de reproduction puisque ces habitats semblent disponibles sur de longs linéaires de rivière.

| Espèces | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Brochet | | | | | | | | | | | | |
| Brème | | | | | | | | | | | | |

Tableau 24 : Principales périodes de déplacements du brochet et de la brème adultes.

| Espèces | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Brochet | | | | | | | | | | | | |

Tableau 25 : Principales périodes de déplacements des alevins de brochet.

Comme pour le brochet, les deux espèces de brèmes sont capables d'évoluer dans des environnements aquatiques confinés (surface <1ha) et d'y adapter leur cycle biologique.



Ce qu'il faut retenir : Toutes les espèces étudiées dans cette synthèse migrent ou se déplacent dans les milieux aquatiques et notamment dans et en-dehors des marais. De manière générale, beaucoup des espèces étudiées (anguille, sole, bar, maigre) migrent vers les marais en hiver et au printemps.

Les espèces marines migratrices viennent coloniser ces habitats aux stades larves ou alevins en général au printemps et en été sauf pour le mullet doré qui colonise ces habitats plutôt en automne et en hiver.

L'anguille peut coloniser les marais littoraux aux stades civelle, anguillette ou anguille jaune. Les périodes de montaison s'étalent donc de l'automne jusqu'au printemps. Les juvéniles de flet, eux entrent dans les marais au printemps.

Pour les espèces anadromes, les marais ne constitueront qu'une zone de transit dans le cas où il existe en amont des habitats favorables à leur reproduction. Leur migration de montaison aura lieu au printemps.

Pour les holobiotiques comme le brochet, l'accès au marais est important pendant la période hivernale.

Il est très important de tenir compte également des migrations de dévalaison qui concernent toutes les espèces migratrices marines, amphihalines ainsi que le brochet.

4.5. LES CAPACITES DE FRANCHISSEMENT DES ESPECES

La capacité de mouvement d'un poisson est liée à ses capacités de nage et ponctuellement à ses capacités de saut. Ses capacités dépendent :

- de la morphologie de l'espèce,
- de sa taille,
- de son état physiologique,
- de la température de l'eau.

4.5.1. LES COMPORTEMENTS DE NAGE

Selon la morphologie de leur corps, les poissons ne présentent pas les mêmes comportements de nage. Globalement, le comportement de nage se différenciera en 3 grandes catégories, les poissons nageant quasiment en permanence (les thons), ceux capables d'alterner des phases de nage active avec de fortes accélérations et des phases d'arrêt et ceux présentant un comportement de nage très intermittent avec de longues phases d'arrêt (exemple du chabot en eau douce). Il existe des espèces capables d'alterner les 3 types de comportements. On les qualifie de généralistes.

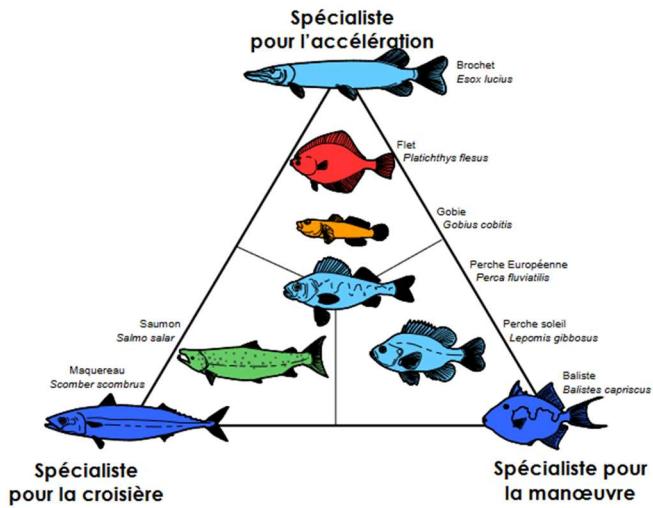


Figure 62 : Diagramme triangulaire montrant le lien entre la morphologie du corps et le mode de locomotion. Aux sommets du triangle sont représentés des exemples de poissons les plus spécialistes et vers le centre les poissons plus généralistes. Schéma adapté aux espèces présentes dans les estuaires européens à partir de Wootton (1998) (in Nicolas, 2010).

La majorité des espèces étudiées dans cette synthèse présente soit un comportement de spécialiste de l'accélération (brochet, flet, sole, anguille, lamproies) soit un comportement généraliste (bar, daurade, brème, maigre). L'épinoche peut être classée dans les espèces ayant un comportement de nage très intermittent avec une grande capacité de nage statique.

4.5.2. LES CAPACITES DE NAGE ET DE SAUT

Concernant les espèces d'eau douce et les migrants amphihalins, les informations concernant les capacités de nage sont détaillées dans le guide sur l'Information sur la Continuité Ecologie (ICE) (Baudouin et al. 2014).

La capacité de nage des poissons peut s'exprimer en termes de vitesse de nage et d'endurance, temps pendant lequel le poisson peut soutenir cette vitesse de nage. On distingue 2 niveaux de vitesse de nage :

La nage de croisière, susceptible d'être maintenue pendant des heures sans engendrer de modifications physiologiques profondes de l'organisme du poisson ;

La nage de sprint ou de pointe, résulte d'un effort intense et ne peut être maintenue qu'un temps très limité, de quelques secondes à quelques dizaines de secondes suivant l'espèce et la taille de l'individu.

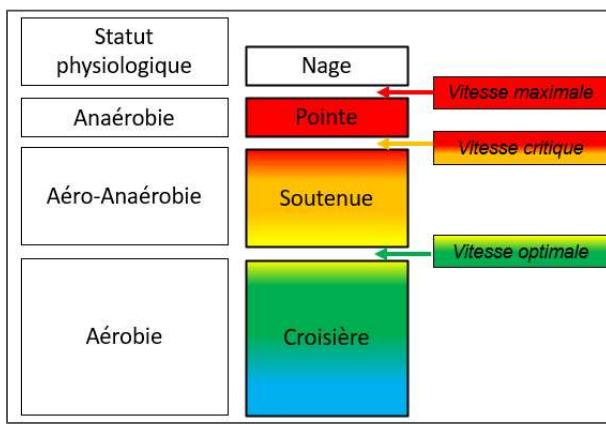


Figure 63 : Présentation des différents types de nage des poissons et des vitesses associées.

Le franchissement des obstacles par les poissons se fera majoritairement en utilisant les capacités de nage de pointe.

La nage de pointe est associée pour chaque espèce et selon la taille à des valeurs de vitesses dites maximale, critique et optimale. Videler (1993) propose une équation basée sur la compilation de résultats expérimentaux

pour des poissons de tailles inférieures à 50 cm, donnant la vitesse maximale de nage en fonction de la longueur : $V_{max} = 0,4 + 7,4 L$

Les vitesses maximales de nage sont de 4 m/s à 5 m/s pour la grande alose, dans des conditions thermiques favorables et de 1 m/s pour un juvénile de bar de 10 cm. Ces vitesses maximales de nage peuvent varier considérablement (dans un rapport de 1 à 2) suivant la température de l'eau (Beach, 1984, Larinier, 1992). Une anguille de 15-20 cm nagera au maximum à 70-80 cm/s (vitesse critique) tandis qu'une civelle ne dépassera pas 20-25 cm/s.

Au niveau des capacités de saut, celles-ci sont surtout réservées aux Salmonidés. Elles sont rares chez les anguilles, l'aloise et le brochet.

| Nom commun | Vitesse de sprint | Vitesse critique |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|
| Anguille jaune (>35 cm) | 1.2-1.8 m/s | 0.7-0.9 m/s |
| Anguillettes (20-35 cm) | 0.8-1.2 m/s | 0.4-0.6 m/s |
| Anguillettes (10-20 cm) | 0.7-0.8 m/s | 0.3-0.5 m/s |
| Anguille Civelle pigmentée | 30-50 cm/s | 15-20 cm/s |
| Anguille Civelle transparente | 15-25 cm/s | 8-10 cm/s |
| Grande Alose | 3.5-5 m/s | 1.2-1.8 m/s |
| Alose feinte atlantique | 3-4.5 m/s | 1.0-1.5 m/s |
| Alose feinte méditerranéenne | | |
| Lamproie marine | 3-4.5 m/s | 1.0-1.5 m/s |
| Lamproie fluviatile | 2-2.5 m/s | 0.7-1 m/s |
| Flet (5-15 cm) | 0.6-0.8 m/s | 0.2-0.4 m/s |
| Mulet porc - juvéniles (5-15 cm) | 0.8-1 m/s | 0.2-0.4 m/s |
| Mulet doré (5-15 cm) | 0.8-1 m/s | 0.2-0.4 m/s |
| Brochet | 3-5 m/s | 1.0-1.8 m/s |
| Brème commune et brème bordelière | 2-3.5 m/s | 0.8-1.2 m/s |
| Epinoche | 1-1.5 m/s | 0.3-0.4 m/s |
| Athérine | 1-2 m/s | 0.4-0.6 m/s |
| Bar - juvéniles (6-15 cm) | 1.5-2.2 m/s | 0.5-1.0 m/s |
| Sole - juvéniles (6-15 cm) | 0.5-1.5 m/s | 0.3-0.4 m/s |
| Daurade royale - juvéniles (6-15 cm) | 0.3-1 m/s | 0.2-0.4 m/s |
| Maire - juvéniles (6-15 cm) | 1.2-1.7 m/s | 0.3-0.5 m/s |

Tableau 26 : Vitesse maximale et vitesse critique de nage des différentes espèces de poissons.

Certaines espèces présentent des capacités de saut qu'elles sont capables d'utiliser pour franchir un obstacle. C'est le cas des mulets. Ces capacités dépendront de la taille de l'individu et de la profondeur de la fosse d'appel. Les juvéniles de ces espèces présenteront des hauteurs de saut variant de 10 à 25 cm maximum.

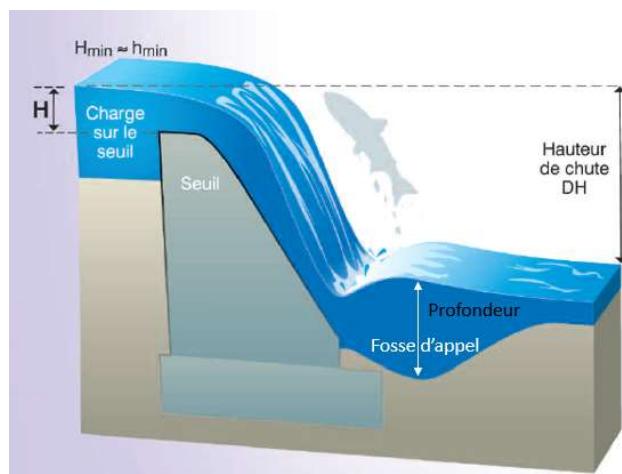


Figure 64 : Description des caractéristiques hydrauliques d'un obstacle nécessaires au franchissement par saut d'une espèce (In Baudouin et al., 2014)

Concernant les crustacés, les crevettes peuvent franchir des ouvrages en utilisant leur capacité nage mais également leur capacité de marche. Leur vitesse critique de nage varie de 30 à 50 cm/s et leur vitesse maximale de 70 cm/s à 1 m/s. Les crevettes disposent de capacité d'accélération ($>1.2\text{--}1.3\text{ m/s}$) en utilisant un mécanisme de contraction-extension des segments de l'abdomen.

4.5.3. LES CAPACITES DE REPTATION

Certaines espèces possèdent des propriétés qui peuvent faciliter leur franchissement. C'est le cas de la reptation des civelles et des petites anguilles qui leur permet d'utiliser des appuis sur des supports pour franchir des parois inclinées voire verticales pour les civelles. Ces capacités sont fortement liées à la température de l'eau. Des expériences en laboratoire ont montré que les civelles ne commençaient réellement à franchir des obstacles par reptation qu'à partir de 14.5°C avec une activité vraiment marquée à partir de 17°C (Linton et al., 2007).

Les lampreys peuvent quant à elle utiliser leur ventouse pour se fixer sur un support et se reposer.

Les crustacés (crevettes et crabe vert) peuvent également franchir des ouvrages en utilisant leur capacité de marche.



Ce qu'il faut retenir : La majorité des espèces étudiées dans cette synthèse présentent des capacités de franchissement d'obstacle basées sur la nage. Seule l'anguille possède au stade civelle et anguillette des capacités de reptation. Les crustacés sont capables de marcher sur des parois et les mulets peuvent effectuer des sauts.

Les espèces marines migratrices colonisant les marais aux stades larvaires et juvéniles, leur capacité de nage restent limitées ($< 1/\text{ms}$ pour la daurade, jusqu'à 2 m/s pour le bar). De même pour les civelles, les vitesses de nage restent limitées ($<50\text{ cm/s}$ en vitesse maximale).

Les conditions hydrauliques au droit des ouvrages de régulation et de gestion des eaux auront donc rapidement des impacts sur le franchissement par les poissons et les crustacés étudiés dans cette synthèse.

4.6. EVOLUTION DES AIRES DE REPARTITION DES ESPECES

Les changements climatiques en cours qui affectent à la fois les régimes thermiques en mer et dans les fleuves ainsi que l'évolution possible des courants marins conduisent à des évolutions des aires de répartition des espèces et notamment des espèces concernées par cette synthèse.

Une large variété de réponses des communautés face à ces perturbations climatiques est possible mais les réponses les plus observées et les plus probables sont une évolution des aires de répartitions de espèces tempérées vers les pôles (Perry et al., 2005; Cheung et al., 2009; Pinsky et al., 2013). Rijnsdorp et al. (2009) dans leur synthèse mettent en évidence les changements en abondance et en distribution de plusieurs espèces de poissons en limite de répartition, en lien avec le changement global en Atlantique nord-est et notamment des changements pour la sole en termes de croissance de alevins et de baisse du recrutement en mer du Nord.

Les évolutions des aires de répartition sont déjà observées notamment pour le bar et la sole avec des extensions vers les zones nord de l'Europe (Brander et al., 2003). La daurade royale voit également sa distribution évoluer avec une forte progression le long de la côte atlantique et en Bretagne (Avignon, 2019).

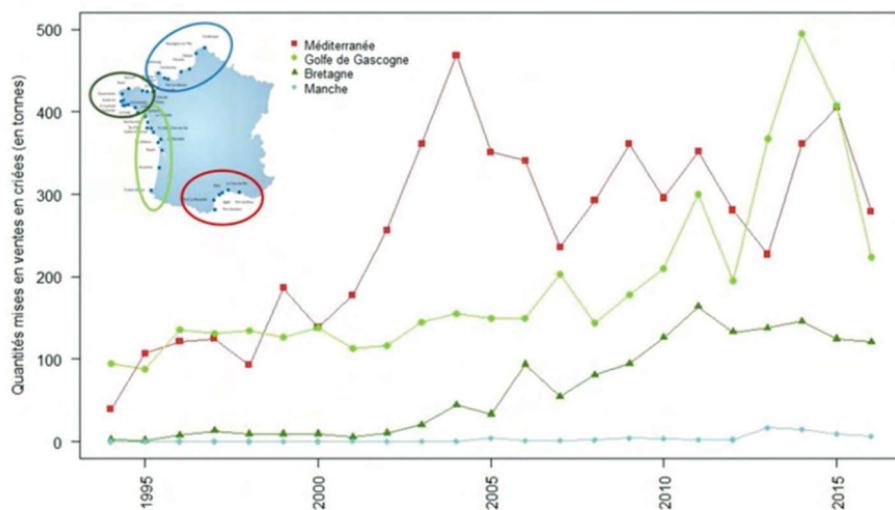


Figure 65 : Evolution des quantités de daurade royale mises en ventes dans les principales criées en France de 1994 à 2016
(source : France Agrimer in Avignon, 2019).

Des évolutions de répartition des migrateurs amphihalins sont également en cours et vont très probablement se poursuivre (Rougier, 2014, Hoffmann-Legrand, 2021).

Si le réchauffement des eaux en mer peut avoir des effets positifs sur la croissance de certaines espèces, dans les zones estuariennes et dans les marais, ce réchauffement peut impacter fortement les potentialités des nurseries. Vinagre et al. (2012) ont montré que les températures optimales de croissance des juvéniles de bar était de 24°C et qu'à des températures de 28°C, la croissance diminuait. Si cette situation procurait, jusqu'à maintenant un avantage pour les estuaires par rapport aux zones côtières, la situation pourrait largement évoluer avec des températures estuariennes et surtout en marais qui commencent à dépasser les 26-28°C.

Le réchauffement des eaux continentales interroge également sur la survie des juvéniles d'aloises et de lamproie.

Le changement climatique, en affectant également l'hydrologie des systèmes fluviaux (réduction des débits printaniers et des étiages notamment).

5. SYNTHESE PARTIE 1

Le travail de synthèse des connaissances a porté sur une liste de 17 espèces piscicoles et de 4 espèces de crustacés prédéfinie par un groupe d'expert(e)s et jugées caractéristiques des marais littoraux. Cette dénomination correspond à des milieux humides de type particulier caractérisé par une gestion effective des niveaux d'eau et un entretien régulier des digues et des chenaux, conditions indispensables pour que ces milieux humides d'origine anthropique conservent leur caractère humide et leurs qualités fonctionnelles. Au sein de ces milieux, le critère de salinité permet de différencier les marais salés des marais doux. Un bilan d'inventaires des peuplements piscicoles réalisés dans ces habitats a permis de montrer des patrons de distribution des espèces fortement influencé par la salinité et le degré d'ouverture à la mer. Les marais côtiers ouverts accueillent une richesse spécifique et une diversité des peuplements plus forte que les marais salés endigués qui eux-mêmes sont plus riches que les marais doux qui présentent des peuplements très souvent dominés par 4 à 6 espèces thermophiles.

5.1. UNE APPARTENANCE DES ESPECES ETUDIEES A DES GROUPES FONCTIONNELS QUI DEFINISSENT DES EXIGENCES ECOLOGIQUES

Les 17 espèces de poissons et les 4 espèces de crustacés étudiés dans cette synthèse peuvent être classées dans 7 groupes fonctionnels relatifs à leur cycle de vie :

| | |
|--|---|
| Migrateurs amphihalins catadrome (CA) | Anguille*, <i>Mulet porc</i> **, Flet |
| Migrateurs amphihalins anadrome (AN) | Lamproie marine et fluviatile, Alose feinte et Grande Alose |
| Marines migratrices (MM) | Daurade, Sole, Maigre, Bar, mulet doré |
| Marines occasionnelles (MO) | Crevette blanche |
| Lagunaires sédentaires (LG) | Athérine, <i>Epinoche</i> *** Bouquet des canaux |
| Lagunaires migratrices (LG-M) | Crevette grise, Crabe vert |
| Holobiotiques continentales – Espèces d'eau douce (ED) | Brème, Brochet, Carpe, <i>Epinoche</i> *** |

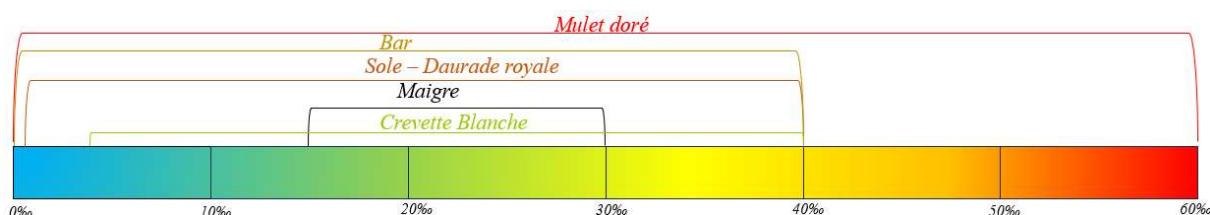
* L'anguille peut passer une grande partie de sa phase de croissance en eau marine et saumâtre. **Le mullet porc est aussi considéré comme une espèce migratrice marine. *** L'épinoche est une espèce très plastique pouvant effectuer tout son cycle de vie en lagune ou estuaire.

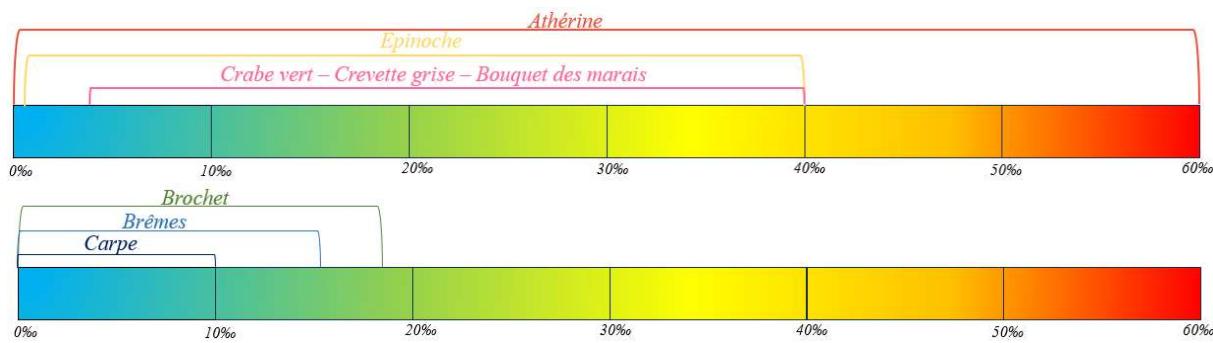
L'appartenance à ces différents groupes définit des comportements de migration et de déplacement bien particuliers ainsi que des exigences vis-à-vis de la qualité de l'eau et des habitats.

5.2. LES TOLERANCES AUX CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUES

- o Salinité de l'eau

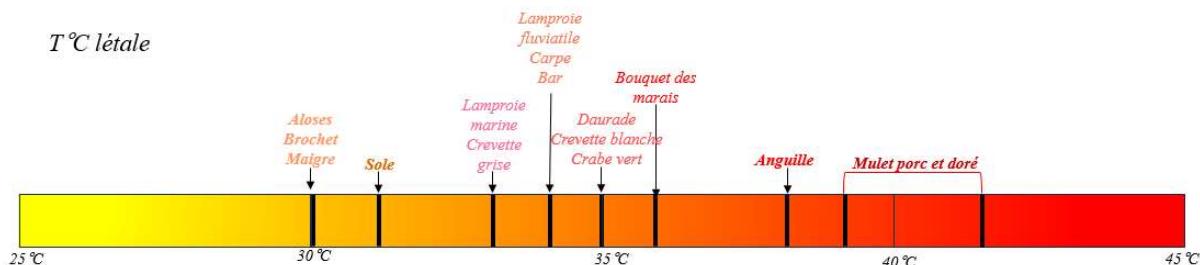
La salinité conditionne en grande partie la distribution des poissons dans les zones estuariennes, lagunaires et les marais même si beaucoup d'espèces notamment les migratrices marine sont considérées comme euryhalines.



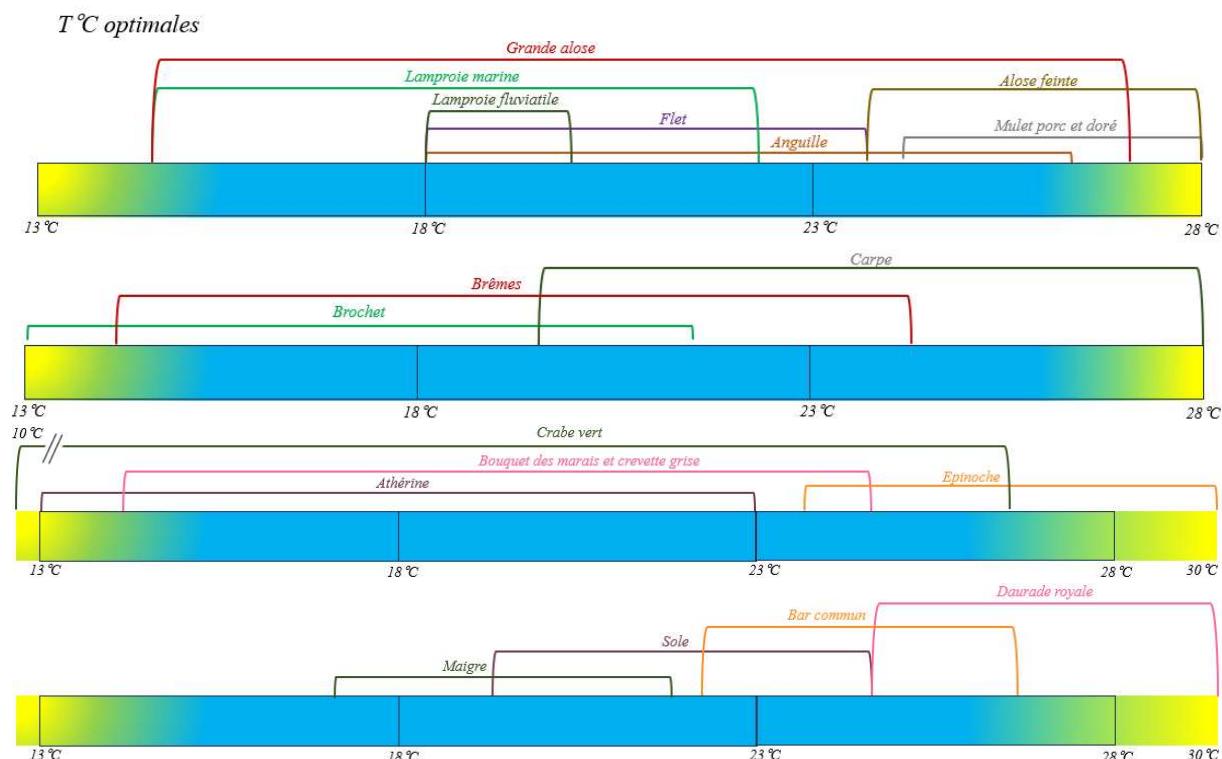


o Température de l'eau

Concernant la température de l'eau, beaucoup des espèces étudiées dans cette synthèse peuvent être considérées comme des poissons d'eau chaude avec des capacités à résister à des températures supérieures à 33°-35°C. Ce sont plutôt les températures inférieures à 10°-15°C qui limiteront la croissance.



En termes de températures optimales, les gammes s'étalent de 13°C à 30°C avec une beaucoup d'espèces dont les gammes optimales se situent entre 15 et 25°C.



o Oxygène dissous

La majorité des espèces étudiées dans cette synthèse présentent des valeurs limites qui varient entre 2 et 5 mg/l avec des espèces assez exigeantes comme le flet ou les alevins de grande alose (5 mg/l) d'autres comme

l'anguille, le mullet doré ou le bouquet des marais capables d'évoluer ponctuellement dans des eaux anoxiques ou avec des concentrations proches de 1 mg/l.

5.3. LES BESOINS EN TERMES D'HABITAT

o Les fonctions écologiques associées aux habitats des marais littoraux

Les marais littoraux remplissent plusieurs fonctions vis-à-vis des cycles biologiques des différentes espèces. Ils constituent :

- Des habitats de reproduction : seules les espèces sédentaires (athérine, épinoche) et les espèces d'eau douce (brochet, brème et carpe) sont susceptibles de se reproduire dans les marais. Les 5 espèces utilisent la végétation soit immergée, soit hélophytique, soit terrestre. Le brochet réclame des périodes de submersion des habitats latéraux,
- Des habitats de nurserie : ces habitats sont indispensables aux espèces marines migratrices (bar, daurade, sole, mullet doré),
- Des habitats de croissance des juvéniles et adultes : ces habitats correspondent aux exigences des espèces capables d'effectuer tout ou partie de leur cycle de croissance dans ces milieux (athérine, épinoche, anguille, brochet, brème, crevettes, crabe vert),
- Des zones de passage (chenaux et cours d'eau) pour les migrants amphihalins anadromes (aloises et lamproies).

Ces différentes fonctions écologiques dépendront fortement des caractéristiques des marais (salinité, morphologie, type de gestion) et de leur connectivité hydraulique.

| Espèces | Type de marais fréquentés préférentiellement | Espèces | Type de marais fréquentés préférentiellement |
|------------------------------|--|--------------------|--|
| Anguille | Marais salés et doux | Athérine | Marais salés |
| Mulet porc | Marais salés et doux | Epinoche | Marais salés et doux |
| Flet | Marais salés | Crevette grise | Marais salés |
| Alose feinte et Grande Alose | | Crabe vert | Marais salés |
| Lamproie marine et fluviale | | Bouquet des canaux | Marais salés |
| Mulet doré | Marais salés | Brochet | Marais doux |
| Daurade royale | Marais salés | Brème | Marais doux |
| Sole | Marais salés | Carpe | Marais doux |
| Bar | Marais salés | | |
| Maire | Marais salés et doux | | |
| Crevette blanche | Marais salés et doux | | |

Bilan des types de marais préférentiellement colonisés par les espèces.

| | Larves | Alevins | Juvéniles | Adultes | Reproduction |
|------------------------------|---|---|---|--|--------------|
| Anguille | | | Zones de croissance habitats végétalisés et minéraux Zones de passage vers des marais et des cours d'eau amont | | |
| Mulet porc | | | Zones de croissance habitats végétalisés et/ou sableux Zones de passage vers des marais | Zone de déplacements estuaire/marais/cours d'eau | |
| Flet | | Zones de croissance habitats à sédiments fins sableux Zones de passages – accès aux marais | | Zones de passages en dévalaison vers les estuaires | |
| Alose feinte et Grande Alose | | | Zones de passages vers des cours d'eau amont et les estuaires | | |
| Lamproie marine et fluviale | | | Zones de passages vers des cours d'eau amont et les estuaires | | |
| Mulet doré | | Zones de croissance habitats végétalisés et/ou sableux Zones de passage vers des marais | | | |
| Daurade royale | | | Zones de croissance | | |
| Sole | | Zones de passages – accès aux marais et retour vers les estuaires Zones de croissance habitats à sédiments fins sableux | | | |
| Bar | | Zones de croissance habitats végétalisés et/ou rocheux Zones de passages – accès aux marais et retour vers les estuaires | | | |
| Maigre | Zones de passages – accès aux marais et retour vers les estuaires | | Zones de croissance | | |
| Crevette blanche | | Zones de croissance habitats à sédiments fins sableux | | | |
| Athérine | | Zones de croissance habitats à sédiments fins sableux et végétalisés | | Dépôts œufs substrat sableux | |
| Epinoche | | Zones de croissance habitats végétalisés | | Construction d'un nid avec végétaux | |
| Crevette grise | | | Zones de croissance habitats à sédiments fins sableux | | |
| Crabe vert | | Zones de croissance habitats végétalisés et minéraux | | | |
| Bouquet des canaux | | Zones de croissance habitats à sédiments fins sableux | | | |
| Brochet | | Zones de croissance habitats végétalisés | Zones de croissance habitats végétalisés et embâcles | Plaines inondables et supports végétaux immersés | |
| Brème | | Zones de croissance habitats végétalisés | | Supports végétaux immersés | |
| Carpe | | Zones de croissance habitats végétalisés | | Supports végétaux immersés | |

Bilan des fonctions biologiques des zones de marais pour les différentes phases des cycles biologiques des espèces étudiées dans la synthèse.

| | |
|---|---|
| Migrateurs amphihalins catadrome (CA) Anguille, <i>Mulet porc</i> , Flet | Enjeux forts liés aux rôles d'habitat de croissance des juvéniles de flet et des différents stades d'anguilles |
| Migrateurs amphihalins anadrome (AN) Lamproies et aloes | Enjeux faibles sauf si cours d'eau connectés en amont du marais |
| Marines migratrices (MM) Daurade, sole, bar, Maigre Mulet doré | Enjeux forts avec le rôle de nurserie des marais |
| Marines occasionnelles (MO) Crevette blanche | Enjeux très forts avec un cycle biologique quasi exclusivement en eau saumâtre voir douce |
| Lagunaires sédentaires (LG) Athérine, épinoche, bouquet des canaux | Enjeux très forts pour athérine et bouquet des canaux (totalité du cycle biologique dans ces milieux), moyens pour épinoche |
| Lagunaires migratrices (LG-M) Crevette grise, crabe vert | Enjeux très forts liés au rôle de nurserie et habitats de croissance des juvéniles |
| Holobiotiques continentales – Espèces d'eau douce (ED) | Enjeux forts pour la reproduction du brochet, moyens pour les 2 autres espèces |

Bilan des enjeux associés à la fréquentation des marais pour les différentes espèces.

o L'importance des caractéristiques et de la diversité des habitats

Au sein des marais littoraux, les potentialités d'accueil pour les poissons et les crustacés utilisant ces milieux comme habitats de reproduction, de nurserie et de croissance vont être fortement dépendantes du type de milieux (chenaux, fossés, plans d'eau, mares, zones inondables), de leurs caractéristiques morphologiques (profondeurs, topographie des berges) et de la présence de la végétation quelle soit immergée (macrophytes) ou en berge (héliophytes et/ou ripisylve). Cette végétation va remplir des fonctions d'abris, de nurseries et de supports de ponte pour les holobiotiques (brochet, brème, carpe). Les zones ouvertes constituées de sédiments fins et meubles sont également importantes pour les juvéniles de sole, de daurade ou de flet.

| | Enjeux vis-à-vis de la diversité des habitats |
|-------------------------------|---|
| Anguille | Besoins habitats végétalisés et berges diversifiées |
| Mulet porc | |
| Flet | Maintien des fonds sédiments fins de qualité |
| Alose feinte et Grande Alose | |
| Lamproie marine et fluviatile | |
| Mulet doré | |
| Daurade royale | |
| Sole | |
| Bar | Besoins habitats végétalisés et/ou minéraux |
| Maigre | |
| Crevette blanche | Maintien des fonds sédiments fins de qualité |
| Athérine | |
| Epinoche | |
| Crevette grise | Maintien des fonds sédiments fins de qualité |
| Crabe vert | Maintien des fonds sédiments fins de qualité |
| Bouquet des canaux | Maintien des fonds sédiments fins de qualité |
| Brochet | Besoins habitats végétalisés pour la reproduction et le développement juvéniles. Besoins d'abris pour les adultes |
| Brème | Besoins ponctuels habitats végétalisés comme abris |
| Carpe | Besoins ponctuels habitats végétalisés comme abris |

Bilan des besoins connus vis-à-vis des caractéristiques des habitats des marais pour les différentes espèces étudiées dans la synthèse.

5.4. DES BESOINS MIGRATOIRES IMPORTANTS

Les 21 espèces étudiées fréquentent différents types de milieux au cours de leur cycle biologique et parmi ceux-ci les marais littoraux. Les déplacements et les migrations sont donc essentiels pour ces espèces.

Les espèces marines migratrices viennent coloniser les marais aux stades larves ou alevins en général au printemps et en été sauf pour le mulet doré qui colonise ces habitats plutôt en automne et en hiver.

L'anguille peut coloniser les marais littoraux aux stades civelle, anguillette ou anguille jaune. Les périodes de montaison s'étalent donc de l'automne jusqu'au printemps. Les juvéniles de flet, eux entrent dans les marais au printemps.

Pour les holobiotiques comme le brochet, l'accès au marais est important pendant la période hivernale.

Pour les espèces anadromes, les marais ne constitueront qu'une zone de transit dans le cas où il existe en amont des habitats favorables à leur reproduction. Leur migration de montaison aura lieu au printemps.

Il est très important de tenir compte également des migrations de dévalaison qui concernent toutes les espèces migratrices marines, amphihalines ainsi que le brochet.

| | Enjeux de libre circulation vers et à l'intérieur des marais |
|-------------------------------|---|
| Anguille | Très fort pour les stades civelles et juvéniles |
| Mulet porc | Fort pour le stade alevin |
| Flet | Fort pour le stade larvaire et alevin |
| Alose feinte et Grande Alose | Absent si aucun cours d'eau >15-20 m de largeur en amont du marais Moyen si cours d'eau <15-20 m de largeur en amont du marais Absent si aucun cours d'eau en amont |
| Lamproie marine et fluviatile | Moyen à fort selon le type de cours d'eau en amont et la présence de zones de frayères (substrat de petits et gros galets) |
| Mulet doré | Fort pour le stade alevin |
| Daurade royale | Fort pour le stade alevin |
| Sole | Fort pour le stade alevin |
| Bar | Fort pour le stade alevin |
| Maigre | Fort pour le stade alevin |
| Crevette blanche | Fort pour les jeunes stades larvaires |
| Athérine, | Moyen |
| Epinoche | Faible |
| Crevette grise | Fort pour les jeunes stades larvaires |
| Crabe vert | Fort pour les jeunes stades larvaires |
| Bouquet des canaux | Fort pour les jeunes stades larvaires |
| Brochet | Fort pour la reproduction vers les zones inondables |
| Brème | Moyen à faible |
| Carpe | Moyen à faible |

Bilan des enjeux migratoires de montaison.

5.5. LES CAPACITES DE FRANCHISSEMENT

La majorité des espèces étudiées dans cette synthèse présentent des capacités de franchissement d'obstacle basées sur leur vitesse de nage. Seule l'anguille possède aux stades civelle et anguillette des capacités de reptation. Les crustacés sont capables de marcher sur des parois et les mullets peuvent effectuer des sauts.

Les espèces marines migratrices colonisant les marais aux stades larvaires et juvéniles, leur capacité de nage restent limitées (< 1/ms pour la daurade, jusqu'à 2 m/s pour le bar). De même pour les civelles, les vitesses de nage restent limitées (<50 cm/s en vitesse maximale).

Les conditions hydrauliques au droit des ouvrages de régulation et de gestion des eaux auront donc rapidement des impacts sur le franchissement par les poissons et les crustacés étudiés dans cette synthèse.

| Nom commun | Vitesse de sprint | Vitesse critique |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|
| Anguille jaune (>35 cm) | 1.2-1.8 m/s | 0.7-0.9 m/s |
| Anguillettes (20-35 cm) | 0.8-1.2 m/s | 0.4-0.6 m/s |
| Anguillettes (10-20 cm) | 0.7-0.8 m/s | 0.3-0.5 m/s |
| Anguille Civelle pigmentée | 30-50 cm/s | 15-20 cm/s |
| Anguille Civelle transparente | 15-25 cm/s | 8-10cm/s |
| Grande Alose | 3.5-5 m/s | 1.2-1.8 m/s |
| Alose feinte atlantique | 3-4.5 m/s | 1.0-1.5 m/s |
| Alose feinte méditerranéenne | | |
| Lamproie marine | 3-4.5 m/s | 1.0-1.5 m/s |
| Lamproie fluviatile | 2-2.5 m/s | 0.7-1 m/s |
| Flet (5-15 cm) | 0.6-0.8 m/s | 0.2-0.4 m/s |
| Mulet porc - juvéniles (5-15 cm) | 0.8-1 m/s | 0.2-0.4 m/s |
| Mulet doré (5-15 cm) | 0.8-1 m/s | 0.2-0.4 m/s |
| Brochet | 3-5 m/s | 1.0-1.8 m/s |
| Brème commune et brème bordelière | 2-3.5 m/s | 0.8-1.2 m/s |
| Epinoche | 1-1.5 m/s | 0.3-0.4 m/s |
| Athérine | 1-2 m/s | 0.4-0.6 m/s |
| Bar - juvéniles (6-15 cm) | 1.5-2.2 m/s | 0.5-1.0 m/s |
| Sole - juvéniles (6-15 cm) | 0.5-1.5 m/s | 0.3-0.4 m/s |
| Daurade royale - juvéniles (6-15 cm) | 0.3-1 m/s | 0.2-0.4 m/s |
| Maigre - juvéniles (6-15 cm) | 1.2-1.7 m/s | 0.3-0.5 m/s |

Bilan des capacités de nage des différentes espèces.

Partie 2 : Impacts des obstacles et solutions techniques

Cette 2^{ème} partie du travail porte sur les connaissances relatives aux impacts des obstacles et aux solutions techniques pour les réduire.

Elle est organisée en 3 parties distinctes :

- Connaissances sur la typologie des ouvrages,
- Connaissances sur les impacts des ouvrages,
- Les solutions techniques pour la continuité écologique

6. SYNTHESE DES CONNAISSANCES SUR LA TYPOLOGIE ET LE RECENSEMENT DES OUVRAGES

6.1. LES MARAIS LITTORAUX : UN « PAYSAGE » ANTHROPISE

La très grande majorité des marais littoraux de nos façades atlantique et méditerranéenne sont des milieux anthropisés. Ces milieux ont été fortement aménagés pour :

- La maîtrise et la régulation des flux d'eau,
- La structuration de l'espace et des « habitats » permettant différents usages.

Ces deux objectifs s'appuient sur des aménagements particuliers que sont :

- Les digues qui ont isolé le marais du milieu marin, lagunaire ou estuaire aval,
- Les fossés, chenaux, canaux, plans d'eau, bassins et mares qui ont été créés,
- Des dispositifs de type vannes, bondes, clapets, batardeaux qui ont permis la gestion des flux d'eau et des niveaux.

Ces trois types d'aménagements sont totalement complémentaires et participent chacun à la structuration et au fonctionnement des marais littoraux. Ils ont conduit à de profondes modifications des habitats et du fonctionnement hydrodynamique de ces écosystèmes littoraux avec des impacts sur les communautés biologiques.

6.2. LA DEFINITION DU TERME OUVRAGE EN MARAIS LITTORAUX

Dans le cadre de cette synthèse, la terminologie d'ouvrages a été réservée aux dispositifs dédiés à la gestion de l'eau (vannes, bondes, clapets, batardeaux). Il est toutefois difficile, notamment lorsque l'on s'intéresse aux impacts de ces ouvrages, de les dissocier de ceux liés aux autres aménagements (digues, créations de fossés, canaux, bassins ou mares).

Concernant la migration et les déplacements des espèces, si les ouvrages constituent la principale altération, les modifications des conditions hydrauliques (faiblesse de la courantologie), de la physico-chimie (changement brutal de salinité, anoxie, températures trop élevées) peuvent également constituer des « obstacles ».

6.3. LA TYPOLOGIE DES OUVRAGES DANS LES MARAIS LITTORAUX

Dans cette synthèse, nous nous intéresserons spécifiquement aux ouvrages de petites dimensions assurant la connexion entre les eaux de transition (estuaires, lagunes) et les marais et à l'intérieur de ceux-ci. Les grands barrages estuariens situés en aval de cours d'eau ne seront pas concernés. Une typologie des différents types d'ouvrages en marais littoraux et retro littoraux est présentée par Amand *et al.*, (2021).

6.3.1. LES 1^{ERS} OUVRAGES A LA MER

Les 1ers ouvrages à la mer ont pour vocation de gérer les flux d'eau entre les lagunes ou les marais et les zones maritimes. Il est important de distinguer les 1ers ouvrages de la façade atlantique de ceux de la façade méditerranéenne les 1ers étant soumis aux marées les seconds non.

6.3.1.1. LES OUVRAGES SOUMIS A MAREE DE LA FAÇADE ATLANTIQUE

6.3.1.1.1. Les différents types d'ouvrage

Il est nécessaire de distinguer cette 1^{ère} catégorie d'ouvrages à la fois par leurs caractéristiques mais surtout en raison de leur rôle très particulier dans la gestion de ces espaces et par voie de conséquence de par leurs impacts sur les flux hydrauliques, chimiques, de sédiments ainsi que sur la libre circulation des espèces.

La fonction de ces ouvrages est de réguler voire le plus souvent de bloquer les flux d'eau issus de l'estuaire ou de la mer pour empêcher leur pénétration dans le marais. Ils seront donc relevés ou fermés au fur et à mesure de la marée montante.

Ces ouvrages fonctionnent avec la pression hydraulique du flux d'eau, leur mouvement est directement lié au différentiel de pression de l'eau. L'augmentation du niveau d'eau en aval et le différentiel établi par rapport à l'amont va permettre la fermeture du dispositif. A la baisse de la marée, l'ouverture s'établira lorsque le niveau amont sera supérieur à celui de l'aval. Pour ces ouvrages, on trouve deux types de dispositifs, les portes à marée et les clapets.

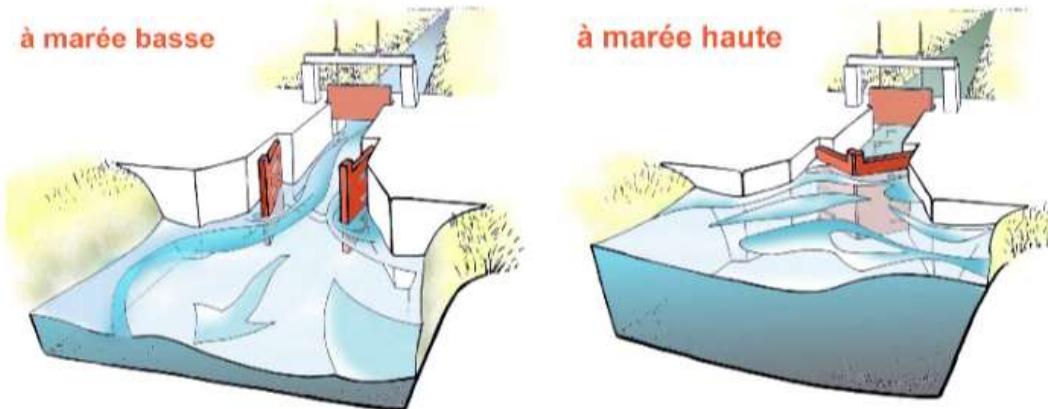


Figure 66 : Schéma du fonctionnement d'un ouvrage à la mer (une porte à flots). Source : marais poitevin eval free.fr

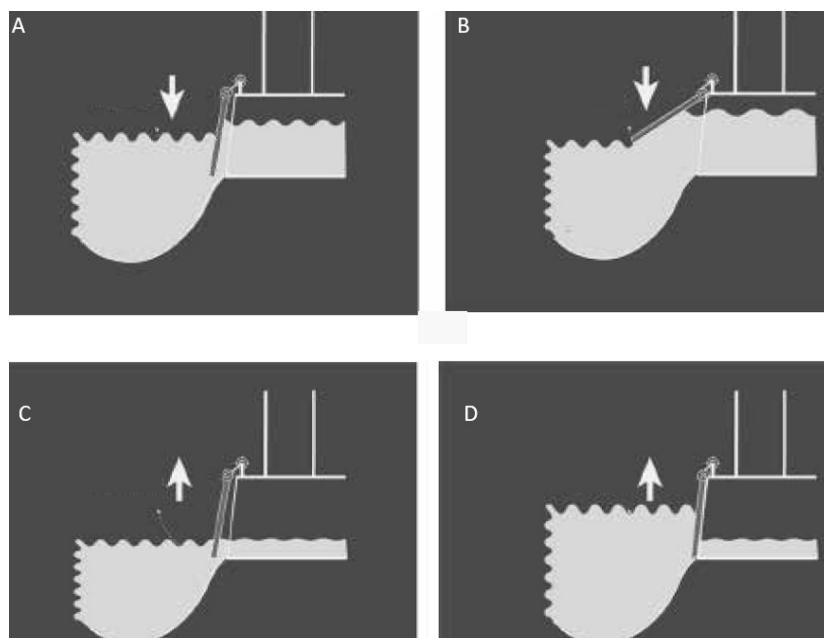
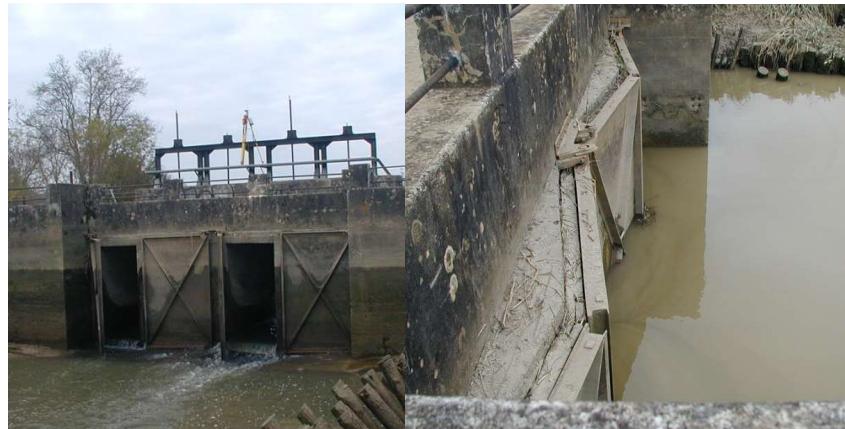


Figure 67 : Cycle de fonctionnement d'un clapet à marée. A. Le clapet commence à s'ouvrir lorsque la pression de l'eau dans le ponceau est supérieure à la pression de l'eau du côté aval pendant la marée descendante. B. Le clapet est grand ouvert pendant la marée descendante. C. Le clapet commence à se fermer lorsque le niveau d'eau en amont baisse et que la marée commence à monter. D. La vanne de marée est fermée pendant la marée montante (in Giannico et Souder, 2005).

Les clapets avec des dispositifs d'ouverture basés sur des charnières supérieures présentent très souvent des ouvertures plus limitées et surtout des écoulements plus turbulents (Bates et al. 2003, Giannico et Souder 2005). Le type de matériaux (bois, acier, aluminium) peut avoir une incidence sur le comportement de l'ouvrage avec des réactions différentes à la pression de l'eau.



Photos 1 et 2 : Illustrations de portes à marée (portes à flot) ouvertes et fermées.



Photos 3, 4 et 5 : Illustrations de clapets en position ouverte et fermé.



Photo 6 : Illustration d'un dispositif mixte avec porte à flot en aval et vanne en amont.

Dans certaines situations, les ouvrages sont des dispositifs fixes devant être manœuvrés manuellement et le plus souvent par des automates. Il existe également très souvent des situations d'ouvrages mixtes avec un dispositif fonctionnant en aval avec la pression de l'eau et un autre fixe en amont qui gère le débit sortant.

Dans le cas des marais salés, l'objectif des ouvrages à la mer est de permettre une adduction d'eau marine contrôlée. Dans le cas des marais doux, l'eau de mer est très souvent indésirable.

6.3.1.1.2. Conditions hydrauliques au droit de ces ouvrages

Le franchissement de ces ouvrages par les poissons et les crustacés dépend des conditions hydrauliques qui s'y établissent. En termes de possibilités de franchissement, il est possible d'identifier deux phases distinctes :

- Une phase correspondant à l'écoulement des eaux de l'amont vers laval qui peut potentiellement permettre un franchissement de l'ouvrage,
- Une phase correspondant au blocage des écoulements lorsque la porte est fermée. Le franchissement est alors impossible.



Photo 7: Illustration d'une porte à flot totalement fermée bloquant les échanges d'eau et donc le passage des poissons et des crustacés.

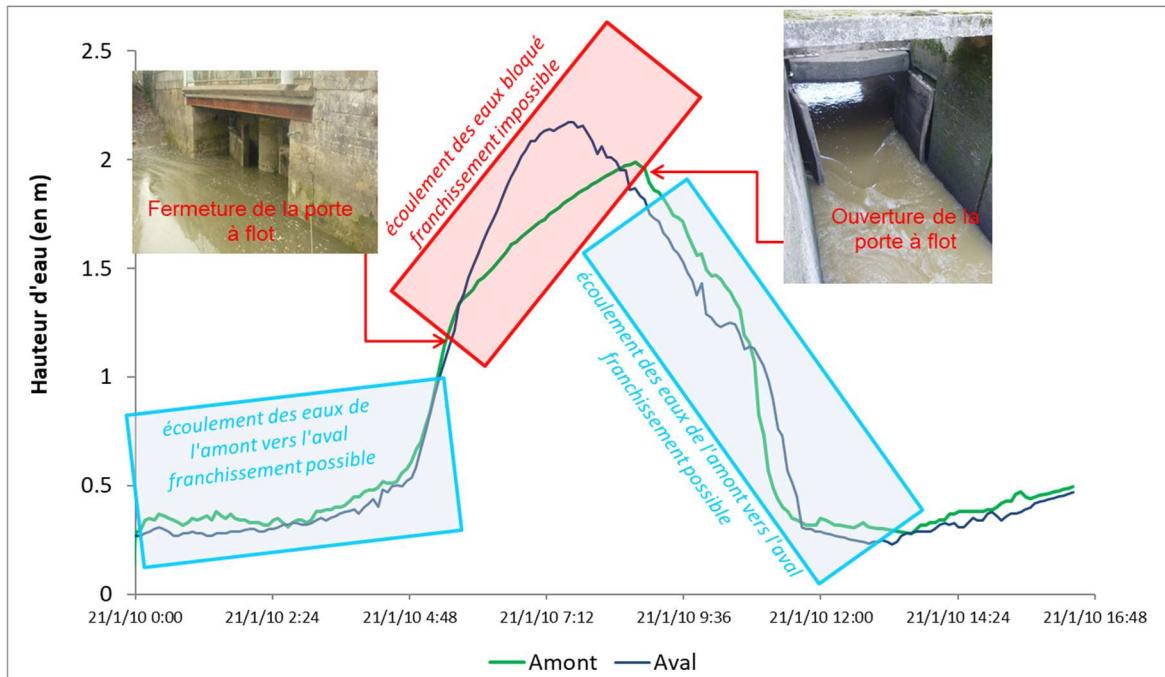


Figure 68 : Evolution des niveaux d'eau en amont et en aval d'une porte à flot avec identification des phases de transfert d'eau de l'amont vers laval.

Durant la phase d'écoulement des eaux de l'amont vers laval, les conditions hydrauliques vont dépendre du différentiel de niveau des 2 côtés de l'ouvrage et de la configuration de celui-ci.

- Si cet écoulement est libre de part et d'autre de l'ouvrage et que les débits fluviaux ne sont pas trop forts pour générer une perte de charge élevée au passage des portes, les conditions de vitesses et de hauteurs d'eau peuvent être compatibles avec le franchissement de certaines espèces.



Photo 8: Ecoulements avec de faibles pertes de charge de des vitesses assez réduites lors de période d'ouverture de portes à flot. Les conditions hydrauliques sont compatibles avec le franchissement de certaines espèces de poissons.

- Si les débits fluviaux sont trop forts par rapport aux capacités des portes à flots, cela va provoquer de fortes pertes de charge de part et d'autre de l'ouvrage (fortes différences de hauteur d'eau) et donc de fortes vitesses limitant ainsi la franchissabilité pour les poissons et les crustacés.

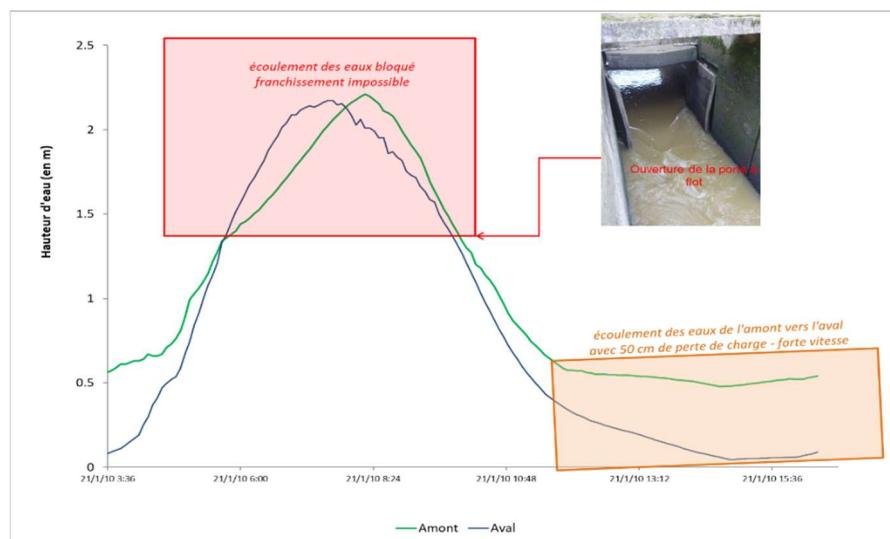


Figure 69 : Evolution des niveaux d'eau en amont et en aval d'une porte à flot en situation d'évacuation de forts débits fluviaux.



Photo 9 : Ecoulements à forts débits fluviaux avec une perte de charge marquée et des vitesses fortes pouvant limiter le franchissement de certaines espèces de poissons.

- Si les débits fluviaux sont faibles, l'ouverture des portes ou des clapets sera réduite limitant les possibilités de franchissement. Dans ces situations, il arrive assez régulièrement que les ouvrages reposent sur un radier incliné en aval (voir photo ci-dessous) avec même parfois des redans. Lorsque le niveau aval est bas, les portes ou les clapets sont totalement dénoyés laissant apparaître des écoulements sur le radier très souvent infranchissables pour les poissons.



Photo 10 : Illustration de clapets reposant sur un radier incliné en aval infranchissable lorsque le niveau aval est bas.

Au-delà de la typologie de ces ouvrages, il est important de tenir compte de la position de l'ouvrage au sein des zones estuariennes et/ou maritimes. Leurs modalités de gestion et leurs impacts seront différents selon les différentes configurations. On peut distinguer :

- Les ouvrages séparant un milieu d'eau douce d'une zone en eau salée en distinguant :
 - o Les zones aval des estuaires ou des littoraux côtiers,
 - o Les zones tidales.
- Les ouvrages séparant des milieux de salinité très proche (estuaires/zones côtières et marais salés).

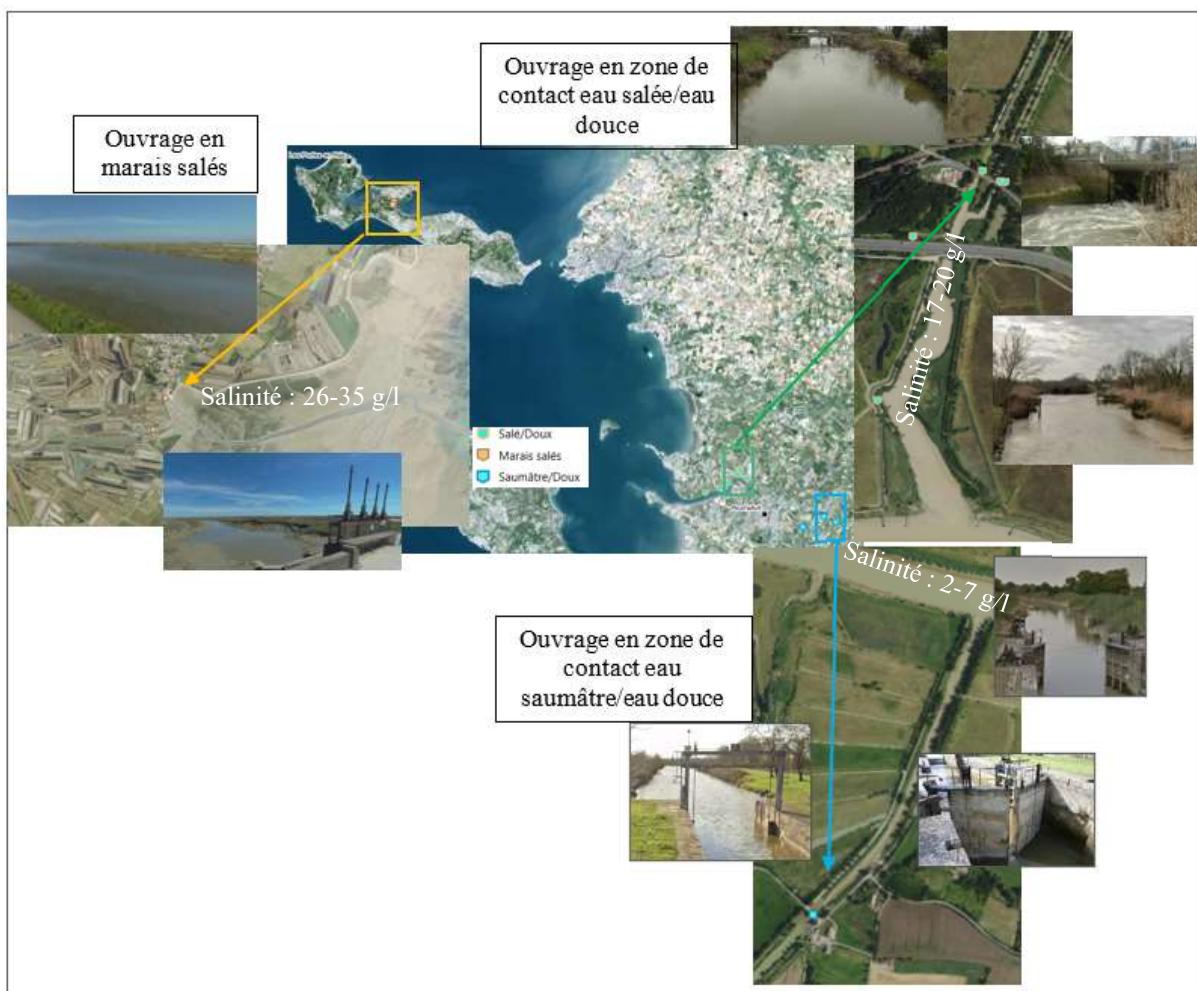


Figure 70 : Illustration des 3 situations de 1ers ouvrages à la mer.

6.3.1.2. LES OUVRAGES DE LA FAÇADE MEDITERRANEEENNE

Naturellement, la communication hydraulique entre la lagune et la mer s'établit par l'intermédiaire d'un chenal étroit au travers d'une barrière littorale constituée d'un cordon sableux. Cette structure constitue une passe microtidale (appelé grau). Les caractéristiques topographiques du chenal qui dépendent elles-mêmes des flux d'eau venant du bassin versant mais également de la houle vont fortement conditionner les échanges et donc le taux de renouvellement des eaux de la lagune. Les vents jouent également un rôle majeur dans l'hydrodynamique. Naturellement, les graus peuvent présenter des périodes de rupture de connexion (Feyssat, 2019).

Mais, dans de nombreuses situations, des ouvrages ont été implantés afin de gérer les flux. Il s'agit le plus souvent de vannes ou de clapets dont la fonction est d'assurer l'évacuation des eaux venant de l'amont et de limiter les entrées marines.



Figure 71 : Exemples de 1ers ouvrages à la mer au niveau de lagunes méditerranéennes - Vannages de l'Etang de Canet (a) Vanne du Chichoulet Etang de Vendres(b) Pertuis de la Fourcade en Camargue (c).

6.3.2. LES OUVRAGES DE REGULATION AU SEIN DES MARAIS

6.3.2.1. LES TYPES D'OUVRAGES

Ces ouvrages ont pour fonction de réguler les niveaux d'eau et les flux entre les différents compartiments du marais. Amand *et al.* (2021) ont proposé une typologie basée sur 2 niveaux :

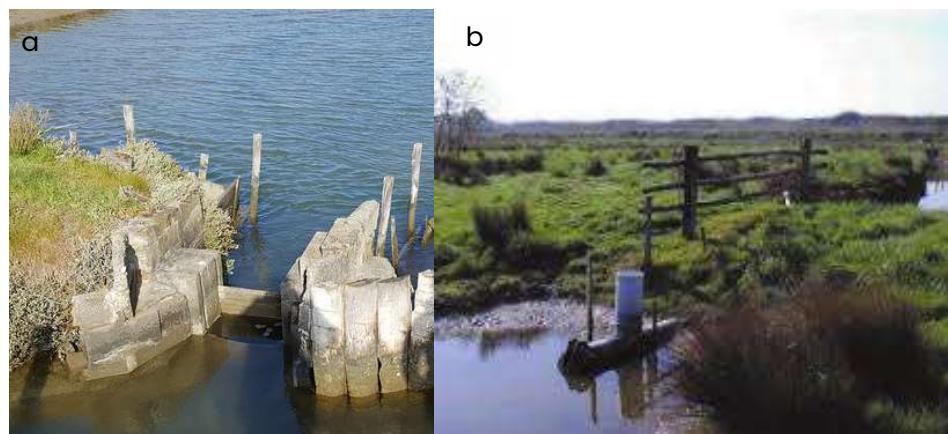
- Une différenciation entre les barrages, les seuils et les ponts,
- Et au sein de ces 3 catégories, plusieurs types d'ouvrages : des vannes de dimensions et de modalités de gestion différentes (manuelle, automatique), des clapets, des batardeaux, des bondes, des buses et des dalots.



Photos 11 et 12 : Illustration d'un dispositif de vannage (a) et de clapet (b)



Photos 13 et 14 : Illustration d'un dalot (a) et d'une buse (b)



Photos 15 et 16 : Illustration d'un batardeau (a) (©CCIN) et d'une bonde (b) (©Forum marais atlantique)

Les écluses constituent une catégorie particulière d'ouvrages par leur fonction dédiée à la navigation au sein de certains canaux traversant les marais.

Il est également important de citer les ouvrages associés aux franchissements permettant l'accès aux parcelles dans les zones de marais. En effet, dans de nombreux territoires, les canaux servent de dispositifs de clôtures des parcelles pour éviter la divagation du bétail. L'accès aux parcelles a nécessité la construction de passages équipés le plus souvent de buses. Le nombre de ces ouvrages peut être extrêmement importants dans certains marais.



Photos 17 et 18 : Illustrations de passages busés et d'un passage pour l'accès à des parcelles.

6.3.2.2. DEBITS ET CONDITIONS HYDRAULIQUES : ELEMENTS CLES DE LA GESTION DES MARAIS ET DE LA LIBRE CIRCULATION DES POISSONS ET DES CRUSTACES

Les ouvrages ont pour fonction de réguler les échanges d'eau d'un milieu à un autre. Ils assurent donc le transfert de volumes d'eau et garantissent une gestion de niveau d'eau. Au travers de ces ouvrages vont donc transiter des débits. Ces débits vont dépendre des caractéristiques d'ouverture des ouvrages et des différentiels de niveaux de part et d'autre. Leur connaissance est indispensable à la gestion hydraulique.

D'un point de vue biologique, les ouvrages constituent les points de passage obligés pour les espèces de poissons et de crustacés migratrices. Les possibilités de libre circulation de ces espèces vont dépendre des conditions hydrauliques et toute particulièrement des vitesses de courant dans l'ouvrage. Celles-ci devront être compatibles avec les capacités de nage des espèces pour que l'ouvrage soit franchi.

Ainsi, si le gestionnaire va plutôt s'intéresser aux niveaux d'eau et aux débits, les biologistes vont eux porter leur attention sur les conditions de vitesses de courant issues des débits transitant.

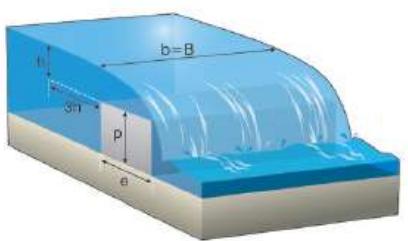
6.3.2.3. DEBITS TRANSITANT

Tous ces ouvrages vont réguler les niveaux d'eau en amont ainsi que les débits transitant. Ces débits vont dépendre directement de 3 caractéristiques :

- Le différentiel de hauteur d'eau de part et d'autre de l'ouvrage pour les situations d'ouvrage en charge ou la hauteur d'eau en amont (appelée souvent la charge hydraulique) pour les ouvrages dénoyés en aval (situation où la lame d'eau aval est plus basse que le seuil de la vanne, de l'échancrure ou du seuil),
- La section d'écoulement au niveau de l'ouvrage (ouverture de la vanne, dimensions de la buse ou du dalot, largeur du clapet, du seuil ou du batardeau),
- Le coefficient de débit qui caractérise la capacité d'écoulement de la section. Elle est fortement liée aux frottements contre les parois et/ou le fond.

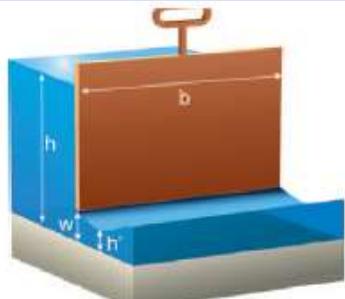
Les formules de calcul de débits transitant dans ces ouvrages sont disponibles dans le guide sur le contrôle des débits réglementaires (Le Coz *et al.*, 2011) ainsi que sous la plateforme Cassiopée (<https://cassiopee.g-eau.fr/assets/docs/fr/calculators/structures>).


Exemples de formules de calcul de débit pour 3 types d'ouvrages (seuil épais ; vanne en sousverse, orifice noyé)(in Le Coz et al., 2011)



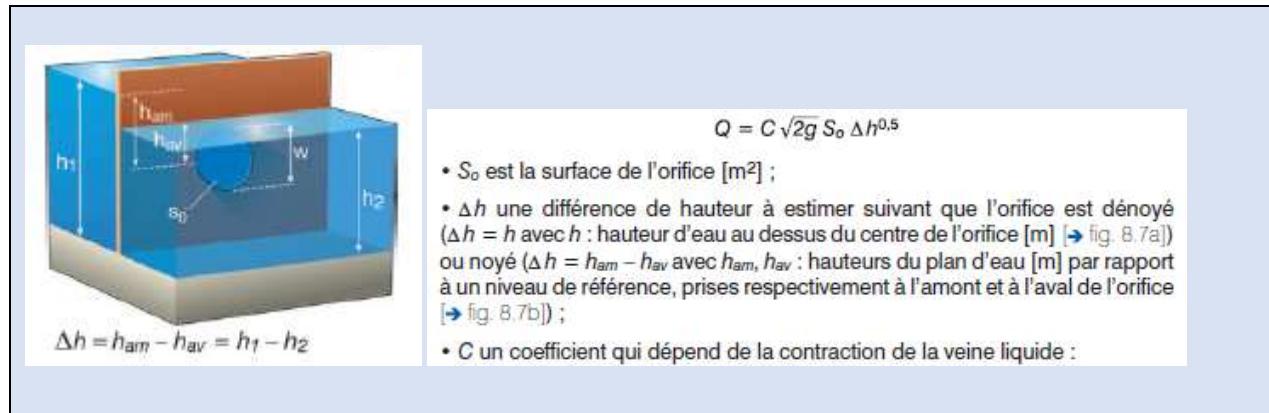
$$Q = C \sqrt{2g} b h^n$$

- Q est le débit [m^3/s] ;
- b la largeur du déversoir [m] ;
- h la hauteur d'eau [m] (lame d'eau) mesurée au-dessus de la crête du seuil à une distance vers l'amont d'environ $3h$;
- n un exposant lié à la géométrie du déversoir ;
- C un coefficient de débit à déterminer.



$$Q = C \sqrt{2g} b w h^{0.5}$$

- $C = 0,60$ le coefficient de débit ;
- b [m] la largeur de l'ouverture d'une vanne ;
- w [m] la hauteur de l'ouverture d'une vanne ;
- h [m] la hauteur d'eau à l'amont de la vanne mesurée à partir du radier de la vanne ;
- h' la hauteur d'eau à l'aval de la vanne sous la contraction.



Dans l'exemple ci-dessous, pour une même section de passage de l'eau ($0.75 m^2$) sous la vanne, l'ennoiement ou non en aval change énormément les valeurs de débits qui vont transiter (de 0.44 à $0.8 m^3/s$).

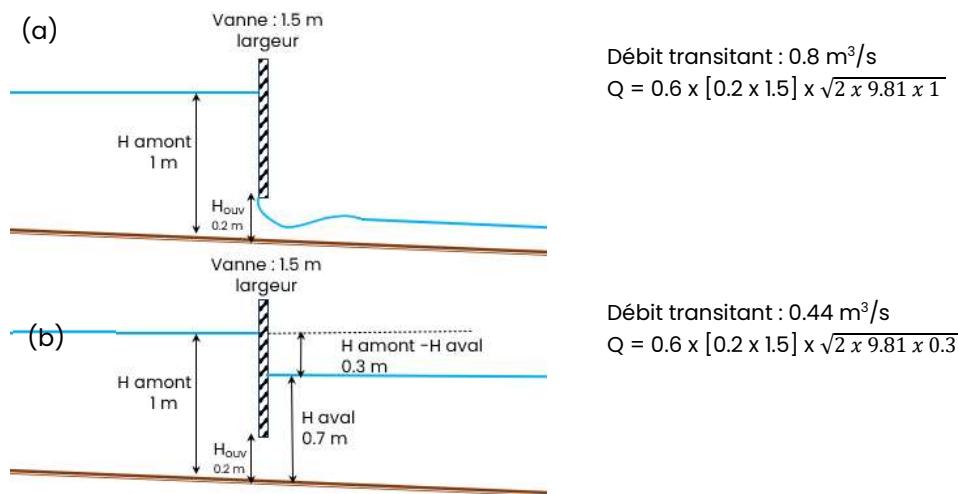


Figure 72 : Exemple de comparaison de débit transitant sous une vanne en situation dénoyée (a) et ennoyée par l'aval (b).

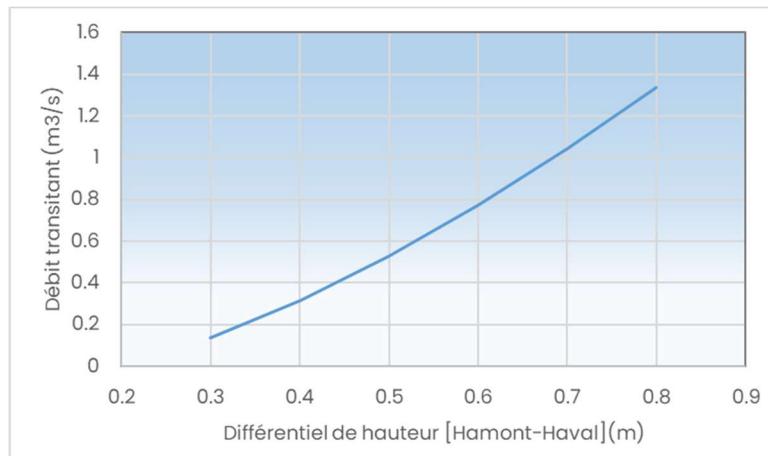


Figure 73 : Exemple d'évolution du débit transitant sous une vanne ennoyée par l'aval avec une section d'écoulement de $0.75 m^2$ en fonction du différentiel de hauteur entre les 2 lignes d'eau de part et d'autre de la vanne.

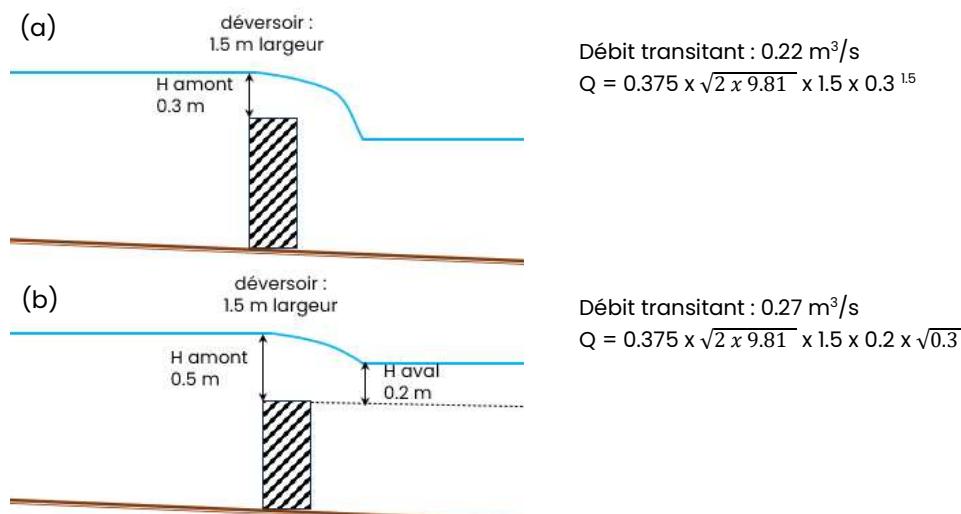


Figure 74 : Exemple de comparaison de débit transitant sur un déversoir épais en situation dénouée (a) et ennoyée par l'aval (b).

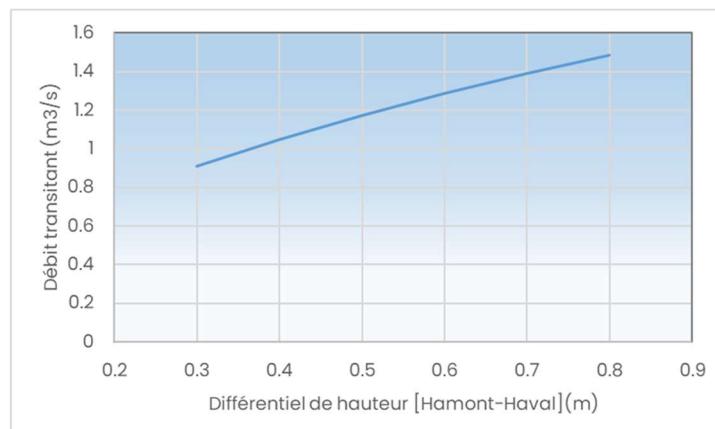


Figure 75 : Exemple d'évolution du débit transitant sur un seuil ennoyé par l'aval avec une largeur de 1.5 m en fonction du différentiel de hauteur entre les 2 lignes d'eau de part et d'autre du seuil.

Les débits transitant au travers des ouvrages vont conditionner les vitesses d'écoulement.

6.3.2.4. LES VITESSES D'ECOULEMENT

Les vitesses de courant vont directement découler des débits et des sections d'écoulement sur et sous les ouvrages. Leurs valeurs avec le tirant d'eau conditionneront directement les possibilités de franchissement par les poissons et les crustacés.

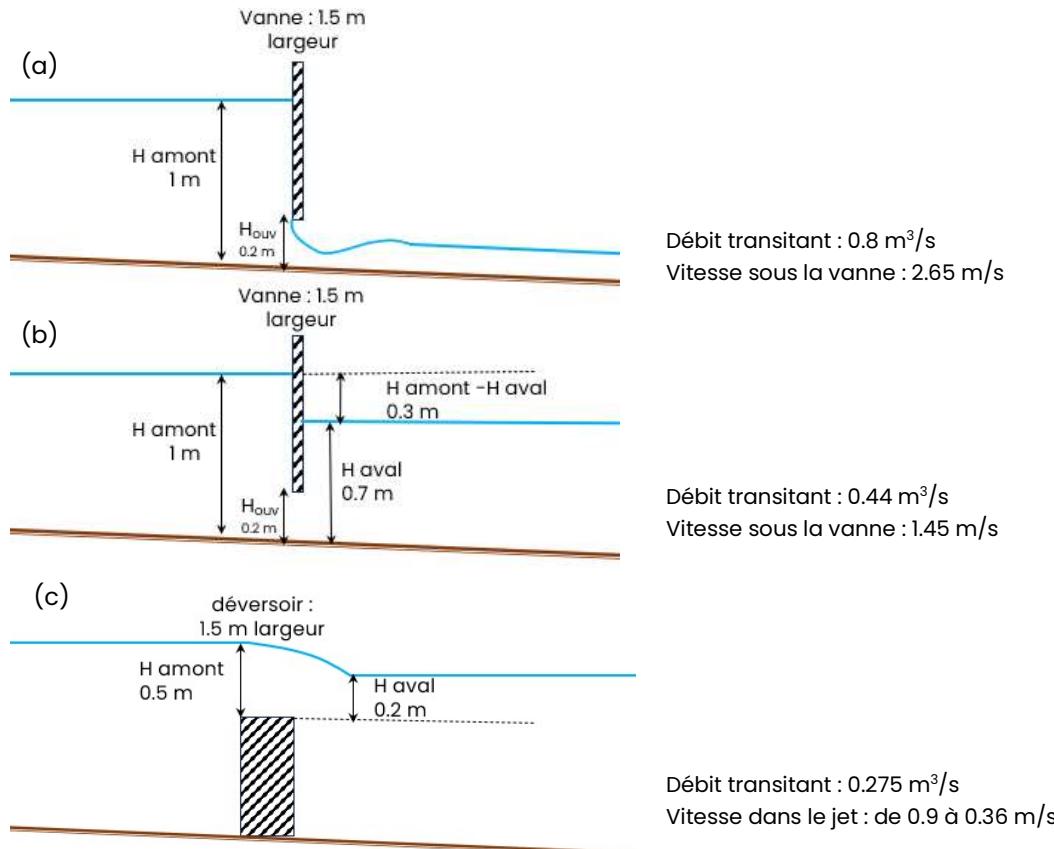
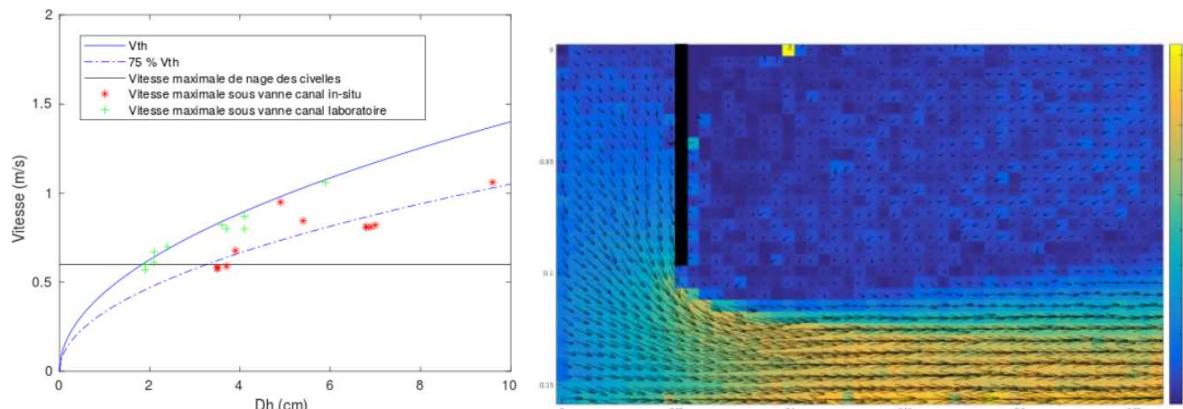


Figure 76 : Exemple de comparaison de vitesse sous une vanne en situation dénoyée (a) et ennoyée par l'aval (b) et sur un seuil épais en situation d'ennoiement par l'aval (c).

Guiot de la Rochère (2020) a caractérisé les vitesses d'écoulement sous des vannes ennoyées par l'aval dans plusieurs conditions de différentiel de hauteur.



Figures 77 et 78 : Courbe des vitesses maximales mesurées et exemple d'un champ de vitesses moyenne mesurée par la technologie de Vélocimétrie de suivi de particules (PTV) dans des canaux pour une vanne lisse (Vth : vitesse théorique, * + : vitesses maximales mesurées sur le terrain et en laboratoire, le trait noir représente la vitesse maximale de nage des civelles (in Guiot de la Rochère, 2020).

Dans la configuration étudiée, les vitesses d'écoulement dépassent rapidement la vitesse maximale de nage des civelles (60 cm/s) dès l'instant où le différentiel de hauteur de part et d'autre du vannage dépasse 4 cm.

6.3.3. LES OUVRAGES DE POMPAGE

Dans certaines situations où l'altitude des marais se situent en-dessous de la mer, l'eau est alors évacuée en utilisant des pompes.



Photo 19 : Illustration d'un dispositif de pompage permettant d'évacuer les eaux d'un marais vers la mer.

6.4. LA CONNAISSANCE DES OUVRAGES

La connaissance de l'ensemble des ouvrages existants ainsi que de leurs caractéristiques est indispensable à la gestion des marais et tout particulièrement à la mise en œuvre des actions de restauration de la libre circulation des poissons et des crustacés.

Le recensement des ouvrages en marais a été engagé sur de nombreux territoires sur la base du référentiel d'Amand *et al.* (2021) et intégré dans le Référentiel des Obstacles à l'Ecoulement (ROE). La version disponible en juin 2024 a intégré les données sur plusieurs grands territoires de marais littoraux et de lagunes. Globalement, 4 660 ouvrages ont été identifiés dans ces zones.

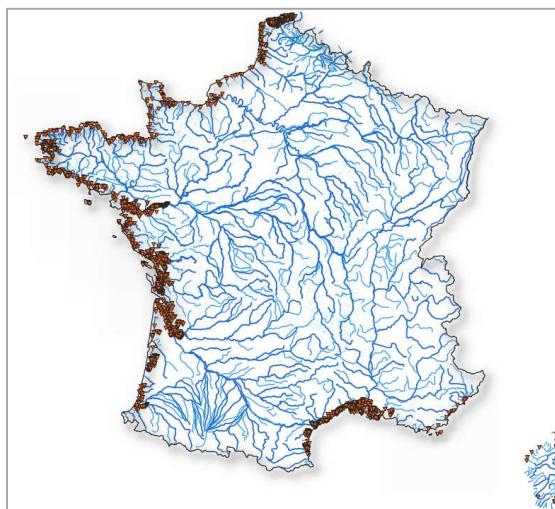


Figure 79 : Cartographie des ouvrages recensés dans le ROE (juin 2024) dans la zone littorale de métropole (@donnée ROE).

Les recensements et la bancarisation des données restent hétérogènes entre tous les territoires et au sein d'un même territoire. C'est le cas, par exemple des marais de la Seudre et de Brouage. Dans les marais de la Seudre, la bancarisation des ouvrages dans le ROE n'est effective que sur une partie du territoire. Dans ceux de Brouage, pour l'instant, il n'y a pas eu d'intégration des inventaires dans le ROE.

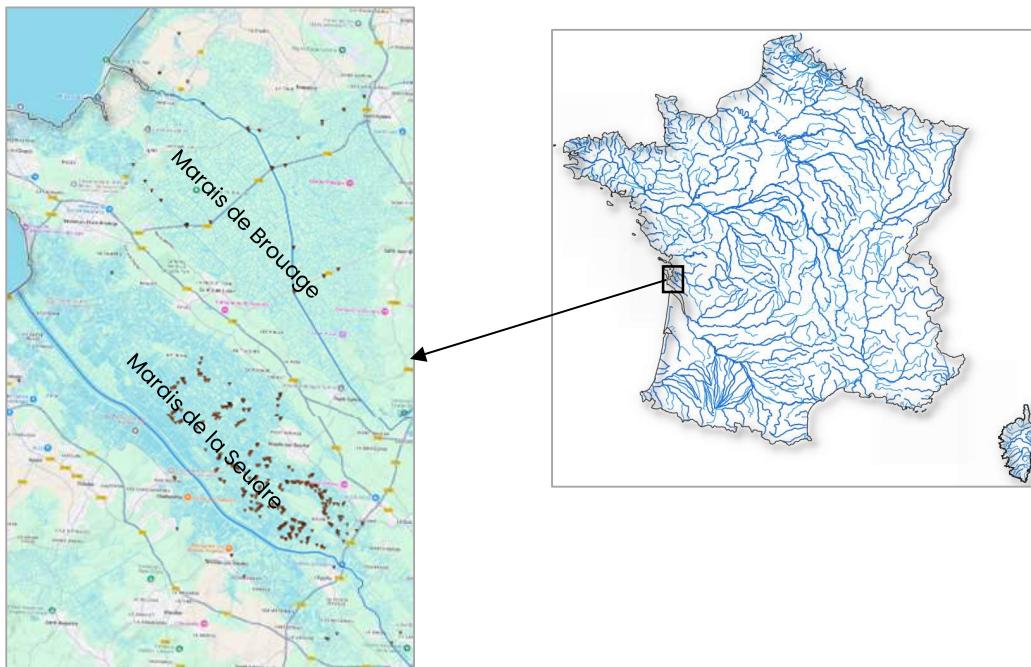


Figure 80 : Illustrations de la bancarisation des ouvrages dans le ROE pour les marais de la Seudre et de Brouage (juin 2024 ; ©donnée ROE).

Dans la zone des lagunes méditerranéennes, on recensait, en 2024, 1 670 ouvrages soit une densité de l'ordre de 0.5 ouvrage/km² et dans l'estuaire de la Gironde, la densité d'ouvrage est de 0.11/km². Dans le marais de la Seudre, la densité atteint de 11 ouvrages par km² ce qui semble être représentatif de ce type de marais aménagé.



Ce qu'il faut retenir : Les ouvrages sont des dispositifs indispensables au fonctionnement des marais littoraux et des lagunes aménagés. Ils conditionnent la gestion des niveaux d'eau et des volumes transitant. On distingue les 1ers ouvrages à la mer qui gèrent les flux entre le milieu marin et/ou estuaire et les marais ou lagunes. Sur la façade Atlantique, ces ouvrages sont soumis à la marée et fonctionnent très majoritairement avec la pression hydraulique du flux d'eau ce qui n'est pas le cas en Méditerranée. A l'intérieur des marais, on trouve ensuite plusieurs types d'ouvrages (vannes, clapets, batardeaux, bondes) qui réclament des manœuvres (manuelles ou automatiques) pour gérer les flux d'eau qui les traversent. De nombreux passages busés sont également présents pour assurer les transferts d'eau entre bassins et/ou canaux au niveau des franchissements terrestres. Les débits et les conditions hydrauliques au droit de ces ouvrages sont directement liés aux niveaux d'eau de part et d'autre ainsi qu'à la section d'écoulement.

En termes de connaissances et d'inventaires, les 1^{ers} recensements ont été intégrés au sein du Référentiel des Obstacles à l'Ecoulement (ROE). La version disponible en juin 2024 a intégré les données sur plusieurs grands territoires de marais littoraux et de lagunes représentant 4 660 ouvrages. La situation est très hétérogène selon les territoires.

7. SYNTHESE DES CONNAISSANCES SUR LES IMPACTS DES OUVRAGES

Cette partie est dédiée à l'analyse de la bibliographie disponible sur les impacts directs et indirects des ouvrages sur les populations des espèces cibles. Pour cela, après avoir présenté le cadre conceptuel de qualification des impacts, nous nous sommes intéressés successivement aux altérations des caractéristiques hydrauliques, morphologiques et physico-chimiques puis à celles affectant les habitats avant de traiter des impacts biologiques.

7.1. LE MODELE PRESSION-ALTERATION-IMPACTS APPLIQUE AUX MARAIS LITTORAUX.

Comme nous l'avons vu, les marais littoraux et les lagunes sont des milieux souvent fortement anthropisés. Les ouvrages ne sont qu'une partie des aménagements qui ont modifié les flux d'eau, de matières mais aussi les habitats avec pour conséquence des impacts sur les organismes aquatiques. En dehors des aménagements et notamment des ouvrages, les marais maritimes et estuariens présentent des fonctionnements hydrodynamiques particuliers en relation directe avec les marées. L'hydrodynamique des estuaires et des marais attenants se caractérise par des variations de niveau, de courant, de salinité et de turbidité responsables de leur structure complexe. Les flux d'eau entrant et sortant de ces systèmes très souvent artificialisés créent un réseau dense de chenaux et rigoles qui participent aux flux de matières actifs et passifs. Ce fonctionnement complexe notamment en présence d'eau douce est totalement modifié dans les milieux aménagés.

Il est important, avant d'analyser les connaissances sur les impacts des ouvrages sur les espèces cibles de cette synthèse bibliographique, de représenter la chaîne pression/altération/impacts spécifique à ces milieux.

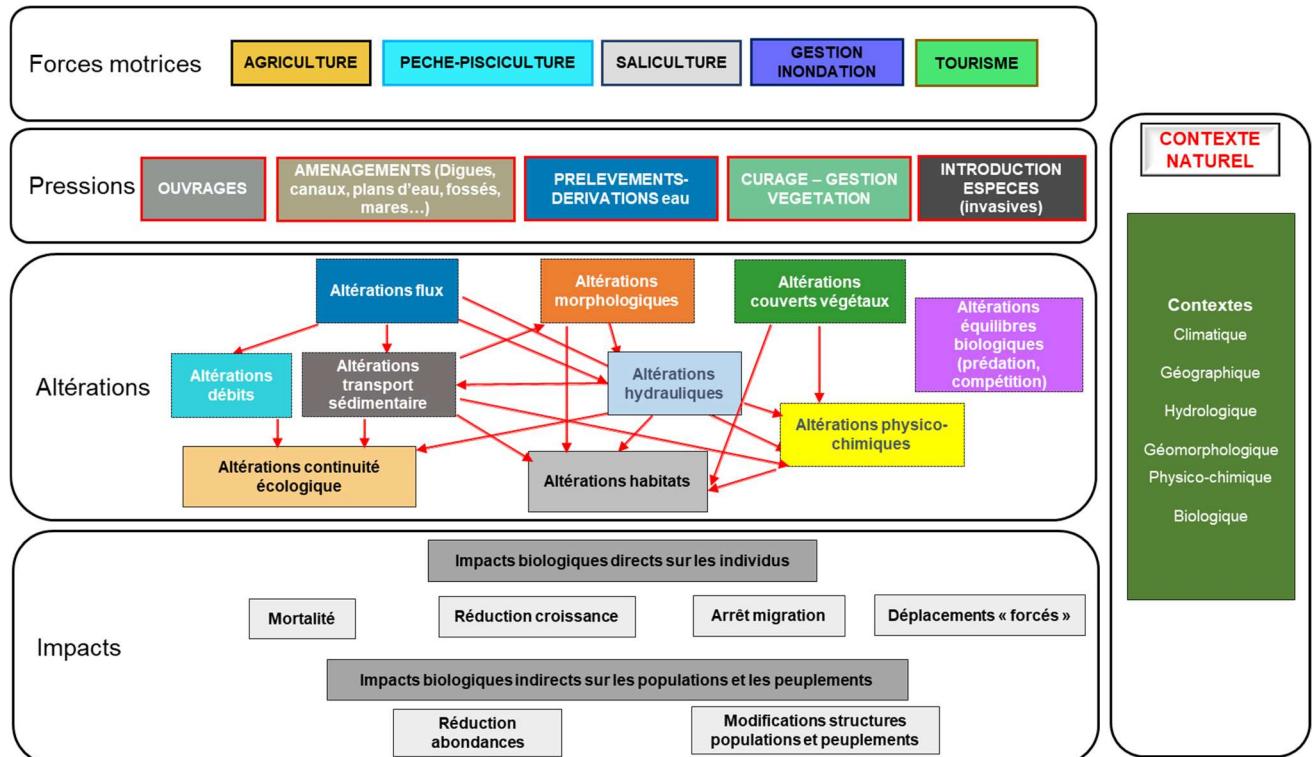


Figure 81 : Description de la chaîne pression-altération-impact au sein des marais littoraux et des lagunes.

Au sein des zones littorales estuariennes, les principaux processus physiques qui déterminent le développement et la durabilité des habitats sont les variations de flux d'eau (issus des marées et de l'impluvium continental) et la sédimentation, qui, à leur tour, déterminent la géomorphologie, l'hydrodynamique et le développement écologique dans ces habitats (Teal et Weinstein, 2002). L'ensemble des aménagements réalisés dans les marais littoraux ont profondément modifié ces processus physiques et physico-chimiques ce qui a

conduit à des altérations des habitats et des impacts sur les peuplements et les populations. De nouveaux équilibres se sont créés modifiant assez profondément les communautés biologiques.

Les impacts écologiques des ouvrages varient en fonction de leur objectif, de leur conception et de leur situation géographique (Bice et al., 2023). Ils vont générer :

- des impacts directs sur les migrations et déplacements des poissons et des crustacés,
- une réduction voire une disparition du flux de marée en amont et des habitats estuariens,
- une altération des habitats estuariens et lagunaires en aval en raison de la réduction des flux d'eau douce et de la modification du flux de marée.

Les fortes interactions entre les différentes pressions rendent difficile l'individualisation des impacts spécifiques des ouvrages.

Les impacts des ouvrages sur la libre circulation des espèces migratrices au sein de marais littoraux peuvent être :

- Directs :
 - Blocage et/ou ralentissement des migrations et des déplacements,
 - Mortalités lors du passage dans des pompes ou dans des organes de vannes et de clapets,
- Indirects :
 - Mortalités induites par la préation, les surdensités en aval des ouvrages
 - Mortalités induites par les conditions environnementales (température, oxygène, salinité...),
 - Mortalités, dérive génétique, hybridation liées au confinement des populations,
 - Ralentissement de la croissance.

Ces impacts peuvent concerter la montaison et la dévalaison des poissons et des crustacés

Les impacts indirects vont se traduire par des modifications dans la dynamique des populations et donc des incidences quantitatives sur l'état des stocks.

Pour ce qui est des espèces d'eau douces, en marais «doux» (80 % des surfaces marais), les altérations de la libre circulation peuvent favoriser les hybridations et réduire les échanges génétiques entre compartiments. La densité de la maille induite par les ouvrages, ainsi que la fréquence et la durée des échanges d'eau entre compartiment, peuvent avoir un impact a priori non neutre sur les caractéristiques de ces populations.

7.2. LES IMPACTS SUR LES FLUX HYDRIQUES ET LES NIVEAUX D'EAU

La gestion des ouvrages en marais et dans les lagunes va fortement conditionner les flux hydriques qu'ils soient issus des marées ou des apports du bassin versant et par voie de conséquence les niveaux d'eau.

Des Touches et Anras (2005) décrivent le fonctionnement hydrologique des marais endigués avec la présence d'un régime alternant.

- En hiver, les excédents d'eau sont évacués pour protéger les activités en place sur le marais. Ils génèrent donc des flux importants vers l'aval, le marais devenant un système ouvert qui reçoit les eaux de l'amont en produisant des ondes de crues avec une pente hydraulique de quelques cm par km. Les niveaux fluctuent amplement (localement près des ouvrages ou partout par moments).

- en été, les marais connaissent un fort taux d'évapotranspiration et nécessitent souvent une prise d'eau pour le soutien des niveaux à partir d'un cours d'eau ou d'un canal. Ils sont alors clos et ne laissent quasiment plus s'échapper d'eau vers l'aval. Les eaux sont ainsi maintenues à un niveau très stable. Le comportement de la masse d'eau s'apparente à celui d'un plan d'eau, plus ou moins fractionné, avec de très faibles pentes hydrauliques.

Dans le cas des marais salés endigués atlantiques, les apports d'eau viennent essentiellement de la mer et sont gérés en fonction des coefficients de marée par les ouvrages hydrauliques (Paticat, 2007). Leur fonctionnement hydrologique est donc différent. Un marais salé endigué est soumis à un régime oscillant des eaux de surface, fondé sur l'amplitude des marées et à rythme contrôlé (Anras *et al.*, 2004).

Dans les lagunes méditerranéennes, la faiblesse des marées génère une hydrodynamique différente. Naturellement, les sorties d'eau dépendent de la pluviométrie amont et de l'intensité du vent de terre. Les entrées d'eau salées sont, elles, fortement influencées par les vents de mer mais également par les variations journalières et saisonnières du niveau de la mer (de l'ordre de 20-30 cm (données satellite Altimetry Data) voir plus au droit des cotes avec l'effet de la houle (-30 à + 40 cm (Rosecchi et al., 2003))). En présence d'ouvrages, cette dynamique sera modifiée selon l'importance de l'ouverture des vannes ou des clapets, elle-même guidée par les critères de gestion des niveaux d'eau dans les lagunes (Alba et al., 2014). Les suivis réalisés de 1993 à 2002 au pertuis de la Fourcade, principal point de sortie hydraulique du système Vaccarès, ont montré que les volumes d'eau sortant dépendaient des ouvertures des vannes qui elles-mêmes dépendaient de la pluviométrie et de l'intensité des vents de terre (Rosecchi et al., 2003).

7.2.1. IMPACTS DES 1^{ERS} OUVRAGES A LA MER

La gestion des 1^{ers} ouvrages à la mer conditionne directement les volumes d'eau issues de l'estuaire, de la baie ou de la mer qui sont susceptibles de pénétrer dans le marais ou la lagune.

Dans le cas des ouvrages à marée de la façade atlantique fonctionnant sous l'effet de la pression hydraulique et en l'absence de dispositif particulier retardant la fermeture des portes à flot ou des clapets ou d'ouverture dédiée (vantelle), les volumes d'eau entrant issus de l'aval sont extrêmement faibles voire nuls.

A l'échelle saisonnière, le niveau d'eau en amont va dépendre :

- Du débit entrant depuis la zone de marais,
- De la gestion d'un éventuel vannage présent en amont des portes à flot ou des clapets.

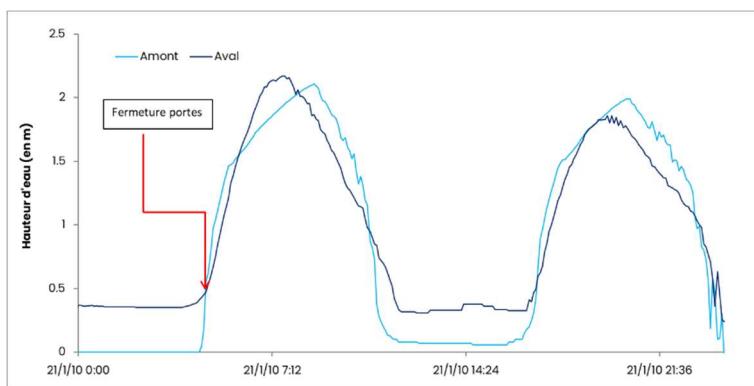


Figure 82 : Suivi de niveau d'eau de part et d'autre d'une porte à flot sur la Charente au niveau de Charras au cours de 2 cycles de marée (in Lamarque et al., 2012).

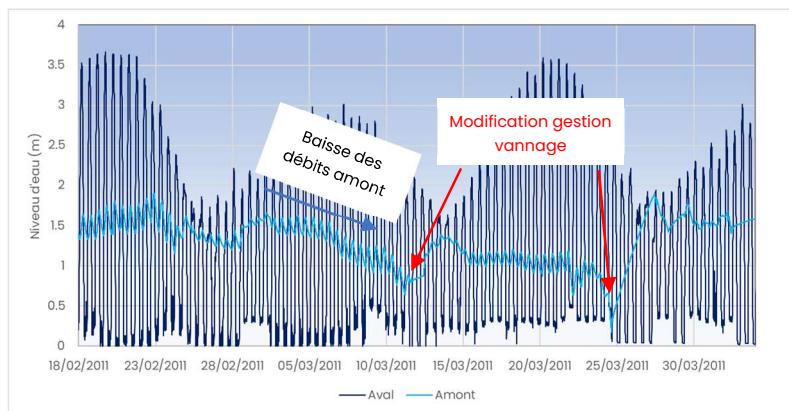


Figure 83 : Suivi de niveau d'eau de part et d'autre d'une porte à marée sur la Charente au niveau de Charras au cours de 1.5 mois en hiver (in Lamarque et al., 2012).

Lors d'un cycle de marée, le niveau aval va évoluer sous l'effet de la dynamique de la marée et des débits amont (tant que l'ouvrage n'est pas fermé). La variation va dépendre du coefficient de marée, des conditions de houle et du débit sortant depuis l'amont. Le niveau amont va évoluer en fonction des débits arrivant depuis le marais

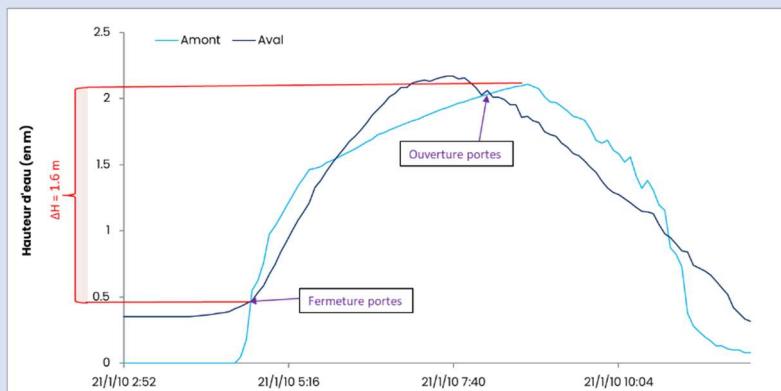
ainsi que de la gestion du vannage si celui-ci est présent en amont immédiat de la porte à flot ou du clapet (Mitchell *et al.*, 2006).

A une échelle saisonnière, la variation du niveau amont dans le marais dépend directement de la gestion du vannage associé à la porte à flot. Dans l'exemple ci-dessus sur le site de Charras, on observe des évolutions particulières du niveau amont liées à des réductions de débit venant du marais et des fermetures successives des vannages afin de réduire les volumes d'eau sortant et de maintenir la cote du bief amont à l'intérieur du marais.



Connaître le débit sortant dans un marais

La connaissance des débits sortant d'un marais littoral est importante pour la gestion de cet écosystème. Malheureusement, il existe peu de sites instrumentés et les suivis sont peu nombreux. La connaissance de l'évolution des niveaux d'eau dans le dernier bief en amont de l'ouvrage à marée peut renseigner sur l'hydrologie du marais. En effet, l'augmentation du niveau d'eau dans le bief lorsque l'ouvrage est fermé dépend directement du volume d'eau s'accumulant dans le bief et donc du débit arrivant en amont. Pour estimer ce débit, il suffit de déterminer la variation de hauteur d'eau dans le bief durant la fermeture de l'ouvrage à marée (ΔH), de la multiplier par les dimensions du bief (Longueur (L) et largeur moyenne (l)) et de diviser ce volume d'eau (V) par le temps de fermeture de l'ouvrage (t).



$$\begin{aligned} Q &= V/t \\ V &= \Delta H \times (L \times l) \\ \text{Soit dans l'exemple ci-dessous} \\ L &= 1500 \text{ m} \\ l &= 7.2 \text{ m} \\ \text{Temps fermeture : } &3h30 \\ \Delta H &= 1.6 \text{ m} \\ V &= 1.6 \times 1\ 500 \times 7.2 = 17\ 280 \text{ m}^3 \\ Q &= 17\ 280/(3.5 \times 3600) = 1.37 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Ces calculs, appliqués aux différents points de sortie des eaux, peuvent permettre de reconstituer une hydrologie d'un marais et de la comparer éventuellement avec des données de cours d'eau proches. Ces estimations ne valent évidemment que lorsqu'il ne rentre pas d'eau depuis l'aval.

Actuellement, la gestion des ouvrages est surtout liée aux objectifs de cotes des marais en amont en relation avec des enjeux de débordements ou de maintien de volume d'eau. Il est très important de considérer également que les volumes d'eau sortant jouent un rôle majeur vis-à-vis de l'attractivité des chenaux pour les poissons côtiers et notamment les migrateurs amphihalins. Le débit joue notamment un rôle majeur dans la migration des civelles par l'intermédiaire de la rhéotaxie et de la chémotaxie. A l'entrée des deltas, les gradients de salinité et les débits attirent et dirigent les civelles en migration (Edeline *et al.*, 2005 ; Bureau Du Colombier *et al.*, 2007 ; Crivelli *et al.*, 2008).

Griffioen *et al.* (2024) montrent que la distribution des civelles dans les chenaux latéraux du canal de la mer du Nord au Pays-Bas est étroitement liée aux valeurs de débits. Plus celles-ci sont élevées et plus le nombre de civelles empruntant le chenal est important.

La gestion des ouvrages et des flux d'eau issus des marais devrait donc prendre en compte cette attractivité pour les poissons afin d'optimiser l'efficacité des dispositifs de franchissement du 1^{er} ouvrage à la mer notamment.

7.2.2. IMPACTS DES OUVRAGES DANS LES MARAIS

Les ouvrages présents sur l'ensemble des compartiments des marais gèrent directement les niveaux d'eau en fonction de leur degré d'ouverture et donc du débit transitant. La situation dans le marais va donc dépendre directement des niveaux d'eau recherchés par le gestionnaire. L'évolution de ces niveaux dépendra :

- Des apports hydrologiques (eaux de surface, eaux souterraines, précipitations),
- Des pertes (évapotranspiration, infiltration, prélèvements),

- Des modalités de gestion des ouvrages.

Dans un bilan estival établi sur le marais de Moëze (2250 ha) en Charente-Maritime avec un ouvrage totalement fermé en aval, Giraud *et al.* (1991) ont montré que les apports s'élevaient à 1.9 Mm³ (dont 93.5% provenant des apports du canal d'alimentation amont) et que les pertes étaient de 1.05 Mm³ dont 43% par évapotranspiration notamment en relation avec les hélophytes et 38% par l'irrigation. Les infiltrations ne représentaient que 10% des pertes. Ainsi, dans ce type de configuration, la gestion des ouvrages et leur étanchéité est primordiale pour garantir le maintien des niveaux d'eau dans le marais.

Les niveaux d'eau maintenus dans les marais littoraux sont très liés aux usages et enjeux écologiques. Les objectifs peuvent différer selon les saisons. Dans certains marais littoraux, en saison hivernale, les objectifs de gestion visent à évacuer les flux d'eau entrant en limitant les débordements alors que pour d'autres un certain niveau d'ennoiement des terrains est recherché (saison de la « blanche »). En été, au contraire, les ouvrages vont être gérés pour conserver les volumes d'eau.



Les niveaux d'eau : élément déterminant pour le potentiel d'accueil piscicole

Les niveaux d'eau du marais liés à la gestion des ouvrages sont essentiels pour les habitats aquatiques car ils vont déterminer la lame d'eau présente dans les différents compartiments ainsi que les surfaces en eau disponibles pour les espèces de poissons et de crustacés et donc définir les potentialités d'accueil. En effet, beaucoup d'espèces présentent des préférences spécifiques pour les hauteurs d'eau. Les anguilles de plus de 45 cm affectionnent les profondeurs élevées (>75 cm) (Neveu, 1981 ; Dupuy, 2021). A l'opposé les individus de moins de 30 cm se concentrent dans des hauteurs d'eau comprises entre 25 et 60 cm (Laffaille *et al.*, 2003). Les alevins de brochets sélectionnent des profondeurs de moins de 25 cm (Casselman et Lewis, 1995). Les juvéniles de bars et de daurades colonisent, eux, essentiellement les habitats peu profonds (<50 cm) (Dufour *et al.*, 2009 ; Freeman *et al.*, 2023).



Ce qu'il faut retenir : Les ouvrages sont des éléments essentiels dans la gestion des niveaux d'eau et des flux hydriques dans les marais et certaines lagunes. Les 1ers ouvrages à la mer vont profondément modifier la dynamique des échanges entre le milieu marin ou estuaire et le marais. En général, les flux venant de l'aval sont bloqués et seules les eaux venant du marais sont plus ou moins évacuées selon les saisons. Au sein des marais, la majorité des habitats dépendent directement de la gestion des ouvrages. Les caractéristiques des débits et des écoulements au droit de ces ouvrages sont quantifiables sur la base des formules hydrauliques propres au vannages et/ou aux déversoirs.

7.3. IMPACTS SUR LES FLUX SEDIMENTAIRES

Les ouvrages présents dans les marais littoraux et les lagunes vont fortement conditionner la dynamique sédimentaire à la fois dans le marais et en aval immédiat du 1^{er} ouvrage à la mer (Pearlstine *et al.*, 1993 ; Giannico et Souder, 2005 ; Johnson et Hutchins, 2023). Naturellement, les marais ouverts sont des zones de dépôts sédimentaires avec des dynamiques souvent très complexes.

Ces dépôts sont importants dans les estuaires où les concentrations en matières en suspension peuvent être très élevées (exemples : 2.5 g/l dans l'estuaire de la Charente en étiage, 1.5 g/l sur la Garonne et 1 g/l sur la Dordogne (données EPOC/EPTB Charente)). Dans une étude sur plusieurs baies et estuaires Français (Aiguillon, Fier d'Ars, Charente, Seudre), Walsh et Corbett (2015) ont identifié des taux de sédimentation variant de 3 à 15 mm par an. Dans les marais salés non endigués, toutes les études montrent une sédimentation progressive de l'ordre de 15 à 65 mm/an (Stumpf, 1983). Dans une étude de 2 marais dans l'estuaire de la Scheldt à la frontière entre les Pays-Bas et la Belgique (marais doux et marais salés), Temmerman *et al.* (2003) montrent une forte variabilité spatiale et temporelle des concentrations en matières en suspension ainsi que des taux de sédimentation. Selon l'intensité de la marée et le site, les concentrations varient entre 30 et 200 mg/l et les taux de sédimentation peuvent atteindre 20 tonnes/ha.

Dans les lagunes méditerranéennes, les dynamiques sédimentaires sont différentes de celles de la façade atlantique. Ces milieux se caractérisent naturellement par des flux hydriques limités et des temps de résidence des eaux qui peuvent être importants en relation avec la morphologie des chenaux de connexion. Les apports de

matières en suspension depuis l'impluvium sont fortement dépendants des événements climatiques (crues) tandis que les submersions marines liées aux tempêtes seront à l'origine des apports essentiellement sableux (Sabatier et Dezileau, 2010 ; Molinaroli et al., 2014).

La présence des obstacles et des aménagements associés (digues) va profondément modifier cette dynamique selon les entrées d'eau venant de l'aval.

Dans la partie aval du 1^{er} ouvrage à la mer de la façade atlantique, le blocage des flux lors des marées va conduire à réduction des vitesses et donc une sédimentation accrue (Van Proosdij et al., 2009 ; Figueroa et al., 2020). L'intensité du processus et les modifications induites dépendent beaucoup du type de système. Un barrage situé entre le cours d'eau principal et l'estuaire générera beaucoup plus d'effets sur les flux sédimentaires et la morphologie estuarienne (Traini et al., 2015) qu'une porte à flot implantée sur un exutoire de marais littoral. Toutefois, les processus d'accentuation des dépôts en aval du 1^{er} ouvrage à la mer sont vérifiés sur une grande partie des sites.

En amont du 1^{er} ouvrage, le blocage des flux de marée va très fortement limiter les apports de sédiments venant de l'aval. Pour autant, le ralentissement des écoulements en amont des ouvrages va favoriser les dépôts des sédiments « fluviaux » (Philipps, 1989). Ces processus favorisent le stockage et la transformation des nutriments et du carbone l'une des fonctionnalités importantes des zones humides (Craft et Richardson, 1993 ; Meeker, 1996, Bernal et Mitsch, 2012, 2013). Dans une étude expérimentale de deux marais doux dans l'Ohio, Harter et Mitsch (2003) ont estimé des taux de sédimentation moyens de 4,90 cm par an soit 36,3 kg/m² par an variant de 1,82 à 9,23 cm par an (12,4 à 69,7 kg/m²/an). Les taux de sédimentation étaient 2 fois plus élevés dans les zones profondes des marais que dans les habitats peu profonds. Sur la base d'une connaissance des débits entrants et sortants et des concentrations en matière en suspension, les auteurs ont pu établir un bilan sédimentaire. Sur une année, ils ont estimé les flux entrant à 17 tonnes/ha et les flux sortants à 10 tonnes soit un stockage de 7 tonnes de sédiment par ha. Dans le marais De Moëze (Brouage), les quantités de vases qui s'accumulent dans les canaux primaires en amont des ouvrages à la mer, sur les 2 premiers km, oscillent entre 5 cm (amont) et 15 cm (aval) /an (Anras, comm. pers.). De fait le temps de retour sur curage est d'environ 5 ans (accumulations de 60 à 80 cm) dans ces fossés primaires (5 à 15% des linéaires). Il est de l'ordre de 7 à 10 ans sur les secondaires (5% des linéaires), et de 20 à trente ans sur les tertiaires (80% des linéaires).

Ces dépôts vont s'additionner à ceux issus de la production biologique au sein des marais en sachant que les processus de bioturbation (remise en suspension sous l'action des organismes aquatiques (poissons, mollusques, crustacés...)) modifient également la distribution des dépôts de sédiments. Les dynamiques de sédimentation sont liées à la fois aux flux entrants, aux caractéristiques hydrauliques (profondeurs, vitesses d'écoulement) ainsi qu'à la présence de végétation. Harter et Mitsch (2003) indiquent que les dépôts sont plus faibles dans les zones végétalisées à l'inverse de Carpenter et Lodge (1986) ou de Braskerud (2001) qui montrent une sédimentation accrue dans les marais fortement végétalisés. La présence des macrophytes limiterait notamment la remise en suspension des sédiments lors d'évènements hydrologiques particuliers (Braskerud, *ibidem*).

Ces dépôts sont souvent suffisamment importants pour justifier la réalisation des curages qui permettent de maintenir les capacités de stockage d'eau (Des Touches et Anras, 2005). Ces opérations de gestion qui luttent contre un processus naturel peuvent elles-mêmes avoir des impacts hydrologiques, physico-chimiques et biologiques (Tonjes, 2013).

Dans les marais salés, les entrées d'eau venant depuis l'estuaire peuvent apporter des quantités de sédiments plus importantes même si les concentrations restent souvent inférieures à celle des zones estuariennes. Dans une étude sur des marais salés du Massachusetts, Lemay (2007) indique des concentrations de matières en suspension de l'ordre de 10 mg/l avec des valeurs plus faibles dans les marais endigués que dans les marais ouverts.



Ce qu'il faut retenir : Les sédiments sont des éléments importants dans la dynamique des milieux estuariens, des lagunes et des marais. La présence des ouvrages va considérablement modifier cette dynamique en bloquant les entrées venant depuis les zones marines et estuariennes et en favorisant les dépôts venant du domaine continental. Cette nouvelle dynamique oblige les gestionnaires à des opérations de curage dans les marais.

7.4. IMPACTS SUR LA PHYSICO-CHIMIE DES EAUX

7.4.1. LA SALINITE

Les profondes modifications des flux d'eau et de sédiments au sein des marais littoraux aménagés induites notamment par les ouvrages vont conduire à des impacts sur la physico-chimie des eaux. La salinité constitue la caractéristique physico-chimique la plus impactée par les ouvrages. Les impacts auront lieu en amont dans le marais mais également en aval particulièrement lors des périodes de basses eaux. Ces impacts dépendent de la situation en termes de salinité des eaux en aval du 1^{er} ouvrage et des caractéristiques du marais en amont.

7.4.1.1. INCIDENCES SUR LES MARAIS EN AMONT DES OUVRAGES

Le blocage de toute ou partie des flux venant de la mer, de la lagune et/ou de l'estuaire va induire un changement important de salinité en amont du 1^{er} ouvrage à la mer. Dans cette configuration, les valeurs de salinité dans le marais peuvent être très différentes de celles de l'estuaire. Dans le cas d'un ouvrage comme celui de Charras sur la Charente, les suivis de salinité des eaux ont montré que les concentrations en amont étaient de l'ordre de 0.7 g/l dans le canal contre 18 à 25 g/l en aval.

Dans un suivi de la qualité des eaux de part et d'autre d'une porte à flot dans le marais de Rumney (Massachusetts), Kukshel (2018) mesure des différences significatives de salinité de part et d'autre de l'ouvrage avec des valeurs de l'ordre de 12 g/l en aval et de 2 à 8 g/l en amont.

Dans le cas des marais salés, la situation peut être inverse. Le blocage des flux d'eau de mer en été notamment à l'intérieur des marais peut conduire avec les effets de l'évaporation à des salinités dépassant les 35-45 g/l. Cette situation s'observe également dans les lagunes méditerranéennes fermées avec de fortes hausses de la salinité lorsque les apports d'eau douce diminuent en période estivale.

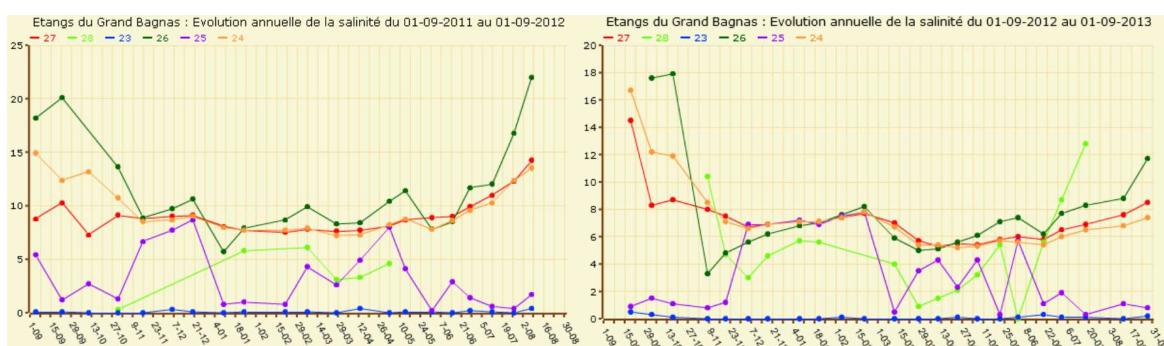


Figure 84 : Evolution de la salinité dans la lagune du Grand Bagnas au cours des années 2011 à 2013 (données Suivi FILMED ADENA – Réserve Naturelle Nationale du Bagnas).

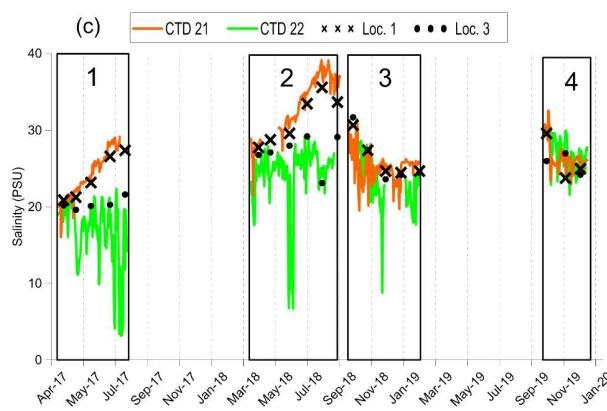


Figure 85 : Evolution de la salinité dans différents points du système Vaccarès au cours des années 2017 à 2019 (in Boutron et al., 2021).

Dans les zones tidales estuariennes, les salinités sont nettement plus faibles. Le blocage des entrées d'eau ne provoquera pas de différentiels importants de part et d'autre de l'ouvrage.

7.4.1.2. INCIDENCES SUR LES ZONES AVAL

Le blocage des flux d'eau venant des zones de marais durant certaines saisons et notamment en été peut avoir des incidences importantes à la fois sur les zones aval et sur le comportement des espèces. Dans un estuaire peu aménagé, il existe un gradient de salinité qui varie au cours des saisons et qui structure les habitats pour les espèces qui ont alternativement besoins de différentes valeurs de salinité au cours de leur développement (Whitfield, 2005). C'est le cas des espèces marines migratrices comme le bar ou la sole ainsi que pour des migrants amphihalins comme le flet (Whitfield, 1990 ; Beck et al., 2001). Ces zones à plus faibles salinité grâce aux apports d'eau constituent ainsi des » refuges » (Bate et al., 2002).

En présence de portes à marée ou de clapet et en situation de faible débit, cette zone de transition de salinité va quasiment disparaître au profit d'une zone de plus forte salinité (Pontee, 2013). Le « refuge » peut même totalement disparaître (Zampatti et al., 2010) avec des impacts forts pour les espèces migratrices marines voire même les espèces strictement estuariennes (Whitfield, 1999 ; Baptista et al., 2010).

Ces modifications liées à la faiblesse voire l'absence d'apports d'eau douce peuvent également avoir un impact sur la migration de certaines espèces. En effet, cette migration vers l'amont est influencée par une salinité réduite et des « odeurs » d'eau douce a notamment pour les salmonidés anadromes (Johnsen et Hasler, 1980), les lamproies (Meckley et al., 2014), les anguilles (Tosi et al., 1990), ainsi que pour les juvéniles d'une série d'espèces opportunistes marines-estuariennes (James et al., 2008 ; Havel et Fuiman, 2016).

7.4.2. L'OXYGENE DISSOUS

Les modifications des flux hydrauliques et principalement le ralentissement des écoulements ont des impacts sur les teneurs en oxygène dans les marais littoraux. L'absence de mélange par la marée dans les tronçons en amont peut conduire à des diminutions significatives des niveaux d'oxygène dissous entraînant potentiellement des conditions hypoxiques ou anoxiques au fil du temps (Kemp et al 2009). En Floride, Goodwin (1991) identifie cet impact comme le plus significatif avec de fréquentes conditions d'anoxie dans les canaux construits en amont des portes à marée.

Comme pour la salinité, Kukshtel (2018) mesure également des différences significatives de concentrations en oxygène de part et d'autre de l'ouvrage (9 mg/l en aval contre 7 mg/l en amont). Une zone de marais coupée du mélange des marées et avec une faible alimentation en eau douce dispose d'une réserve d'oxygène limitée. La communauté microbienne et les organismes vivant dans ce tronçon en amont ont besoin d'oxygène pour respirer et épouseront cette réserve d'oxygène limitée au fil du temps si elle n'est pas régulièrement réapprovisionnée par des eaux océaniques riches en oxygène. Ce phénomène est particulièrement marqué pendant les mois d'été, lorsque les températures plus chaudes augmentent l'activité métabolique et la demande respiratoire des organismes tout en diminuant simultanément la solubilité de l'oxygène (Pörtner et Farrell 2008).

Dans une étude portant sur 6 marais du bas du fleuve Fraser en Colombie-Britannique équipés ou non de portes à marée, Gordon et al. (2015) ont mesuré, en été, des concentrations moyenne en oxygène dissous de 2,47 mg/l en amont des portes à marée et pouvant chuter jusqu'à 0,08 mg/l, soit des valeurs nettement inférieures à des sites de référence proches (8,41 mg/L) et aux situations en aval des ouvrages (concentrations variant entre 7,38 mg/l et 8,35 mg/).

Des observations similaires ont été faites par Vranken et al. (1990) dans l'estuaire de la Scheldt au Pays Bas avec de fortes modifications de la qualité physico-chimique des eaux et des sédiments en amont notamment au niveau des concentrations en oxygène en amont des ouvrages.

Dans les marais salés, les concentrations en oxygène peuvent également fortement diminuer en été en amont des ouvrages surtout lorsque les échanges d'eau avec l'aval sont limités et que les développements végétaux sont importants.

7.4.3. LA TEMPERATURE DE L'EAU

Les ouvrages ont un effet indirect sur le régime thermique des marais amont par leur effet sur les lames d'eau et le taux de renouvellement des masses d'eau. En effet, la modification des flux d'eau entre les marais et le milieu estuaire lagunaire et/ou marin et notamment le ralentissement des écoulements en amont des ouvrages couplés à la réduction des échanges va conduire, très souvent, à une augmentation de la température de l'eau au sein des marais principalement en période estivale. Dans la baie de Tillamook en Oregon, une porte à marée

a provoqué une augmentation de +2 à 5°C entre l'amont et en aval (Giannico et Souder, 1985). En Nouvelle-Zélande, sur la rivière Kurere, les températures de l'eau en amont d'une porte à flot sont 2 à 3°C plus chaudes qu'en aval (Franklin et Hodges, 2015).



Ce qu'il faut retenir : Les caractéristiques physico-chimiques des eaux sont fortement modifiées par la présence des ouvrages et l'ensemble des aménagements au sein des marais. Le blocage des apports d'eau venant de la mer ou des estuaires va induire, dans certains contextes, une forte baisse de la salinité. A l'opposé, des alimentations même ponctuelles dans des zones à très faibles apports d'eau douce (marais salants) peuvent présenter des concentrations en sel très élevées. De même, d'un point de vue thermique, les faibles taux de renouvellement des eaux dans les marais peuvent conduire à d'importants réchauffements des eaux avec des amplitudes journalières très élevées favorisant majoritairement les espèces thermophiles. La situation est identique pour les concentrations en oxygène dissous. Les développements végétaux favorisés par les concentrations en azote et en phosphore, les températures élevées et les faibles taux de renouvellement des eaux vont conduire, dans certaines conditions à des baisses très marquées des teneurs en oxygène et donc des risques d'anoxie pour les poissons et les crustacés.

7.5. IMPACTS SUR LES HABITATS

Les aménagements des marais littoraux et des lagunes ont profondément modifié leurs caractéristiques morphologiques, hydrauliques et physico-chimiques. Ces modifications ont conduit à la disparition des habitats estuariens et côtiers (vasières slikke et schorre) au profit, notamment, d'autres habitats aquatiques artificiels salés ou doux (bassins, mares, fossés, canaux) mais également de terres agricoles (prairies, zones cultivées) voire de zones urbanisées et/ou industrialisées.

Sur les côtes de Grande-Bretagne, Stamp *et al.* (2022) estiment la perte des habitats estuariens et côtiers à 2 500 km² depuis le milieu du XX^{ème} siècle. Dans une étude portant sur 42 deltas à travers le monde, Coleman *et al.* (2008) ont quantifié une perte de 15 845 km² en moins de 15 années, pertes induites par les activités humaines. Amorim *et al.* (2017) quantifient également des pertes importantes d'habitat dans l'estuaire de la Lima au Portugal au cours des 80 dernières années.

La présence des ouvrages en modifiant profondément l'hydrodynamique (très forte réduction des variations de niveaux d'eau et de courantologie (Leentvaar J., Nijboer, 1986) participe à remplacer des habitats caractérisés par leur intermittence hydraulique par des habitats caractérisés par une forte stabilité. Ces modifications se traduisent très souvent par des changements au niveau des communautés végétales. Les zones amont se caractérisent souvent par un envahissement d'hélophytes et notamment des phragmites (Roman *et al.*, 1984).



Ce qu'il faut retenir : Dans les marais aménagés, les habitats ont été profondément modifiés tant du point de vue morphologique, hydraulique que physico-chimique. Les développements de certains cortèges végétaux naturels (phragmitaie, caricaies) ou liés à des espèces invasives participent également à de profonds changements des habitats. Globalement, le blocage des flux et des échanges par les aménagements des marais conduit à des pertes d'habitats « refuge » caractéristiques notamment des zones tidales des estuaires et des baies et souvent indispensables aux cycles biologiques de nombreuses espèces de marines migratrices ou estuariennes. Ces mécanismes participent à ce que les chercheurs anglo-saxons appellent la « compression estuarienne » (« estuarine squeeze »).

7.6. LES IMPACTS DIRECTS SUR LA LIBRE CIRCULATION DES ESPECES

7.6.1. RAPPELS DES ENJEUX MIGRATOIRES DANS LES ZONES DE MARAIS LITTORAUX

Les éléments rassemblés dans la partie 1 de cette synthèse bibliographique ont permis de caractériser les enjeux associés à la migration des espèces ciblées dans ce travail au sein des marais littoraux et des lagunes. La nature dynamique des estuaires et l'utilisation de ces environnements par une diversité d'espèces, signifie que la migration et donc le passage à travers les obstacles n'est pas seulement essentielle pour les poissons diadromes, mais aussi pour les espèces d'eau douce, estuariennes et marines.

Les estuaires, les lagunes et les baies représentent en effet des habitats à très forts enjeux tout au long de l'ontogenèse pour les espèces exclusivement estuariennes, des voies de migration entre les environnements marins et d'eau douce pour les poissons diadromes, et des nurseries pour toute une série d'espèces marines (Beck et al., 2001 ; Elliott et al., 2007). Par conséquent, les mécanismes par lesquels les ouvrages et notamment les 1ers ouvrages à la mer ont un impact sur les poissons diffèrent selon les guildes d'espèces et les phases du cycle biologique.

Les impacts des ouvrages sur la migration mais également sur la dynamique de la population seront donc très variables. Il est notamment important de tenir compte des comportements migratoires et des stades de développement. Les impacts seront très différents selon que les espèces migreront aux stades larvaires et/ou juvéniles et notamment celles qui utiliseront le transport sélectif tidal et celles qui migreront au stade adulte pendant les périodes de jusant.

Tableau 27 : Récapitulatif des stades, enjeux et périodes de migration et de déplacements pour les différents groupes d'espèces concernées par la synthèse.

| | Stade de migration - déplacement | Enjeux | Périodes |
|---|---|---|---|
| Espèces marines migratrices (bar sole, daurade, maigre, mulet doré) | Larves et juvéniles Adultes (bar) | Atteindre des nurseries et zones de croissance | Printemps – Eté Hiver-printemps-automne (mulet doré) |
| Espèces amphihalines catadromes (anguille, flet, mulet porc) | Civelles, anguillettes, Larves et juvéniles | Atteindre des zones de croissance et des nurseries | Hiver-printemps-automne |
| Espèces amphihalines anadromes (grande alose, alose feinte, lamproie marine, lamproie fluviatile) | Géniteurs | Atteindre des zones de frayères | Hiver et printemps |
| Espèces sédentaires estuariennes (athérine, épinoche) | Tous les stades | Atteindre des zones de frayères et/ou de croissance | |
| Les crustacés | Larves | Atteindre des nurseries | Printemps-été |
| Espèces holobiotiques d'eau douce (brochet, carpe, brème) | Géniteurs | Atteindre des zones de frayères et de croissance | Hiver, printemps, automne |

7.6.2. LES IMPACTS SUR LA MONTAISON

7.6.2.1. LES MECANISMES EN JEU DANS LES IMPACTS DIRECTS

Pour caractériser les mécanismes en jeu dans les impacts directs des obstacles vis-à-vis de la migration des espèces, il faut différencier :

- Les 1^{ers} obstacles à la mer de ceux à l'intérieur des marais,
- Le comportement des espèces en migration.

L'impact direct est lié aux possibilités de franchissement des ouvrages par les espèces qui, elles-mêmes, dépendent du croisement entre les caractéristiques hydrauliques au droit de l'ouvrage et les capacités de nage, de saut ou de reptation des poissons et des crustacés. Le protocole ICE (Information sur la Continuité Ecologique) propose une méthodologie très détaillée pour l'évaluation des impacts des obstacles sur le franchissement des espèces (Baudouin *et al.*, 2014). Dans cette synthèse, nous ne reprendrons pas les éléments méthodologiques de l'ICE, nous aborderons les mécanismes des impacts directs au travers des différents comportements de franchissement des espèces.

7.6.2.1.1. Les espèces utilisant le transport tidal sélectif

Il s'agit des espèces comme l'anguille, le flet, le mulet, la sole ou le bar. L'utilisation de cette stratégie limite beaucoup la dépense énergétique des individus. Le blocage du flux par les 1^{ers} ouvrages à la mer va stopper

totallement ce processus et donc la migration de ces espèces. Leur capacité de nage étant limitée et les individus se tenant au fond lors du jusant, les possibilités de franchissement des clapets ou portes à flots lorsqu'ils s'ouvrent sont extrêmement limitées. L'impact des 1ers ouvrages à la mer sur ces espèces sera donc forts à très forts.



Photos 20 et 21 : Porte à flot et clapet totalement fermés lors du flot empêchant tout franchissement par les espèces utilisant le transport tidal sélectif.



Le comportement migratoire des civelles :

Les civelles utilisent le transport tidal sélectif lors de leur migration dans les zones estuariennes. Il s'agit d'un cycle synchronisé sur la marée visant à profiter efficacement des courants de flot (McCleave et Kleckner, 1982 ; Forward et Tankersley, 2001). Lorsque la marée monte (période du flot), et que les courants vont de l'estuaire vers les cours d'eau continentaux, les civelles se positionnent dans la colonne d'eau pour se déplacer. Un peu avant l'étalement de pleine mer, les civelles descendent au fond. Durant la phase de marée descendante (période du jusant) et que les courants vont des cours d'eau continentaux vers l'estuaire, les civelles restent au fond pour se protéger du courant contraire et ne pas repartir en direction de l'océan. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, les civelles ne sont pas portées par le courant. Elles nagent ce qui leur permet de progresser vers l'amont même lorsque les eaux s'écoulent encore vers l'aval. Les observations réalisées dans l'estuaire de la Charente au droit de l'écluse de Biard ont clairement montré une « arrivée » des civelles au droit de l'obstacle alors que les vitesses étaient encore de l'ordre de 10-20 cm/s et dirigées de l'amont vers l'aval (Alric *et al.*, 2013). Le pic d'abondance est très souvent atteint entre 2h30 et 1h30 avant pleine mer (Alric *et al.*, 2013).

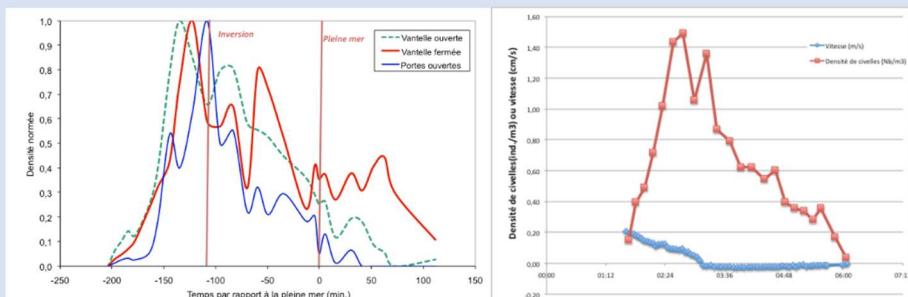


Figure 86 et 87 : Cinétique des abondances de civelles échantillonnées 100 m en aval de l'écluse de Biard (a) et comparaison avec les vitesses de courant (trait bleu) (b) (@données OFB, Alric *et al.*, 2013)

L'intensité des flux de civelles varient fortement dans le temps avec une effet combiné des débits fluviaux et des coefficients de marée. Ils sont plus importants lors des plus forts coefficients de marée mais également lorsque les débits amont sont plus soutenus.

Même en dehors de la zone d'influence des marées et notamment lorsque les civelles pénètrent dans les canaux des marais, leurs migrations de montaison va se poursuivre comme l'ont montré les expériences de Guyot de la Rochère (2020) dans le canal de Charras (17) ainsi que les observations sur Yser (Van Wichelen *et al.* 2021).

Dans les lagunes méditerranéennes, malgré la faiblesse des marées, la colonisation des civelles a lieu très souvent de mi-novembre jusqu'au printemps. Dans un suivi sur la lagune de Bages-Sigean, Lagarde *et al.* (2022) ont montré une forte variabilité des flux de civelles avec une dominante de stades peu ou pas pigmentés en début de saison et des stades plus pigmentés au début du printemps. Hormis le débit fluvial, aucun autre paramètre environnemental n'a permis d'expliquer la variabilité des flux.

7.6.2.1.2.Les espèces nageantes

Il s'agit des espèces amphihalines anadromes comme les lamproies, les aloses mais également les anguilles à partir du stade anguillettes, les juvéniles d'espèces migratrices marines (bar, sole, daurade, maigre) ou encore les holobiotiques (brochet, carpe, brème). Ces espèces migrent ou se déplacent en nageant face au courant. L'impact d'un obstacle sera lié aux configurations hydrauliques des écoulements à savoir les vitesses d'écoulement, les hauteurs de chute et les tirants d'eau.

Dans le cas d'un 1^{er} ouvrage à la mer de la façade atlantique, la configuration des écoulements évolue en fonction du cycle de marée, de l'hydrologie venant de l'amont et des caractéristiques de l'aménagement (voir chapitre 3.3.1). Le franchissement n'est possible que lorsque les eaux s'écoulent de l'amont vers l'aval. Les possibilités de franchissement vont dépendre du différentiel de niveaux d'eau entre l'amont et l'aval et des conditions d'écoulement dans l'ouvrage (vitesses d'écoulement, turbulence). Dans les cas des lagunes méditerranéennes, la variabilité des conditions de franchissement en fonction des marées sera faible, les conditions de franchissement dépendront directement des modalités de gestion de l'ouvrage (degré d'ouverture, différentiel de niveaux amont/aval) ainsi que des conditions de vent.

Lucas *et al.* (2009) ont utilisé la télémétrie pour évaluer la migration vers l'amont et l'accès à l'habitat de reproduction de lamproie fluviatile adulte dans le nord-ouest de l'Angleterre, en se concentrant sur les effets d'un barrage à marée de faible hauteur. L'accès en amont a été sévement restreint par le barrage à marée. Sur les 57 lamproies marquées relâchées à l'embouchure de la rivière (en dessous du barrage), seulement 10 individus (18%) ont franchi le barrage. Plusieurs lamproies marquées ont visité à plusieurs reprises les environs du barrage mais ne l'ont pas franchi, ce qui suggère une attirance pour la zone et des tentatives possibles de franchir le barrage. Six des huit lamproies marquées à la fin du mois de novembre, lorsque les débits étaient élevés, ont réussi à franchir le barrage. Cet épisode de fort débit a coïncidé avec les marées descendantes et les vannes du barrage sont restées ouvertes pendant plusieurs cycles de marée, ce qui a permis aux lamproies de passer le barrage. Une fois au-dessus du barrage, les lamproies ont migré rapidement par des voies d'accès libres.

Les études conduites sur deux espèces d'aloises (*Alosa pseudoharengus* et *aestivalis*) au niveau de l'estuaire de la rivière Herring ont montré que les taux de franchissement des portes à marée étaient de 47% avec une très forte diminution au cours du temps (de 78% en début de printemps à seulement 16% en fin de saison de migration) (Alcott *et al.*, 2021).



Photos 22 et 23 : Vue des écoulements au droit d'une porte à flot ouverte dans 2 configurations de débits sortant générant des écoulements avec des vitesses différentes (@ECOGEA).



Photos 24 et 25 : Vue des écoulements au droit d'une porte à flot partiellement ouvertes dans 2 configurations de débits sortant générant des écoulements très instables ((@ECOGEA).



Photos 26 et 27: Vue des écoulements au droit d'une porte à flot et de clapets ouverts à marée basse dans une configuration de forts débits sortant générant de très fortes vitesses (@FDAAPPMA 33).

Dans le cas des ouvrages à l'intérieur des marais, la franchissabilité n'évolue pas au cours d'une même journée mais au cours des saisons en fonction des débits transitant et donc des modalités de gestion (degré d'ouverture, différentiel de niveaux amont/aval).

Les ouvrages quasi-verticaux gérés par surverse forment, très souvent, une chute avec un jet plongeant. Les poissons ne peuvent la franchir qu'en sautant ce qui limite fortement le nombre d'espèces susceptibles de passer en amont.

- Franchissabilité piscicole – Anguille 25-30 cm
Franchissable sans impact
- Franchissable avec impact limité
- Franchissable avec impact significatif
- Franchissable avec impact majeur
- Infranchissable



Photo 28 : Vue des écoulements en surverse au-dessus d'un vannage.

Les ouvrages gérés en sousverse peuvent être franchissables par les poissons en fonction des conditions de vitesses qui vont dépendre directement de la charge en amont, de la hauteur de l'ouverture et du niveau d'ennoiement en aval. Dans le cas où les écoulements sont dénoyés par l'aval, le franchissement est souvent très difficile.



Photos 29 et 30 : Vues des écoulements en sousverse en dessous de vannages.

Le franchissement des buses et des dalots dépend des conditions hydrauliques en aval (hauteur de chute) mais également à l'intérieur des ouvrages. Les trop faibles tirants d'eau, les vitesses trop élevées associés à des linéaires importants constituent des facteurs pénalisants pour le passage des poissons et des crustacés.



Photo 31 : Vue des écoulements au niveau d'une buse

Même lorsque les ouvrages sont totalement ouverts, la franchissabilité n'est pas toujours assurée. Elle va dépendre, là encore, des pertes de charge qui sont, elles-mêmes, liées aux dimensions de l'ouvrage et au débit qui transite.



Photo 32 : Vue des écoulements au travers d'une vanne totalement ouverte.

Dans de nombreux marais, les passages busés installés sur des franchissements permettant l'accès à des parcelles sont souvent de petits diamètres (<30 cm). Dans ces configurations et au-delà des conditions hydrauliques, ce peut être les conditions de luminosité qui vont constituer un obstacle pour le franchissement à l'exception de l'anguille dont le comportement plutôt lucifuge lui permet de franchir ces dispositifs sans difficulté.

7.6.2.1.3. Les espèces à capacités de reptation

Il s'agit des civelles et des crustacés. Le franchissement des ouvrages réclame la présence de parois légèrement humides. La présence de rugosité est favorable au franchissement. Les difficultés rencontrées par les civelles et les crustacés sont surtout liées à l'intensité des écoulements sur les parois. Dans un suivi de civelles d'anguille du japon, Kume *et al.* (2022) ont montré que des individus pouvaient franchir une paroi verticale quasiment lisse de 1.65 m de hauteur. Le nombre d'anguilles comptabilisé en 4 mois est toutefois resté faible (102 civelles). Il est

également important de rappeler que la reptation des civelles n'est réellement active que pour des températures >15-17°C (Linton *et al.*, 2007). Cela signifie, que pendant la période hivernale et probablement le début du printemps, dans beaucoup de zones côtières, les civelles n'ont pas la capacité à franchir les obstacles en utilisant la reptation. Au stade juvéniles et adultes, les anguilles ont également des capacités d'évoluer sur les berges humides ce qui explique notamment la présence d'anguilles dans des secteur de marais entièrement confinés, aux ouvrages totalement fermés ou dégradés depuis de nombreux mois ou années (Anras comm. pers.).

7.6.2.2. IMPACTS DIRECTS DES OUVRAGES SUR LE FRANCHISSEMENT DES ESPÈCES DE POISSONS ET DE CRUSTACES

7.6.2.2.1. Eléments généraux

Les impacts directs des ouvrages doivent être analysés différemment selon les espèces considérées. Il est en effet indispensable de considérer, en plus de l'impact de l'obstacle sur la migration, le stade de migration et les véritables potentialités d'accueil des marais et lagunes.

Les espèces catadromes comme l'anguille et le flet vont migrer à des stades très précoce en utilisant notamment le transport sélectif tidal. Ces espèces et surtout l'anguille vont trouver des potentialités d'accueil fortes au sein des marais et des lagunes. L'impact des obstacles et notamment du 1^{er} ouvrage à la mer pourra donc être fort pour ces deux espèces. Pour le mulot porc, la situation peut être particulière avec à la fois des migrations chez les jeunes stades utilisant le transport sélectif tidal et un développement en zone de marais mais également des migrations aux stades et subadultes qui vont plutôt rechercher des cours d'eau.

Pour les espèces anadromes qui migrent au stade adulte à la recherche d'habitat de reproduction, les marais et lagunes ne constituent qu'un axe de passage pour atteindre des cours d'eau en amont. Il est donc nécessaire, pour évaluer réellement l'impact des ouvrages de considérer ou non les potentialités existantes en amont pour ces espèces. Or, dans de nombreuses situations sur nos littoraux, les potentialités offertes par des cours d'eau connectés à des marais et des lagunes sont souvent très faibles notamment pour les aloses et la lamproie marine. Les impacts des obstacles seront donc plus limités, même si leur franchissement est difficile.

Pour les espèces marines migratrices comme le bar, la sole ou la daurade, les besoins d'accès aux zones de nourricerie étant très forts, la présence des 1ers ouvrages à la mer aura donc un impact fort sur ces espèces qui recherchent l'accès aux habitats favorables à leur jeune stade de développement.

7.6.2.2.2. Caractérisation des impacts directs

Contrairement aux fleuves et cours d'eau équipés d'ouvrages de franchissement, dans les marais et lagunes, il n'existe pas de dispositifs de comptage des passages de poissons et donc très peu d'études permettant de quantifier les impacts directs des obstacles pour le franchissement. De plus, à l'exception des marquages de civelles par injection d'élastomère, les techniques de marquages des jeunes stades d'espèces marines ou estuariennes sont très peu développées même si des tests récents de micro-pit-tags ont été réalisés sur des larves de bar (Faggion *et al.*, 2020).

En 2013, des suivis réalisés sur l'écluse de Biard dans l'estuaire de la Charente ont permis de comparer les densités de civelles présentes immédiatement en amont de l'ouvrage dans 2 situations différentes (Alric *et al.*, 2013). En situation de portes totalement ouvertes, les flux de civelles par marée ont été estimés à 10.8 kg soit une valeur 154 fois supérieure à celle observée avec l'ouvrage fermé (0.07 kg par marée).

Les suivis basés sur des marquages-recaptures effectués au droit de portes à marée comme ceux de Dekker et Van Willigen, (1997) ont montré que les civelles restaient devant les obstacles pendant plusieurs semaines, malgré les périodes de faible débit. Dans une vaste étude sur le canal de la Mer du Nord aux Pays-Bas, Griffioen *et al.*, (2024) ont marqué 6 460 civelles qui ont ensuite été remises de part et d'autre du barrage régulant l'entrée du canal vers la Mer du Nord ainsi qu'en aval de différents obstacles jalonnant différents tributaires du canal. Si le franchissement des écluses du barrage aval ne semble pas avoir d'impact sur les civelles, en revanche, les taux de franchissement des barrages latéraux et de la porte à flot amont se sont avérés faibles voir nuls dans la majorité des cas avec des temps de blocages dépassant les 10 à 20 jours. Ils ont également montré que la pénétration dans des eaux plus douces se traduisait par une forte diminution des vitesses de migration avec des valeurs inférieures à 2 km/jour contre 3–4 km/jour en Gironde, 3–5 km/jour dans la Sevre Niortaise River (Beaulaton et Castelnau, 2005), > 2 km/jour dans l'estuaire de la Ems (Huisman *et al.*, 2023).

Les suivis utilisant la technique de comptage basé sur les enregistrements de caméra DIDSON ont permis de montrer que les flux de mullets et d'anguilles étaient 2 fois moins importants d'une porte à marée que d'un chenal ouvert dans une zone côtière de Nouvelle-Zélande (Doehring *et al.*, 2011). Un suivi similaire effectué au droit d'une porte à marée équipée d'une fente permettant la pénétration de l'eau en amont dans un marais de Louisiane a permis de constater que les flux de poissons (essentiellement des espèces marines migratrices) étaient inférieurs de 90% à ceux transitant dans un chenal ouvert (Kimball *et al.*, 2015). Cette même étude a montré que les larves et les juvéniles s'accumulaient fortement en aval immédiat de la porte à marée augmentant fortement leur vulnérabilité à la préation. Dans le Massachusetts, des suivis par radiopistage au droit de clapets ont permis de comptabiliser des franchissements d'ales (Alosa pseudoharengus) avec des valeurs variant de 78% en début de saison à 16% en fin de saison (Alcott *et al.*, 2021). La faiblesse des franchissements en fin de saison a surtout été attribuée à un impact de la préation sur les aloses.

Dans une méta-analyse traitant des comparaisons entre systèmes naturels et aménagés aux USA, Raposa et Talley (2012) montrent que les flux de necton (larves de poissons et crustacés) sont très différents entre les marais ouverts et ceux qui sont fermés par des ouvrages. Ce sont notamment les crevettes qui sont les plus affectées.

En dehors de ces études, nous ne disposons que de suivis sur des adultes et subadultes de bars (Stamp *et al.*, 2021 ; Almédia *et al.* 2023) mais ils ne renseignent pas directement sur les impacts des ouvrages vis-à-vis de la colonisation des nurseries par ces espèces.

7.6.2.2.3. Le cas des dispositifs de pompage

Les pompages des eaux des estuaires ou des marais peuvent induire des mortalités de poissons et de crustacés. Les poissons et les crustacés passant par la roue de la pompe peuvent être tués ou blessés par contact physique avec les parties mobiles ou fixes de la machine comme cela est le cas lors de la dévalaison dans des turbines hydroélectriques notamment.

Les impacts dépendront à la fois du ratio des débits pompés par rapport à ceux transitant en aval et bien évidemment des caractéristiques des pompes. Dans une étude comparative entre l'ADN environnemental et les méthodes classiques de capture de poissons (senne, pêche électrique) sur des chenaux de drainage fonctionnement par pompage en Est Anglie (Grande Bretagne) montre que l'anguille est présente *mais* en faible abondance sur la majorité des sites (Griffith *et al.*, 2020). Dans cette même étude, le flet est quasiment absent de l'ensemble des chenaux des marais.

A titre d'exemple, les pompages des eaux du delta du Sacramento et de la rivière San Joaquin en Californie vers le système de réservoirs et de canaux servant à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation ont été jugés comme fortement responsables de la quasi disparition de l'éperlan du Delta, espèce endémique de la zone (Kimmerer, 2008, Larry Walker Associate, 2010).

7.6.3. LES IMPACTS DIRECTS SUR LA DEVALAISON

Les impacts des ouvrages sur la dévalaison des poissons et des crustacés peuvent se traduire par des mortalités directes liées aux blessures générées par le passage au travers de certains dispositifs (turbines, pompes) ou certains ouvrages (clapet, vanne, radier).

7.6.3.1. IMPACTS DES DISPOSITIFS DE POMPAGE

Lors du passage dans les turbines des pompes, les poissons et les crustacés peuvent subir des chocs ou des coupures liés aux pâles. Les risques de mortalités dépendent, comme pour les turbines hydroélectriques, de la vitesse de rotation, du diamètre, du nombre de pâles. La taille des poissons va également jouer un rôle important. Les risques sont beaucoup plus forts pour des anguilles argentées de 50 à 90 cm que pour des civelles. Dans la majorité des situations, les pompages ont plutôt lieu sur d'assez faibles hauteurs. Dans ces situations, les effets autres que la collision, par exemple les changements de pression et le cisaillement, ne sont pas considérés comme un risque majeur pour les poissons (Turnpenny *et al.* 1992). Comme pour les turbines hydroélectriques, les mortalités induites par des systèmes de pompage sur des poissons dévalant sont relativement bien documentés.

Klinge (2006) rapporte des observations sur le passage des poissons dans une station de pompage aux Pays-Bas où tous les poissons de plus de 10 cm passant par les pompes ont été tués. Toujours au Pays-Bas, Wanink *et al.*

(2013) mentionne des mortalités de 27% lors du passage des espèces de poissons holobiotiques (brochet, chevaine, gardon...) dans une pompe. Dans une étude comparative de 2 types de pompes, Bolland *et al.* (2018) indiquent que toutes les anguilles argentées dévalantes au travers d'une pompe de 2.2 m de diamètre tournant à 100 trs/min. survivent avec toutefois des blessures pour 97% d'entre elles mais que 65% de celles dévalent dans une pompe de 0.8 m de diamètre tournant à 400 trs/min. meurent.

Buyssse *et al.* (2014) ont comparé des mortalités d'anguilles dévalantes (37-95 cm) entre des vis d'Archimède et une turbine à hélice. Les taux de mortalité ont varié de $97 \pm 5\%$ pour la pompe à hélice à $17 \pm 7\%$ pour la grande pompe à vis d'Archimède et $19 \pm 11\%$ pour la petite pompe à vis d'Archimède.

7.6.3.2. IMPACTS DES OUVRAGES (SEUILS, VANNES, PORTES A MAREE)

Les impacts directs des ouvrages sur la dévalaison des poissons et des crustacés sont assez peu documentés. Wrigth *et al.* (2014 et 2015) a suivi la dévalaison de truites de mer et d'anguilles au travers des portes à marée. Peu d'impact ont été observés si ce n'est des retards avec des attentes lorsque les portes étaient fermées.

Bice *et al.* (2018) montrent que 30% des poissons d'une espèce de migrateur catadrome sont restés bloquée en amont de portes à marée dans des conditions de faible hydrologie dans la rivière Murray en Australie.

Il convient toutefois de rester vigilant vis-à-vis des conditions d'écoulement notamment avec des vannages fonctionnant en sousverse. En effet, dans ce type de configuration, il est possible d'observer des effets de cisaillements associés à de fortes vitesses susceptibles de provoquer des blessures aux poissons et aux crustacés, notamment aux juvéniles. Ces risques s'aggravent notamment lorsque l'eau s'écoule avec un faible tirant et de fortes vitesses directement sur un radier en béton rugueux ou dans des cas de très fortes turbulences susceptibles de créer des sursaturations gazeuses (Cox *et al.*, 2023). Pflugrath *et al.* (2019) montrent que le passage en surverse d'un vannage est beaucoup moins risqué, notamment pour des juvéniles de poissons que le passage en sousverse. Marttin et Degraaf (2002) ont également montré que la mortalité de larves de poissons était de 41% lors du passage en sousverse d'une vanne et de 11% lors du passage en surverse. Les caractéristiques précises des vannes ne sont malheureusement pas fournies.

7.7. LES IMPACTS INDIRECTS SUR LE FONCTIONNEMENT DES POPULATIONS

L'augmentation des densités de poissons en aval immédiat des ouvrages qui résulte des difficultés de franchissement peut avoir des impacts forts sur la dynamique des populations. Ces impacts sont liés à des surmortalités induisent par des effets de densité-dépendance, de compétition intra et inter-spécifique, de prédatations et d'impossibilité à fuir des conditions environnementales et notamment physico-chimiques défavorables. Ces impacts ont des incidences sur la dynamique des populations et l'état des stocks des espèces.

7.7.1. MORTALITES DENSITE-DEPENDANTES, PAR PREDATION ET IMPACTS DE LA QUALITE DES EAUX.

Chez l'anguille, le blocage de la migration se traduit très souvent par une augmentation de la compétition intra-spécifique qui conduit à une baisse de la survie (Bevacqua *et al.*, 2015 ; Vøllestad & Jonsson, 1988) et une réduction du taux de croissance ou du coefficient de condition (Graynoth & Taylor 2000, 2004 ; Beentjes & Jellyman 2003, Matchut *et al.*, 2007).

Les accumulations en aval des obstacles augmentent également l'impact de la prédatation au sein même de l'espèce (Domingos *et al.*, 2006) mais également par d'autres prédateurs notamment le grand cormoran (MacDonald 1987; Carss & Ekins 2002) et le silure glane, même si, pour cette dernière espèce, les analyses des contenus stomachaux montrent une faible proportion d'anguilles (<10%) (Wysujack et Mehner, 2005; Gaultier *et al.*, 2006 ; Martino *et al.*, 2011 ; Boulêtreau *et al.*, 2021) ou des mammifères marins (Bendall et Moore, 2008). Le blocage partiel ou temporaire des anguilles en aval d'un ou plusieurs ouvrages en limitant l'accès aux habitats des zones amont peut modifier le sex-ratio de la population et réduire la production de femelles au profit des mâles (Davey et Jellyman, 2016). Aux USA, un suivi sur l'aloise a montré que les accumulations en aval de portes à marée favorisaient la prédatation par la bar rayé. L'analyse des contenus stomachaux de cette espèce ont révélé la présence dans 53% des cas d'aloise pendant la période de migration de celle-ci (Alcott *et al.*, 2021).

Le blocage des migrations et les accumulations de poissons peuvent également contraindre les poissons et les crustacés à évoluer dans des conditions physico-chimiques défavorables. C'est le cas par exemple pour des espèces holobiotiques habituées des eaux douces, qui lors d'événements hydrologiques particuliers (des crues), peuvent être amenés à dévaler vers les parties aval des estuaires (Whitfield, 2015). Dans une étude sur l'estuaire du Rhin où 1000 à 2000 kg de poissons d'eau douce peuvent dévaler par jour, un chiffre pouvant atteindre 10 000 kg lorsque le débit est élevé (Kemper 1997), Bréve *et al.* (2018) ont montré que des sandres cherchaient systématiquement à remonter vers des eaux moins salées mais que la présence des ouvrages pénalisait fortement cette remontée. Dans ces configurations qui peuvent également concernées des espèces comme le gardon, la brême ou la perche commune (Backx 1987), la présence de dispositifs de franchissement était indispensable.

De la même façon, la fermeture souvent complète des ouvrages en périodes de faible hydrologie va contraindre les poissons et les crustacés à se maintenir dans les marais dans des conditions de température et d'oxygène parfois très défavorables. Des mortalités peuvent être observées dans ces conditions dégradées (Bice *et al.*, 2023)

7.7.2. IMPACTS SUR LES ABONDANCES DES ESPECES

Les impacts indirects des ouvrages ont des incidences sur la dynamique des populations et sur l'abondance des stocks. Des études comparatives de peuplement entre des milieux ouverts et des milieux aménagés permettent d'appréhender ces impacts.

Toutes ces études montrent un fort appauvrissement des communautés de poissons en amont des systèmes isolés par des obstacles par rapport aux systèmes sans obstacle (Pollard et Hannan, 1994 ; Kroon et Ansell, 2006, Scott *et al.*, 2016). Très souvent, les abondances sont fortement réduites avec même parfois une absence totale de certaines espèces marines migratrices en amont des obstacles.

Moreno-Valcárcel *et al.* (2016) ont montré dans une étude comparative de marais ouverts et aménagés dans la zone estuarienne du Golf de Cadiz que les bars, les daurades et les soles étaient absents dans le marais équipé de portes à marée et les abondances d'athéries étaient significativement inférieures dans les zones aménagées par rapport aux habitats ouverts. Les auteurs indiquent que cette situation est liée à la fois à la présence d'un obstacle mais également aux changements hydrodynamiques, aux réductions de la salinité et aux modifications profondes des habitats. La comparaison des peuplements piscicoles de marais au sein de 6 estuaires européens montre aussi clairement que les espèces marines migratrices sont très peu représentées en amont des ouvrages à marée dans l'estuaire de la Loire (Mathieson *et al.*, 2000). Ces résultats sont également observés au sein de la zone humide côtière de l'Elkhorn Slough en Californie où la richesse en espèces marines migratrices est nettement supérieure dans les habitats ouverts que dans les marais endigués et régulés par des ouvrages (Ritter *et al.*, 2008).

Les espèces marines migratrices et les crustacés semblent donc être très pénalisées par la présence des ouvrages et l'aménagement des marais. Les différences très marquées de part et d'autre des 1^{ers} ouvrages à la mer sont la résultante à la fois de l'impact direct des obstacles sur la migration mais également de l'impact des modifications des habitats et de la physico-chimie des eaux.

Pour les migrants amphihalins, la présence des obstacles constitue bien évidemment un élément clé pour l'état des stocks. Pour autant, dans le cas des marais, il est très important de tenir compte des potentialités d'accueil de ces milieux (cas de l'anguille) mais surtout des cours d'eau amont pour des espèces qui ne vont utiliser les marais que comme un axe de passage (cas des alosose et des lampreys).

La majorité des études disponibles sur une espèce typiquement estuarienne comme l'épinoche semblent montrer que l'espèce se développe de manière assez similaire entre des zones tidales d'estuaire et des marais endigués salés (Lechêne, 2017). De même, Scott *et al.* (2016) ne mettent pas en évidence d'effet des obstacles sur les abondances de cette espèce dans les marais de l'estuaire de la Fraser au Canada.

Chez les holobiotiques, les impacts des ouvrages sur la dynamique des populations sont essentiellement documentés chez le brochet. Pauwels *et al.* (2016) indiquent que les ouvrages qui bloquent les accès aux habitats latéraux (affluents, zones humides) impactent fortement la population de brochet en réduisant la disponibilité des zones de frayères. Pour cette espèce, il est indispensable d'ajouter aux impacts des ouvrages, ceux liés directement à la gestion des niveaux d'eau et notamment à la réduction des débordements. La faiblesse des ennoiements hivernaux d'habitats latéraux et notamment de zones de prairie est un facteur qui impacte

fortement le recrutement des juvéniles de cette espèce (Nilsson et al., 2004). Les processus de blanchiments en hiver des marais normands (inondation complète et relativement continue sur plusieurs semaines), par exemple, constituent des modalités de gestion très favorables à la reproduction du brochet. Nilsson *et al.* (2014) indiquent que la production de juvéniles de brochet est passée de quelques milliers à plusieurs centaines de milliers au sein de zones humides de la Mer Baltique dont l'inondabilité avait été restaurée. A l'opposé, la faiblesse d'inondation d'une zone humide latérale comme celle de Morusson dans le Marais Poitevin au cours d'une année à très faible pluviométrie comme en 2022 a conduit à l'absence de reproduction de l'espèce (Bouron, 2022).



Ce qu'il faut retenir : Les ouvrages implantés dans les marais littoraux ont des impacts sur les poissons et les crustacés. On distingue les impacts directs générés par les difficultés voire les impossibilités de franchissement des ouvrages. Les 1^{ers} ouvrages à la mer ont des impacts très forts pour toutes les espèces migrant lors du flot (utilisation le transport tidal sélectif pour leur montaison (anguilles, flets, larves de crustacés, de bars ou de soles)). Pour celles dont les capacités de nage sont plus importantes (notamment les migrants amphihalins anadromes (aloises, lamproies)), le franchissement lors du jusant (portes ou clapets ouverts) dépendra directement de la configuration de l'ouvrage et des conditions hydrauliques. A l'intérieur des marais, la majorité des ouvrages vont constituer des barrières à la migration et aux déplacements saisonniers. Beaucoup de configurations d'écoulement sont peu favorables au franchissement des espèces. En dévalaison, ce sont surtout les dispositifs de pompage qui sont à l'origine de fortes mortalités. Les autres obstacles provoquent surtout des retards à la migration.

Ces difficultés de franchissement vont générer des accumulations de poissons et de crustacés en aval des obstacles avec une augmentation des mortalités (compétition, prédatation, impact de la qualité de l'eau). Elles vont également conduire à une réduction des surfaces disponibles pour le développement des espèces notamment une réduction des zones refuge. Elles viendront s'ajouter aux impacts liés directement aux aménagements des marais qui ont modifié la morphologique, l'hydraulique, les habitats et la qualité des eaux de ces territoires.

L'ensemble de ces impacts a des incidences fortes sur la dynamique des populations et sur l'état des stocks. Dans de nombreuses situations, les peuplements piscicoles des marais aménagés sont très différents des habitats ouverts des systèmes estuariens et des baies. Les espèces marines migratrices et les crustacés sont celles qui sont les plus impactées.

7.8. BILAN DES IMPACTS DES OUVRAGES DANS LES MARAIS LITTORAUX

Les ouvrages, éléments essentiels du fonctionnement des marais aménagés, ont des impacts sur leur fonctionnement hydraulique et sédimentaire, la diversité des habitats et la qualité physico-chimique des eaux. Ces impacts se traduisent par :

- Un effet barrière que ce soit sur les flux d'eau, de sédiments et les flux biologiques,
- Un effet sur les niveaux d'eau, les habitats et les conditions physico-chimiques.

Il existe de nombreuses interactions entre ces deux catégories d'impacts. Les modifications des conditions hydrauliques par exemple ont de fortes incidences sur les comportements migratoires de beaucoup d'espèces, incidences qui viennent s'ajouter à l'effet obstacle des ouvrages.

Lorsque l'on analyse la situation des communautés biologiques, il est donc très difficile d'identifier et surtout de hiérarchiser les différentes altérations liées à ces ouvrages. Les réponses des communautés biologiques vont dépendre, à la fois, des possibilités de migration et de déplacement mais également des potentialités d'accueil. Chacune sera directement liée aux ouvrages, à leurs caractéristiques et à leur mode de gestion.

Les diagnostics à conduire dans les territoires avant d'envisager une stratégie d'actions vis-à-vis de la continuité écologique doivent donc s'attacher à caractériser au mieux ces deux aspects (migration et potentialité d'accueil) et leurs relations aux ouvrages.

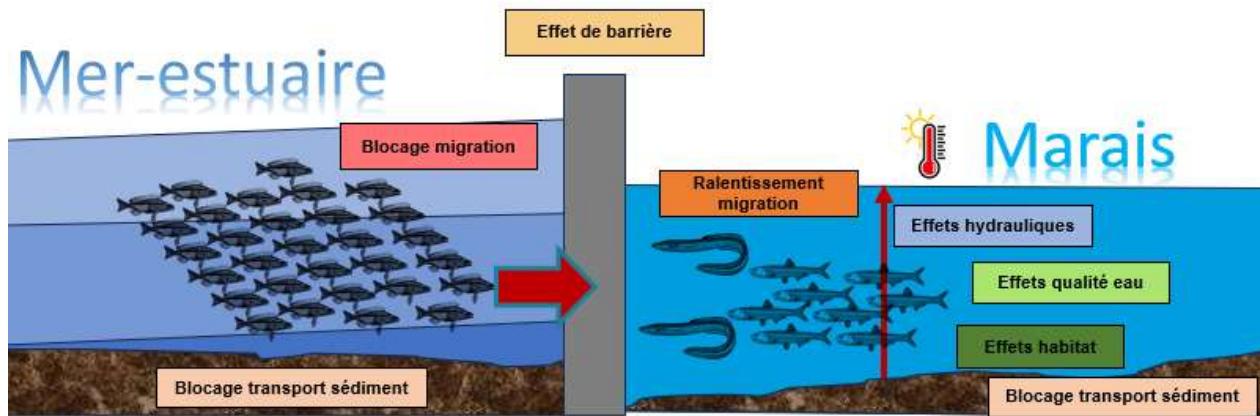


Figure 88 : Schéma synthèse des impacts des obstacles.

8. LES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR LA CONTINUITÉ ECOLOGIQUE

8.1. ATTENUATION DES IMPACTS VS RESTAURATION

Avant de présenter les solutions techniques propres à la « restauration » de la continuité écologique dans les zones côtières, estuariennes et au sein des marais, il convient de bien repréciser deux notions importantes :

- L'atténuation des impacts des ouvrages,
- La restauration de la continuité écologique.

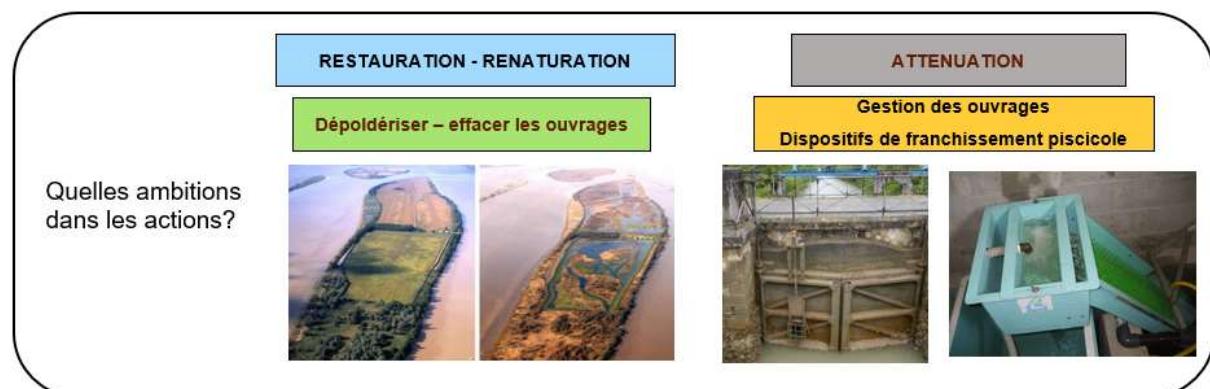
En effet, si l'on considère l'ensemble des composantes de la continuité écologique (flux hydrique, sédimentaire et biologique), seul l'effacement des ouvrages transversaux constitue une mesure de restauration complète de la continuité écologique. En effet, cet effacement constitue la seule garantie de suppression de l'ensemble des impacts tant ceux propres à l'obstacle que ceux inhérents aux modifications d'habitat qu'ils engendrent.

Lorsque les ouvrages doivent être conservés, il reste possible d'atténuer les impacts par des mesures correctives qui peuvent porter sur :

- Les modalités de gestion des aménagements (ouverture des vannes, des clapets ou des portes à marée),
- L'implantation de dispositifs fixes assurant des flux d'eau,
- La construction d'ouvrages de franchissement pour la montaison et la dévalaison de certaines espèces ;
- La conception de certains organes du génie civil ou l'installation de dispositifs répulsifs limitant l'entraînement des espèces,

La mise en œuvre de ces mesures dépend très directement des objectifs fixés et du choix des cibles biologiques sur lesquelles les efforts doivent porter. En effet, le dimensionnement d'une gestion d'ouvrages, de dispositifs de franchissement ou d'évitement dépend beaucoup des espèces concernées.

Dans toutes les démarches visant à améliorer les conditions de libre circulation des espèces, il est indispensable, en amont de traiter la question de la restauration ou de l'atténuation des impacts. **Si l'on considère les 1^{ers} ouvrages à la mer, il n'est pas opérationnel ni même pertinent d'envisager les solutions de restauration basées sur l'effacement des ouvrages comme un simple scénario au même titre que les différents dispositifs d'atténuation des impacts (passes à poissons, vantelle sur porte à flot...).** La possibilité de conduire une restauration de la continuité écologique au niveau de ces 1^{ers} ouvrages doit être traitée dès l'amont des études par un travail spécifique qui repose essentiellement sur une analyse fine des contraintes d'usages et d'occupation des territoires dans une perspective de changement climatique et d'augmentation des risques de submersion. Si cette analyse conduit à considérer que les contraintes d'usages des marais sont trop importantes pour envisager un effacement, le travail sur le choix et le dimensionnement des solutions d'atténuation peut être engagé.



8.2. DEMARCHE POUR LE CHOIX ET LE DIMENSIONNEMENT DES SOLUTIONS TECHNIQUES

8.2.1. INSERER LA DEMARCHE DANS LES PLANS DE GESTION

La mise en œuvre de solutions techniques permettant de restaurer la libre circulation des espèces de poissons et de crustacés dans les marais littoraux doit être intégrée dans les outils de planification et de gestion des territoires à savoir les Plans Pluriannuels de Gestion et/ou les SAGE. C'est au sein de ces politiques territoriales que doivent être inscrites les actions traitant de la continuité écologique. En effet, comme nous allons le voir, la mise en œuvre de solutions techniques doit s'appuyer sur des diagnostics qui sont également les outils de base des PPG et des SAGE. Elles nécessitent également des partenariats permettant la mobilisation de moyens financiers qui sont largement facilités dans les outils de planification. De plus, les actions en faveur de la continuité écologique doivent être conduites en cohérence avec l'ensemble des mesures de gestion et de restauration menées sur le territoire. Enfin, des dispositions réglementaires sont nécessaires afin d'assurer le bon fonctionnement des solutions techniques et leur entretien.

8.2.2. LE PHASAGE DE LA DEMARCHE

La mise en œuvre de solutions techniques pour restaurer la continuité écologique ou atténuer les impacts des ouvrages sur la libre circulation des poissons et des crustacés nécessite de conduire un travail en plusieurs phases des diagnostics à la conception des projets.

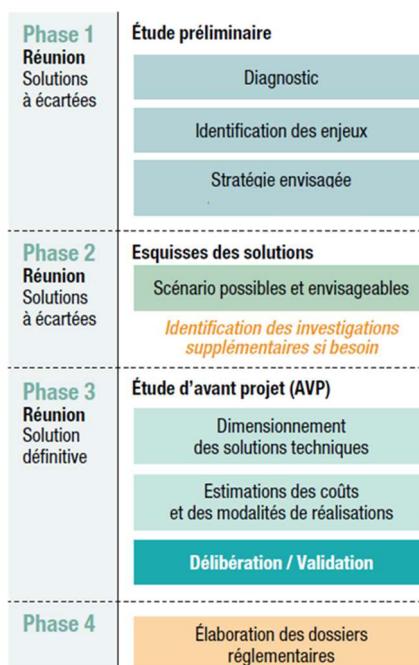


Figure 89 : Présentation du phasage des études à mettre en œuvre pour les projets de restauration de la continuité écologique ou d'atténuation des impacts des ouvrages (in Agence de l'Eau Adour-Garonne, 2023. Bilan de la Politique de Restauration de la Continuité Écologique sur le Bassin Adour-Garonne : 2013-2020).

L'ensemble de la démarche doit être intégrée dans une approche concertée avec les acteurs du territoire qui doivent valider les choix élaborés à chacune des phases. Des structures de type comité de pilotage et comité technique constituent des instances indispensables à la concertation et au dialogue.

8.2.3. LE CHOIX DU TERRITOIRE D'ACTIONS

Cette démarche doit être mise en œuvre à une échelle territoriale adaptée. Dans le cas des marais littoraux, elle ne peut être envisagée au niveau d'un seul ouvrage. Elle doit concerner des entités territoriales cohérentes à la fois au niveau des enjeux pour les espèces et en termes de gestion. La définition de ces entités peut être incluse dans la phase 1 de diagnostic ou avoir fait l'objet d'un travail préalable. Le diagnostic initial doit également permettre de prioriser les actions sur le territoire. Cette priorisation est importante dans les marais notamment

au niveau de l'identification des points d'entrée du marais et des principaux axes de migration des poissons pour accéder aux habitats à plus forts potentiels. La multiplicité des ouvrages dans de nombreux marais ne permet pas, en effet, d'envisager des solutions pour chacun d'entre eux.

8.2.4. PHASE 1 : DIAGNOSTIC TERRITORIAL

La phase 1 est une étape importante dans la démarche. Elle doit s'appuyer sur les diagnostics territoriaux réalisés dans le cadre des PPG et/ou des SAGE. Elle doit aborder toutes les composantes du territoire afin d'identifier les enjeux écologiques, les contraintes d'usages et les potentialités d'accueil. La caractérisation des enjeux écologiques et des espèces cibles est une étape très importante car elle va conditionner l'ensemble des choix techniques qui seront ensuite mis en œuvre. En effet, il est essentiel de rappeler que la mise en œuvre de mesures d'atténuation basées sur la gestion des ouvrages ou la construction de dispositifs de franchissement piscicole s'appuie toujours sur un compromis. Il n'existe aucune solution susceptible de permettre le franchissement de toutes les espèces et surtout de toutes les tailles de poissons et/ou de crustacés. Par exemple, les dispositifs permettant d'assurer le franchissement de la grande alose sont en effet très différents de ceux dédiés aux petites anguilles.



Photos 33 et 34 : Illustrations de 2 passes à poissons, l'une dimensionnée pour le passage des alooses sur le Rhin (a) et l'autre spécifiquement pour celui des civelles et des anguillettes (b) (@ A. Scharbert et Observatoire du Patrimoine Naturel du Marais Poitevin).

De même, la connaissance des usages, notamment ceux relatifs à la ressource en eau vont permettre d'identifier les débits qui peuvent être dédiés aux ouvrages de franchissement dans le respect de leur fonctionnalité. La mise en œuvre des dispositifs de franchissement piscicole réclame des débits significatifs afin d'assurer une bonne attractivité et un bon fonctionnement hydraulique. La faiblesse des débits sur certains territoires à certaines saisons de migration (printemps-début d'été pour les anguillettes par exemple) peut constituer un facteur de non fonctionnalité des passes à poissons.

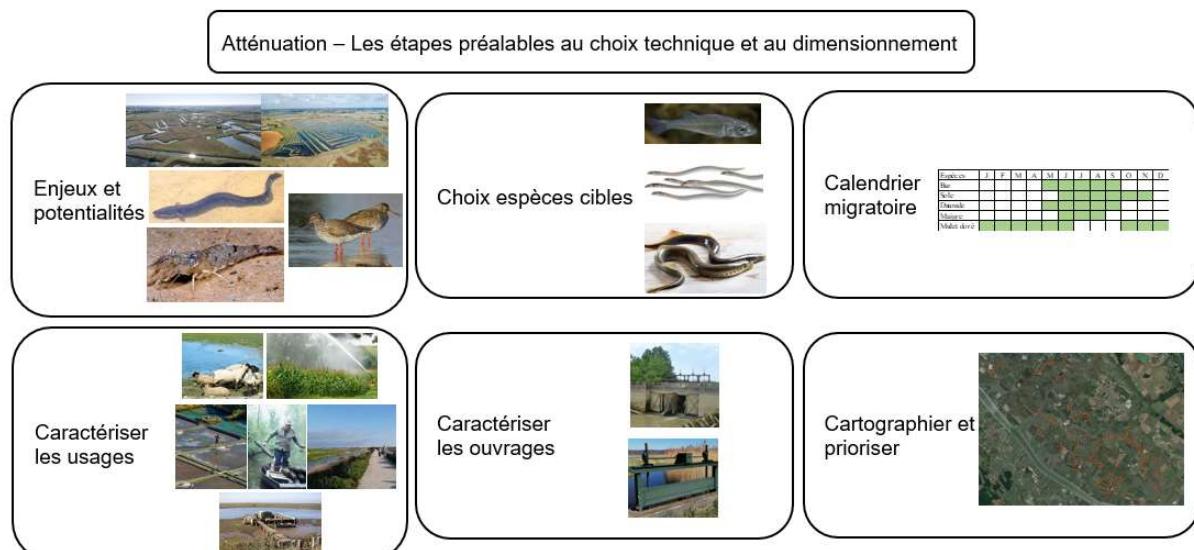


Figure 90 : Schéma présentant les différentes composantes de la démarche préalable aux choix et au dimensionnement de solutions pour l'atténuation des impacts des ouvrages sur la libre circulation des espèces.



Enjeu du choix des espèces pour l'équipement des 1^{ers} ouvrages à la mer

Le choix des espèces cibles est une étape indispensable dans un projet d'équipement d'un ouvrage pour la libre circulation des poissons. En ce qui concerne les 1^{ers} ouvrages à la mer, ce choix est encore plus crucial pour définir les modalités d'équipement et de gestion. Il est en effet indispensable d'identifier et de bien séparer les enjeux de migration des espèces utilisant le flot (migration par le transport tidal sélectif (civelle, flet...)) de ceux des espèces utilisant essentiellement le jusant (lamproie marine, aloses...). Dans un suivi sur une porte à marée au Canada, Spares et al. (2022) ont montré que 77% des gaspareaux (*Alosa pseudoharengus*) franchissaient l'ouvrage lors de la marée descendante. A l'opposé, dans des suivis sur l'écluse de Biard et les portes à marée de Charras dans l'estuaire de la Charente, 90% des civelles franchissaient l'obstacle juste avant la fin du flot (Lamarque et al., 2012)

8.2.5. PHASE 2 : ESQUISSES DES DIFFERENTS SCENARIOS

La phase 2 est une phase de construction de différents scénarios d'aménagement des ouvrages du territoire. Elle doit proposer à la fois la stratégie d'équipement au sein du territoire (notamment la priorisation), les 1^{ers} éléments de dimensionnement et une évaluation des coûts.

Au cours de cette phase, même si les solutions techniques sont en phase d'esquisse, elles doivent malgré tout s'appuyer sur des données faibles et validées notamment en termes de niveaux d'eau qui constituent l'élément essentiel du dimensionnement hydraulique des dispositifs ou des modalités de gestion des ouvrages.

A l'issue de cette phase, les choix techniques doivent être validés pour que soit ensuite engagé la phase projet.



Connaissance précise des niveaux d'eau dans les différents compartiments du marais

Les niveaux d'eau dans les marais sont des éléments clés du fonctionnement de ces écosystèmes. Leur connaissance fine est indispensable à la gestion mais également au choix et au dimensionnement de solutions techniques pour le franchissement des ouvrages. Les outils de suivi peuvent être basés sur des relevés ponctuels d'échelles limnimétriques et/ou de sondes enregistreuses de pression. Il peut être pertinent de compléter les suivis par des relevés de pluviométrie. Ces suivis doivent être accompagnées par un relevé des modalités de gestion des ouvrages (ouverture des vannes, des clapets...) afin d'établir les relations entre les niveaux d'eau, le contexte climatique et les modalités de gestion des ouvrages. Comme indiqué dans le chapitre 3.3.2., la connaissance des niveaux d'eau permet de calculer les débits transitant dans les ouvrages et par voie de conséquence les vitesses d'écoulement.



Pour plus d'informations sur les modalités techniques de suivis hydrologiques et niveau d'eau en marais :
Forum des marais Atlantique, 2003. Trame méthodologique pour la mise en place de suivis hydrologiques en marais. Cahier Technique, 50p.

8.2.6. PHASES 3 ET 4 : PROJET

Cette phase vise à dimensionner avec précision les solutions techniques de franchissement piscicole. Elle doit décrire également les travaux à réaliser et préparer les dossiers réglementaires. Elle prépare également les différents documents nécessaires aux appels d'offre pour les travaux (Dossier de Consultation des Entreprises).

8.3. LES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR L'ATTENUATION DES IMPACTS SUR LA LIBRE CIRCULATION DES ESPECES



Ouvrages de référence sur les solutions techniques

- Larinier et al., 1994. Passes à poissons, expertise, conception des ouvrages de franchissement. Collection Mise au Point CSP, 335p.
- Larinier M., Courret D., Gomes P., 2006. Guide technique pour la conception des passes naturelles. Rapport GHAPPE RA.06.05-V1.
- Baran P., 2010. Atténuer l'impact des ouvrages transversaux sur les cours d'eau. Solutions techniques pour la montaison et la dévalaison. TSM numéro 10
- Cellule Migrateurs EPTB Charentes-Seudre, 2011 : Guide technique sur la continuité écologique, la restauration de la libre circulation des poissons migrateurs sur les bassins de Charente et Seudre.
- Baran P., Basilico L., 2012, Plan de sauvegarde de l'Anguille. Quelles solutions pour optimiser la conception et la gestion des ouvrages ? Séminaire du programme R&D Anguilles- Ouvrages 28 et 29 novembre 2011, Paris., Les rencontres de l'ONEMA. Synthèse., 156p.
- Clermont et al., 2012 : Guide technique d'aide aux gestionnaires et propriétaires d'ouvrages hydrauliques. LOGRAMI, 46p.
- Roul et al., 2013. Restauration de la continuité écologique sur les ouvrages soumis à marée. Information à collecter pour la prise en compte des poissons migrateurs dans la gestion des ouvrages estuariens. Tableau de bord Anguille LOGRAMI, 38 p.
- Baudoin et al., 2014. Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes. Onema. 200 p.
- Rigaud C., 2015 : Continuité biologique et Ouvrages soumis à marée Le cas de l'anguille européenne Les éléments importants pour évaluer et agir. Synthèse de l'atelier thématique du GRISAM, 66p.
- ARRAA, 2015. Continuité biologique. Les aménagements pour le franchissement piscicole. Actes des journées techniques
- Smith et al., 2020. A decision framework to analyze tide-gate options for restoration of the Herring River Estuary, Massachusetts : U.S. Geological Survey Open-File Report 2019-1115, 42 p.

8.3.1.1. LES SOLUTIONS FONDEES SUR LA GESTION DES OUVRAGES

Il faut distinguer deux catégories d'ouvrages :

- Les 1^{er} ouvrages à la mer soumis à la marée,
- Les ouvrages à l'intérieur des marais.

8.3.1.1.1. La gestion des 1^{ers} ouvrages à la mer

- La gestion dédiée aux espèces utilisant le transport tidal sélectif.

Pour les espèces qui migrent en utilisant le cycle des marées, les principes de gestion des 1^{ers} ouvrages à la mer sont basés sur la nécessité d'assurer la pénétration en amont d'un volume d'eau venant de l'aval et ce au moment du flot.

Avant de dimensionner une solution technique assurant le passage de ce volume d'eau, il est indispensable de bien identifier préalablement, en plus des éléments issus du diagnostic initial :

- Le contexte physico-chimique et notamment la salinité de part et d'autre de l'ouvrage,
- Le contexte sédimentaire et notamment la situation en termes de matières en suspension et sédimentation dans le marais.

En termes de salinité, trois situations sont à distinguer (Baran et Basilico, 2012) :

- Les ouvrages desservant des zones salées en amont : les admissions peuvent avoir lieu toute l'année, les risques de débordement constituant la seule contrainte éventuelle ;
- Les ouvrages en sortie de zones gérées en eau douce mais avec des salinités significatives en aval : les admissions d'eau peuvent générer des risques physico-chimiques ;
- Les ouvrages soumis à marée situés plus en amont : la faible salinité de l'eau de part et d'autre des obstacles permet le plus souvent des admissions régulières au moins jusqu'au début de l'été.

Il existe globalement 2 stratégies distinctes pour la gestion de ces ouvrages.



Figure 91 : Présentations des 2 stratégies de gestion des 1^{ers} ouvrages à la mer pour permettre la libre circulation des espèces migrant en utilisant le transport tidal sélectif.

Le choix entre l'une ou l'autre des stratégies reposent plus sur des impératifs de gestion que sur l'efficacité biologique. En effet, même si une ouverture totale d'un ouvrage lors d'une marée peut permettre des passages très importants de poissons (voir exemple de l'écluse de Biard dans l'estuaire de la Charente), cette stratégie pose pas mal de difficultés dans de nombreux contextes qui peuvent grandement limiter son efficacité. Dans des contextes où les enjeux migratoires portent sur plusieurs espèces, une stratégie visant à faire pénétrer régulièrement des volumes d'eau, même limités, reste plus pertinente.



Ouverture totale vs ouverture partielle des 1^{ers} ouvrages à la mer : incidences sur les civelles

Les études conduites sur l'écluse de Biard dans l'estuaire de la Charente ont montré que les flux de civelles étaient de 10.8 kg/marée lorsque l'ouvrage était complètement ouvert contre 0.8 kg/marée lorsqu'une vantelle assurait l'admission d'eau en amont (Alric et al., 2013 ; Rigaud et al., 2014). Ce très fort différentiel peut insister à privilégier une solution d'ouverture totale par rapport à des dispositifs n'assurant qu'une ouverture très partielle (vantelle, cales, retardateurs de fermeture...). La difficulté repose sur le nombre d'ouvertures totales possibles sur un ouvrage. Bien souvent, ce nombre reste limité pour des raisons d'acceptation de volume d'eau de mer en amont (risques de débordement, d'impact de la salinité ou d'apport de matière en suspension). De plus cette stratégie réclame une bonne connaissance de la dynamique des flux de civelles afin d'organiser les ouvertures lors de plus forts pics d'abondance. Or, l'anticipation de ces pics d'abondance n'est pas forcément simple. La dynamique de colonisation des civelles dépend de nombreux paramètres (saison, coefficients de marée, débits fluviaux, température...) qui peuvent faire énormément varier les abondances. Pour l'instant, il n'existe pas, à l'inverse de la dévalaison des anguilles argentées, d'outil prédictif des pics d'abondance permettant de caler des ouvertures de portes ou de vannes.

✓ *Les différentes solutions techniques pour les 1^{ers} ouvrages à la mer*

Il existe plusieurs types de solutions techniques concernant les ouvrages à la mer pour assurer l'entrée d'un volume d'eau vers l'amont lors des marées montantes.



Les vantelles

Description du dispositif : Il s'agit de petites vannes installées au sein des portes à flot et qui permettent de laisser entrer un volume d'eau déterminé à chaque marée. Elles peuvent être manœuvrables manuellement

Illustrations :



Photos 35, 36 et 37 : Exemples de vantelles implantées sur des portes à flot.

Dimensionnements et caractéristiques :

Le nombre, les dimensions et la profondeur d'implantation dépendent surtout :

- Des volumes d'eau acceptables* en amont, qui eux-mêmes peuvent être contrôlés par la tolérance à la salinité et aux matières en suspension en amont. Les calculs de volumes d'eau peuvent être réalisés en utilisant des formules hydrauliques propres aux orifices noyés, aux fentes verticales ou aux échancrements selon le fonctionnement hydraulique du dispositif. Contrairement à des situations en écoulement stationnaire (stabilité des conditions de débits), les calculs hydrauliques doivent intégrer les variations de hauteurs d'eau en aval (effet de la marée) et en amont (effet du stockage des eaux du marais).
- Des comportements des espèces cibles (période de migration au cours du flot, évolution dans la lame d'eau (surface, fond...)). De manière générale, il est préférable de disposer d'une ouverture qui couvre la quasi-totalité de la hauteur de la porte à flot permettant le passage des poissons et des crustacés dès le début du flot. Pour les sites où les enjeux se concentrent sur les civelles, il est possible de positionner la vantelle plus en hauteur, le pic d'abondance se présentant entre 1 à 2 heures avant la pleine mer.



Dispositif pérenne et gérable facilement. Coût réduit. N'impacte pas la structure des portes



Pour des dispositifs de petites dimensions, un risque de bouchage par des débris végétaux et/ou des déchets mais également des risques de piégeage de poissons et/ou de blessures. Facilitation pour des actes de braconnage avec installation de piège sur la vantelle.

*La notion «d'acceptable» est capitale, dans la négociation concertée d'un règlement de gestion d'un ou plusieurs ouvrages en marais doux. En effet, selon les volumes entrants pour favoriser l'entrée des migrants les activités amont dans le marais peuvent être exposées à des risques d'inondation indésirables à des moments clefs (semis, levées de céréales d'hiver, prairies inondables qui ne doivent pas récupérer de sel). De fait, 1000 m³ par marées sont évacuable au jusant suivant, pas forcément 10 000 m³. Ce cumul de volume entre plusieurs marées consécutives peut contrarier les capacités d'évacuation d'excédent d'impluvium pour les usages précités.



Les cales

Description du dispositif : Il s'agit en général de cales en bois fixées contre les supports des portes à flot et qui assurent le maintien d'une ouverture.

Illustrations :



Photos 38 et 39 : Exemples de cales implantées sur des portes à flot (@MIGADO).

Dimensionnements et caractéristiques :

Les dimensions dépendent des volumes d'eau acceptables en amont, qui eux-mêmes peuvent être contrôlés par la tolérance à la salinité et aux matières en suspension en amont. Les calculs de volumes d'eau peuvent être réalisés en utilisant des formules hydrauliques propres aux fentes verticales (Cassan et al., 2018) intégrant l'instationnarité des niveaux d'eau de part et d'autre.

- Dispositif pérenne. Coût réduit. Entrée de l'eau sur toute la durée du flot donc bien adapter à différent comportement migratoire.
- Dimensions limitées pour les cales avec risques potentiels pour la structure des portes (risques de déformation). Risques de bouchage par des déchets ou des débits végétaux ainsi que de piégeage et blessures des poissons en cas d'ouverture limitée.



Les retardateurs de fermeture (« Fish Friendly tidal Gates »)

Description du dispositif : Il s'agit de dispositifs mécaniques installés sur des portes à flot ou des clapets et qui visent à ralentir la fermeture des ouvrages lors du flot. Il peut s'agir de flotteurs, de câbles ou de raidisseurs.

Illustrations :



Photos 40, 41, 42 et 43 : Exemples de dispositifs retardateurs de fermeture implantées sur des portes à flot et des clapets (@Water Research Laboratory, UNSW Sydney ; SSA Environmental ; MIGADO).

Dimensionnements et caractéristiques :

Le réglage des dispositifs (durée d'ouverture pendant le flot) dépend des volumes d'eau acceptables en amont, qui eux-mêmes peuvent être contrôlés par la tolérance à la salinité et aux matières en suspension en amont. Les formules hydrauliques à utiliser sont plus complexes que dans le cas des vantelles ou des cales puisque le degré d'ouverture va varier au cours du temps mais surtout la forme des ouvertures ne peut être assimilée à des orifices ou des fentes.

- Dispositif pérenne à gestion automatisé.
- Fonctionnement basé sur des mécanismes qui peuvent être endommagés lors de tempêtes ou perdre en fonctionnalité au cours du temps. Il nécessite une surveillance accrue. Le coût peut être assez élevé

Il est également possible de coupler plusieurs dispositifs avec notamment des vantelles et des retardateurs de fermeture.

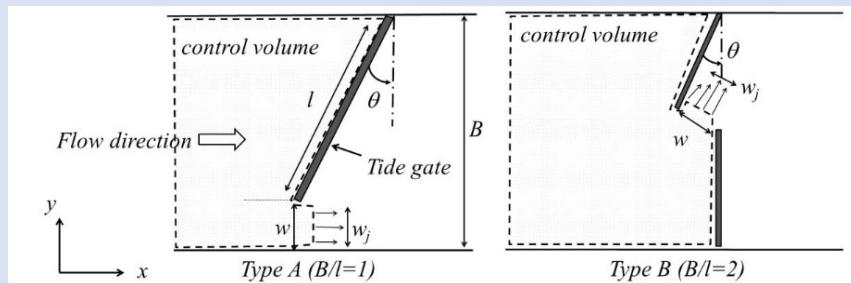


Photo 44 : Dispositif mixte avec flotteurs pour retarder la fermeture et ouverture au-dessus.



Exemple de calculs des débits transitant dans des ouvertures de portes à flot ou de clapets (Cassan et al., 2018)

Situation : Portes à flot de largeur l équipées d'une cale ou d'un raidisseur garantissant le maintien d'une ouverture d'angle θ pour une largeur w ceci afin de permettre la pénétration de l'eau vers l'amont



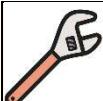
Calcul des débits :

Les débits peuvent être calculés en utilisant la formule appliquée au fente verticale des passes à poissons avec :

Q : débit C_d : coefficient de débit w : largeur ouverture h_u : hauteur d'eau amont h_d : hauteur d'eau aval

$$Q = C_d w h_u \sqrt{2g(h_u - h_d)}$$

Les expérimentations conduites en laboratoire ont permis de fournir des valeurs pour les coefficients de débits à appliquer. Dans le cas d'une porte dont la largeur est égale à celle du canal, le coefficient de débit (C_d) est proche de 0.8. Dans le cas où la largeur de la porte est égale à la moitié de celle du canal (situation la plus fréquente), le coefficient de débit es proche de 0.6.



Le cas des ouvrages doubles

Description de l'ouvrage : Les ouvrages doubles sont composés d'une porte à flot et/ou d'un clapet en aval et d'un vannage immédiatement en amont. Celui-ci sert à gérer le niveau d'eau et les débits sortants.

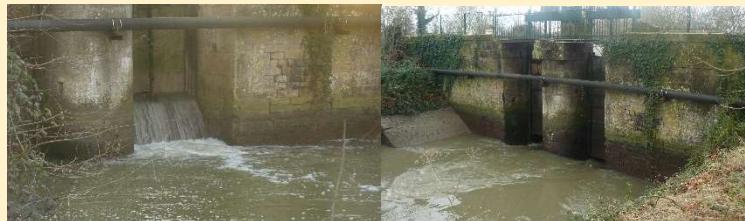
Illustrations :



Photos 45 et 46 : Exemple d'ouvrage double avec des portes à flot et un vannage amont (©OFB).

Dimensionnements et caractéristiques :

Les volumes d'eau entrant vont être calés à la fois par les dimensions du dispositifs installés sur les portes à flot ou les clapets mais également sur les modalités de gestion des vannes amont (gestion par sousverse ou surverse et niveau d'ouverture ou de calage de la vanne). Pour les civelles, les tests effectués notamment sur le canal de Charras ont montré que la gestion en sousverse des vannes amont facilitait le passage en permettant notamment l'entrée d'eau dès le début du flot.



Photos 47 et 48 : Exemple de gestion par surverse et par sousverse d'un vannage en amont d'une porte à flot (©OFB).

✓ Efficacité des dispositifs

Que ce soit en France ou à l'étranger, depuis 15 ans, de nombreux aménagements ont été réalisés sur des 1^{ers} ouvrages à la mer. Des suivis biologiques ont été conduits soit directement au droit des ouvrages (échantillonnages des flux dans les ouvrages ou de part et d'autre) soit indirectement par des échantillonnages des peuplements piscicoles ou de certaines espèces en amont dans le marais.

Une très forte efficacité pour les civelles.

Les suivis effectués sur la porte à flot du canal de Charras dans l'estuaire de la Charente après équipement avec un dispositif de cales ont permis de comptabiliser 52 kg de civelles sur 32 marées (0,8 civelles/m³ admis, 6 900 m³ d'eau entrant/marée) (Baran et Basilico, 2012 ; Rigaud *et al.*, 2014).

Sur l'Yser en Belgique, la mise en œuvre d'une ouverture de 10 cm en sousverse d'une vanne automatique a permis de passer 2.7 civelles capturées par marée à 632 civelles (Mouton *et al.*, 2011). Toujours dans le même estuaire, un suivi plus détaillé a été conduit de 2016 à 2018 (Van Wichelen *et al.*, 2021) pour analyser les effets d'une gestion de 6 portes à flot par maintien d'une ouverture de 20 cm durant 1 à 2 heures sur 1 seule porte. Cette nouvelle gestion a permis de multiplier par 3 la quantité de civelles franchissant l'obstacle avec des entrées d'eau de mer multipliée par 5. Sur le même site, des expérimentations complémentaires ont montré que la quantité de civelles franchissant les portes à flot augmentait très nettement lorsque deux portes sur 5 étaient ouvertes par rapport à la situation avec 1 seule porte mais par contre que cette quantité restait ensuite stable malgré l'ouverture des 3 autres portes. Au final, sur ce site, des suivis en amont dans les canaux ont montré que la mise en œuvre des mesures de gestion des portes à flot à partir de 2016 avait permis une augmentation par un facteur 5 des densités d'anguilles.

Le suivi de canaux dans les marais de Dol de Bretagne a permis d'observer une forte augmentation des densités de civelles ($\times 3$ à 10) après aménagement des ouvrages à marée (Artur et Caudal, 2023). Des résultats similaires avaient déjà été obtenu sur les marais d'Arcins et de Lafitte en Gironde avec des augmentations de densités d'anguilles d'un facteur 4 à 12 pour les individus de moins de 10 cm et d'un facteur 6 à 7 pour celles de plus de 15 cm (Lauronc, 2013).

Des franchissements d'autres espèces.

Lors de suivis de 1^{ers} ouvrages à la mer sur 5 sites Normands, Mazel *et al.* (2015) ont échantillonné au total plus de 40 espèces de poissons en suivant à la fois le flot et le jusant avec des passages en montaison et dévalaison. On observe une différence importante selon les milieux amont. L'anguille et le flet sont présents au niveau de tous les ouvrages. En revanche, les lampreys n'ont été échantillonnées qu'au droit des ouvrages connectant des cours d'eau (Couesnon, Somme, Douve). L'épinoche est capturée sur tous les sites et le bar dans 3 des 5 lieux étudiés.

Dans les suivis effectués sur la Gironde, Lauronc (2013) a observé des captures, durant le flot, de juvéniles de flet, de lamproie fluviatile et ponctuellement des juvéniles de bar. En revanche, dans les canaux de Charras et Biard, hormis des crevettes, aucun autre poisson n'a été capturé en plus de civelles (Alric *et al.*, 2013).

Un suivi effectué dans 2 marais Australiens sur la base d'une comparaison des peuplements de poissons et de crustacés entre des sites où les ouvrages à la mer ont été aménagés et des sites de référence sans ouvrage montre une augmentation très significative des espèces estuariennes et marines après l'aménagement des portes à marée avec des peuplements qui deviennent proches de ceux des sites de référence (Boys *et al.*, 2012). Les auteurs soulignent que malgré les entrées d'eau salée en amont, les espèces d'eau douce sont toujours présentes.

De même, en Nouvelle-Zélande, l'installation de retardateur de fermeture de clapets a permis d'augmenter par 5 les passages d'une espèce endémique (*Gobiomorphus cotidianus*) et par 2 les quantités de crevettes d'eau douce du genre *Paratya sp* (Bocker, 2015).

✓ Incidences sur les niveaux et la physico-chimie de l'eau

L'un des enjeux majeurs de gestion associés aux entrées d'eau en amont des 1ers ouvrages à la mer concernent les niveaux d'eau et les risques éventuels de débordements associés également à la problématique de la salinité et des matières en suspension. Ces enjeux expliquent que des mesures sont très souvent réalisées lors des expérimentations d'entrées d'eau.

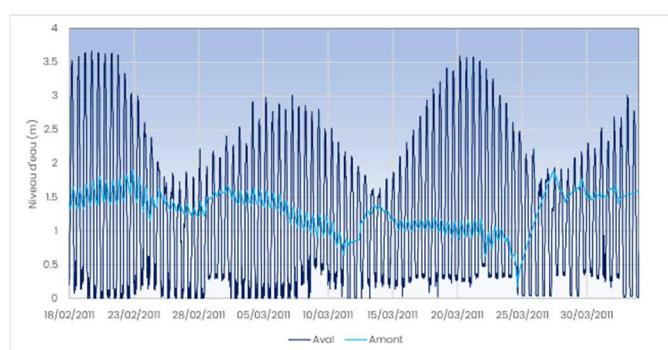
Les niveaux d'eau.

L'évolution des niveaux liée aux entrées d'eau dans les marais en amont des 1ers ouvrages à la mer dépend directement :

- Des volumes entrants lors des « ouvertures »,
- Des débits issus des territoires amont,
- Des capacités de stockages du bief en amont du 1^{er} ouvrage.

Pour réaliser ces estimations, des données doivent être recueillies.

- Instrumentation des niveaux de part et d'autre de l'ouvrage.



- Caractéristiques des dispositifs d'entrée d'eau et modalités de gestion des vannes en amont immédiat.



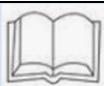
- Dimensions du bief amont de l'ouvrage



A partir de ces données, il est possible, sur la base de formules hydrauliques dédiées aux calculs débits transitant dans des vannes, des fentes, des orifices et/ou des échancrures, d'estimer les volumes d'eau susceptibles d'entrer dans le marais selon différentes modalités de gestion ainsi que les modifications de hauteur d'eau dans le 1^{er} bief. Attention, pour calculer ces dernières, il est indispensable, dans un 1^{er} temps, de connaître les volumes d'eau qui s'accumulent dans le bief lorsque les portes sont fermées.

Pour évaluer les risques de débordements liés à des surplus d'eau, il est important de choisir les configurations les plus pénalisantes à savoir :

- De forts coefficients de marée générant des fortes variations de hauteur en aval de l'ouvrage,
- Des conditions de fortes hydraulicités en amont (épisodes hivernaux très pluvieux).



Exemple de calculs de volume d'eau entrant en amont d'un 1^{er} ouvrage à la mer avec vannage amont

Situation :



2 portes à marée de 1 m de large chacune équipées de 2 vantelles de 0.5 m x 0.8 m calée à + 1 m de hauteur – 1 vanne amont de 2 m de large ouverte de 0.3 m avec passage de l'eau en sousverse

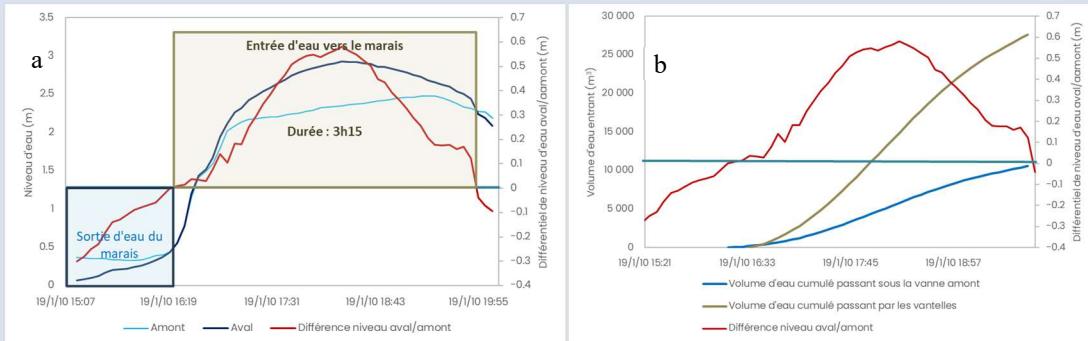


Bief amont : 1 km de longueur pour 20 m de largeur – profondeur jusqu'au sommet de berge : 2.8 m

Calcul des débits et des volumes entrant :

Utilisation formule vanne noyée : Débit = $0.6 \times \text{larg.} \times h_{ouvert.} \times \sqrt{2 \times 9.81 \times (Haval - Hamont)}$

Volume = $\int_{t_1}^{t_2} \text{Débit} \times \text{durée où } Haval > Hamont$



Figures 92 et 93 : Evolution des niveaux d'eau de part et d'autre de l'ouvrage au cours d'une marée montante (a) ainsi que des volumes entrant via les vantelles et la sousverse sous la vanne amont (b)

Dans l'exemple présenté, les eaux entrent via les vantelles dès la fermeture des portes lorsque le niveau aval >niveau amont. La durée est de 3h15. Les volumes entrant augmentent proportionnellement à l'augmentation du différentiel de niveau (de 0 jusqu'à +0.6 m). Via les vantelles, les volumes cumulés qui peuvent entrer s'élèvent à 27 600 m³. En revanche, via la sousverse de la vanne amont, les volumes qui peuvent entrer sont limités à 10 500 m³. **Dans le cas présent, c'est donc cette vanne qui règle les volumes entrant.**

Calcul des augmentations de hauteurs d'eau en amont induites par les apports venus de l'aval

En situation de vantelles fermées, pour la marée suivie et les conditions hydroclimatiques correspondant (période hivernale très humide), la hauteur d'eau dans le bief amont augmente de 1.60 m au cours des 3h15 de fermeture des portes ce qui représente un volume d'eau stockée venant du marais et du bassin versant amont de 31 900 m³. Les 10 500 m³ d'apports lorsque les vantelles et la vanne sont ouvertes représentent donc une augmentation de 30% du volume d'eau stocké soit une augmentation de 52 cm de la hauteur d'eau dans le bief par rapport à la situation sans ouverture.

$$\text{Augmentation Heau} = \frac{10\ 500}{[Long\ bief\ (1000) \times \text{larg}\ bief\ (20)]} = 0.52\ \text{m}$$

Ce volume d'eau est totalement gérable par le réglage de l'ouverture de la vanne amont.

Les études hydrauliques réalisées sur le marais de Labarde et le marais Lafitte (Lauronce, 2013) sur la base de la topographie du marais et de différentes modalités de gestion des ouvrages ont permis d'estimer des volumes acceptables. Pour le marais Lafitte, ces volumes ont été limités à 5 000 m³ par marée sur la base du maintien d'une ouverture de 5 cm des portes. Pour le marais Labarde, le volume acceptable a été estimé à 35 500 m³ ce qui correspond à une ouverture de vantelle de 40 cm. Pour rappel, ces calculs sont très importants pour l'acceptabilité des ouvertures vis-à-vis des usages du marais.

Les suivis réalisés sur le canal de Charras en 2010 et 2011 dans l'estuaire de la Charente (Lamarque *et al.*, 2012) ont permis d'évaluer les volumes d'eau entrant, ceux accumulés en amont et les augmentations de hauteurs d'eau dans le canal.

Tableau 28 : Volumes d'eau accumulés et entrant dans le canal de Charras au cours des suivis effectués en 2010 et 2011 après installation d'un dispositif de cale sur les portes à flot (données OFB (Lamarque *et al.*, 2012)).

| Années | Volume d'eau moyen accumulé par marée dans le canal en amont de l'ouvrage | Volume d'eau maximal accumulé par marée dans le canal en amont de l'ouvrage | Volume d'eau minimal accumulé par marée dans le canal en amont de l'ouvrage | Volume d'eau moyen entrant par l'aval par marée (% du volume total accumulé) |
|--------|---|---|---|--|
| 2010 | 42 300 m ³ | 164 000 m ³ | 900 m ³ | 4 230 m ³ (10%) |
| 2011 | 12 400 m ³ | 28 600 m ³ | 2 400 m ³ | 4 340 m ³ (35%) |

Dans ce cas d'étude, les volumes d'eau entrant par marée avec un dispositif de cales de 10 cm au niveau des portes à flots et une gestion de vanne amont pour un déversement à partir des coefficients de marée de 75 ou par sousverse avec une ouverture de 15 cm ont été de 4200 à 4350 m³. Ces volumes ont généré des « surcotes » de l'ordre de 7 cm dans le canal soit une situation totalement gérable en termes de risque de débordement.

En Nouvelle-Zélande l'installation de retardateurs de fermeture des clapets à marée permettant de maintenir une ouverture en moyenne 10% du temps en plus lors du flot n'ont conduit qu'à une augmentation de moins de 15% des hauteurs d'eau en amont (Bocker, 2015). Toujours en Nouvelle-Zélande, la mise en œuvre d'une ouverture complète d'une porte à flot sur 6 a généré des augmentations de niveaux très conséquentes de l'ordre de 0.7 à 1.2 m de hauteur (Franklin et Hodge, 2015).

Les variations de hauteur d'eau sont donc potentiellement très variables selon les situations et selon les modalités de gestion mise en œuvre. **Mais, il est important de retenir que ces variations sont tout à fait quantifiables en amont des projets pour adapter la gestion aux contraintes du site.**

La salinité

Les concentrations en sel dans la zone de marais peuvent constituer un paramètre susceptible d'influer sur les volumes d'eau acceptable en amont. Avant d'analyser différents retours d'expériences, il est important de bien identifier les différents contextes de salinité :

- Contextes à fort différentiel de salinité entre l'aval de l'ouvrage et l'amont,
- Contextes à faible différentiel de salinité correspondant soit aux marais salants soit aux zones tidales où le gradient de salinité est beaucoup moins marqué.

Pour ces derniers types de contextes, l'ouvrage à marée ne crée qu'assez rarement, en phase hivernale et printanière, une frontière brutale entre l'eau salée et l'eau douce et ceci pour plusieurs raisons. L'écoulement le plus souvent observé au jusant à cette saison, crée en effet dans la zone aval plus ou moins proche, un passage progressif de l'eau salée à l'eau douce (*effet piston avec brassage des masses d'eau ou maintien d'un volume doux entre l'onde salée et l'ouvrage*). Ces ouvrages situés aux exutoires de territoires gérés en eau douce ne créent pas non plus de frontière brutale et permanente entre une zone aval soumise à marée et un bief d'amont nullement influencé par le rythme tidal. En effet, avec des courants très majoritairement dirigés vers l'aval et des variations de niveaux totalement liés au cycle de la marée (*phases d'accumulation du débit fluvial sur tout ou partie du flot*), le bief d'amont présente des caractéristiques fort comparables à celles observées dans la partie amont d'un estuaire en l'absence d'ouvrage (GRISAM, 2015).

Les suivis réalisés dans le 1^{er} type de contexte (fort différentiel de salinité) montrent des effets des entrées d'eau dans le marais. Sur le canal de Charras, les suivis effectués avec la mise en place de cales sur les portes à marée montrent de fortes variations de salinité (de 0.7 à 22 g/l) pour chaque entrée d'eau. L'évacuation des eaux au cours du jusant permet une forte diminution de la salinité du bief. Toutefois, on observe qu'au fur et à mesure

des successions d'entrées d'eau, les valeurs « de base » de salinité (concentrations en fin de jusant) augmentent progressivement pour passer de 0.7 g/l à 5 g/l.

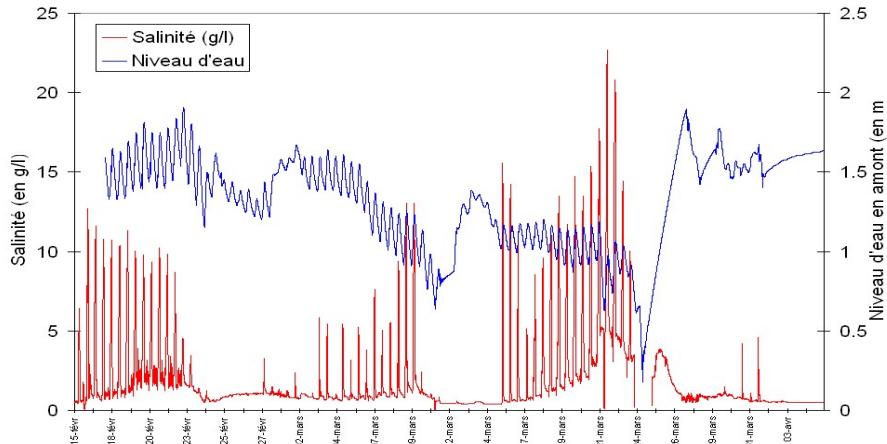


Figure 94 : Evolution de la salinité des eaux du bief amont portes à flot du canal de Charras lors des expérimentations de gestion avec des cales (in Lamarque et al., 2012).

Ces évolutions des concentrations en sel dans le canal amont sont fortement liées au ratio entre les volumes d'eau salée entrante et les débits amont du canal. Lorsque les volumes d'eau salés entrants sont inférieurs à ceux arrivant de l'amont, la salinité de base reste inférieure à 0.7 g/l. En revanche, lorsque les débits amont diminuent nettement et que les volumes d'eau entrant sont plus importants, la salinité de base augmente pour atteindre des valeurs >2 g/l en moyenne.

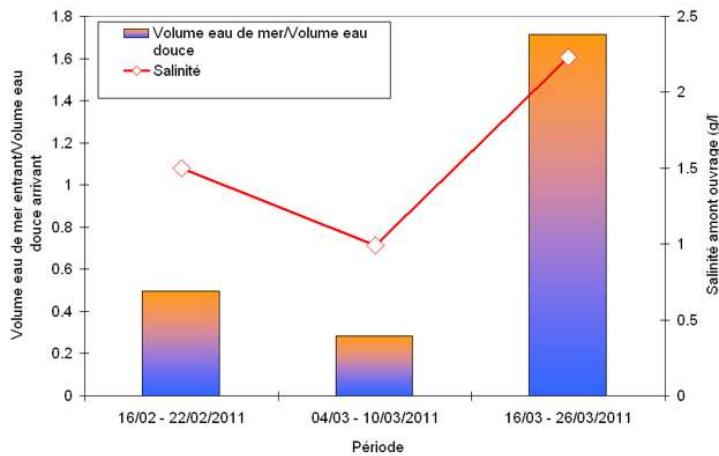


Figure 95 : Evolution de la salinité moyenne des eaux du bief amont portes à flot du canal de Charras lors des expérimentations de gestion avec des cales en fonction de 3 situations hydrologiques différentes (in Lamarque et al., 2012).

Dans les suivis effectués sur l'estuaire de l'Yser en Belgique, Mouton *et al.* (2011) montrent également que la salinité appréhendée ici par l'intermédiaire de la conductivité électrique évolue avec les entrées d'eau salée. Au fur et à mesure des entrées, la conductivité augmente de 2 000 µS/cm à plus de 9 000 µS/cm immédiatement en amont de l'ouvrage et de 2 000 µS/cm à plus de 5 000 µS/cm à 4.5 km plus en amont. Les auteurs indiquent également que les augmentations de salinité ne sont plus observées lorsque les débits fluviaux augmentent.

Des études de plusieurs sites en Nouvelle-Zélande montrent également que la mise en œuvre de modalités de gestion des portes à flots permettant des entrées d'eau salée influence la qualité des eaux des marais amont avec des augmentations des conductivités électriques d'un facteur 1 à 3 (Instream Consulting Limited, 2018).

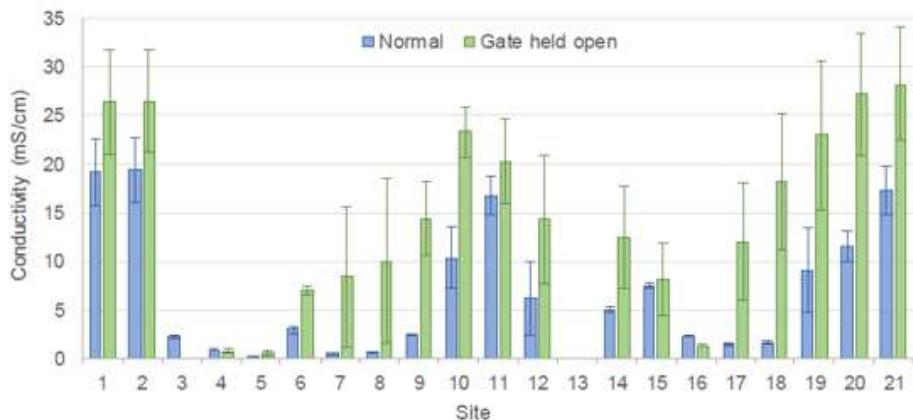


Figure 96 : Comparaison des conductivités électriques sur différents sites en Nouvelle-Zélande après mise en place de retardateur de fermeture (in Instream Consulting Limited, 2018).

Les Matières En Suspension (MES)

Comme pour la salinité, les 1^{ers} ouvrages à la mer constituent souvent une « barrière » pour les flux de MES. La mise en œuvre de solutions techniques facilitant l'entrée d'eau estuarienne peut conduire à des entrées significatives de MES dans la zone amont du marais.

Les suivis de turbidité réalisés lors des expérimentations conduites dans l'estuaire de la Charente (canal de Charras (Rigaud *et al.*, 2014)) et en Gironde (Lauronc *et al.*, 2013) montrent clairement une forte augmentation, de la turbidité avec des pics qui, le plus souvent apparaissent assez proche de la pleine mer.

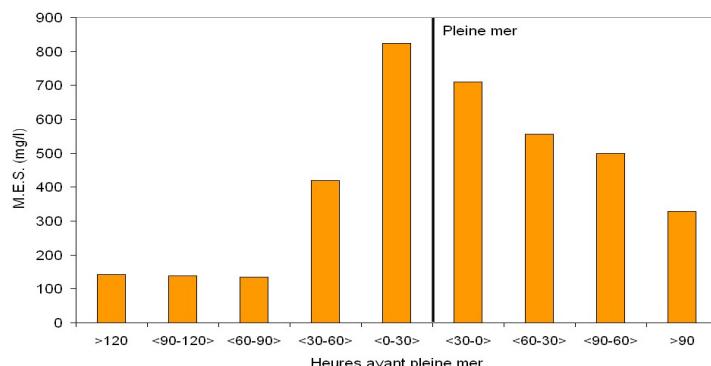
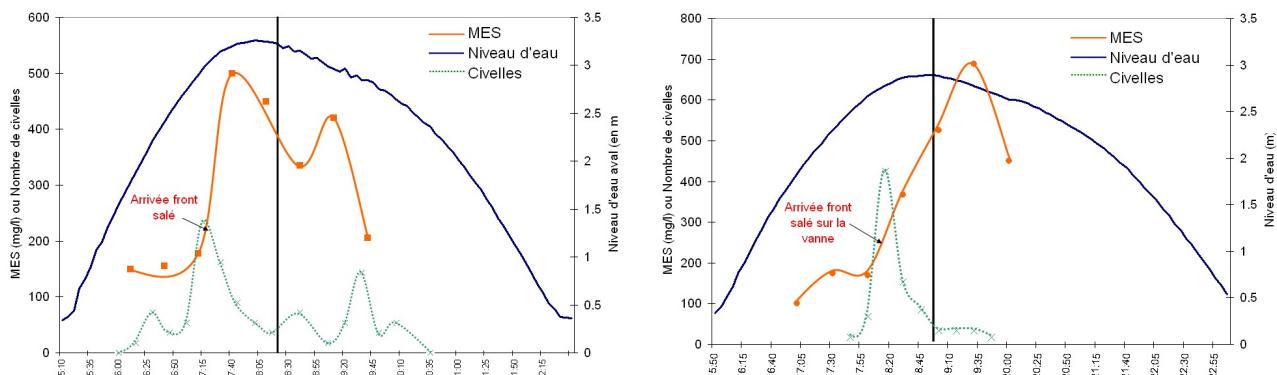


Figure 97 : Evolution des concentrations en MES mesurées au cours de 5 marées dans le canal de Charras (in Lamarque *et al.*, 2012).



Figures 98 et 99 :Comparaison des cinétiques de franchissement de civelles et de concentration en MES lors de 2 marées suivie sur le canal de Charras (Lamarque *et al.*, 2012).

Dans le détail, on observe que le maximum de franchissement des civelles qui se situent souvent au moment de l'arrivée du front salé précède le passage du pic de MES.

Toujours sur Charras, le suivi de plusieurs marées montre la très forte variabilité des concentrations en MES. Les pics peuvent varier de 0.1 à plus de 1 g/l. Lauronce *et al.* (2013) observent également une forte variabilité des concentrations en MES entre différentes marées sur des tributaires de l'estuaire de la Gironde (de 0.05 à 0.4 g/l).

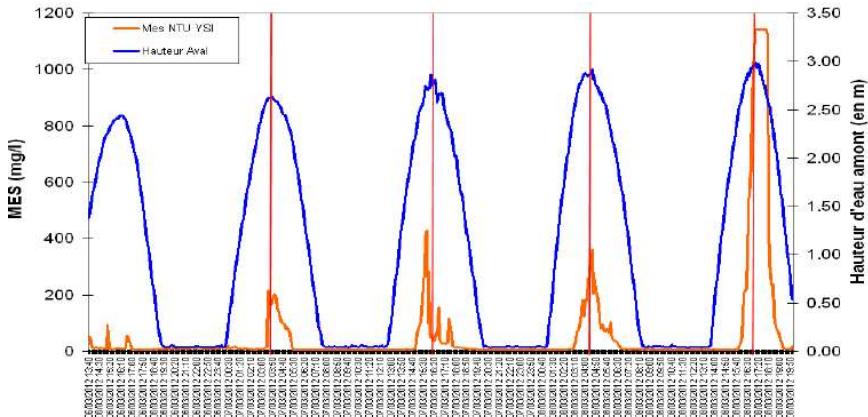


Figure 100 : Evolution des hauteurs d'eau et des concentrations en MES au droit des portes à flot du canal de Charras (in Rigaud *et al.*, 2014).

Les risques d'envasement font clairement parti des craintes des usagers et des gestionnaires. Les suivis aujourd'hui disponibles sur plusieurs sites ayant fait l'objet de modalités de gestion assurant une entrée d'eau marine fournissent des informations qui montrent que les risques de survenvasement sont limités.

Sur l'ensemble des suivis réalisés sur des esteys et des ouvrages de petites et moyennes dimensions (moins de 15 mètres de large), les plus fréquemment rencontrés dans les littoraux côtiers ou estuariens, il n'apparaît pas d'impact net de la modalité d'admission (fond ou surface) sur l'augmentation significative de l'envasement du bief d'amont (Lauronce *et al.*, 2013 ; Rigaud *et al.*, 2014).

Des entrées de MES étant inévitables lors d'éventuelles admissions au vu de leur arrivée tardive sur le flot et donc dans la phase intéressante pour la civelle, cet envasement réduit est très vraisemblablement lié aux évacuations très régulières d'eau réalisées sur de nombreux ouvrages, par le fond en phase hivernale ou printanière à hydrologie moyenne à forte. Ce point est à analyser avec attention dans les futurs projets en prenant soin de coupler les entrées d'eau avec des périodes d'évacuation qui nécessitent d'avoir des volumes d'eau disponibles en amont.

- La gestion dédiée aux espèces migrant lors du jusant.

Pour les espèces qui migrent lors des phases de marée descendante (aloises, lamproies, espèces holobiotiques...), le franchissement des 1^{ers} ouvrages à la mer va être lié aux conditions hydrauliques au droit de l'obstacle.

- Situation pour des ouvrages uniques

Les portes à flot constituent des dispositifs beaucoup plus franchissables que les clapets. Pour ces derniers, les conditions d'ouverture génèrent très souvent des pincements hydrauliques qui sont très préjudiciables au franchissement par les poissons et les crustacés.



Photos 49 et 50 : Illustrations d'écoulement fortement pincés au niveau de clapets à marée (©MIGADO).

Les possibilités de franchissement vont dépendre également des débits fluviaux sortant et des capacités hydrauliques des ouvrages (voir chapitre 2.3.1). Si les débits sont forts, ils sont susceptibles de générer des pertes de charge au droit des portes et donc des vitesses de courant trop élevées en regard des capacités de nage des

espèces. Les faibles débits peuvent également être limitants en générant des ouvertures limitées, de faibles lames d'eau notamment lorsqu'un radier incliné est présent en aval des ouvrages (cf. photos ci-dessus) et que le niveau à marée basse dénoie beaucoup la base des ouvrages.



Photos 51, 52 et 53 : Illustrations de différentes conditions d'écoulement sur un même ouvrage du Saucat en Gironde pour 3 situations de débit sortant (@FDAAPPMA 33).

Dans l'exemple ci-dessus, la franchissabilité de l'ouvrage pour les poissons lors du jusant est limitée soit par l'effet de pincement hydraulique au niveau du clapet, par des tirants d'eau très faible sur le radier aval ou à l'extrême lorsque les débits sont très forts des vitesses très élevées induites par la perte de charge au droit des portes.

Les conditions hydrauliques vont bien évidemment évoluer au cours du jusant et du début du flot en relation avec l'évolution du niveau aval. La fenêtre de franchissement dépendra du rapport entre les débits sortants, les capacités d'évacuation des ouvrages, le niveau aval et la cote de calage du seuil des ouvrages par rapport aux conditions à marée basse.



Photos 54 et 55 : Illustrations de conditions de vitesses permettant le franchissement d'une porte à flot (@ ECOGEA).

- Situation pour des ouvrages doubles

Lorsqu'un vannage est implanté en amont immédiat des portes à flot, c'est très souvent lui qui va constituer le point limitant du franchissement. La gestion par sousverse peut générer des conditions très limitantes pour le franchissement des poissons soit lorsque l'ouvrage est dénoyé par laval soit lorsque la perte de charge est très forte. Dans ces configurations, il est fortement recommandé de maintenir des périodes d'ouvertures quasi-complète des vannages pendant les périodes de migration (principalement la fin de l'hiver et le début du printemps).

Au Royaume-Uni, en amont de l'estuaire Humbert, le suivi d'adultes de lamproies fluviatiles après mise en œuvre de mesures de gestion des vannes et d'une écluse au niveau du 1^{er} ouvrage à la mer (gestion pour maintenir un différentiel de hauteur d'eau limité à moins de 25 cm) a permis d'observer une efficacité de franchissement de 93% des poissons marqués (Silva *et al.*, 2017). Les franchissements ont eu lieu lorsque la hauteur de chute était limitée (de 0 à 8 cm). Pour rappel, sur ce site, avant la mise en place d'une gestion adaptée, le franchissement par les lamproies fluviatiles adultes était de 18% (Lucas *et al.*, 2009).

Dans les rivières LaPlanche et Missaquash, sur l'isthme de Chignecto, au Canada, l'enlèvement complet d'une porte à marée a permis de multiplier par 4 à 6 les franchissements de gaspareau (*Alosa pseudoharengus*) (Spares *et al.*, 2022).



Ce qu'il faut retenir : La mise en œuvre de modalités de gestion pour les 1^{ers} ouvrages à la mer est une priorité en termes de restauration de la libre circulation des espèces de poissons et de crustacés. Pour les espèces migrant pendant le flot, il existe aujourd'hui différents types de solutions techniques permettant de faire rentrer des volumes d'eau en amont (vantelles, cales, retardateurs). Le dimensionnement de ces différentes solutions repose sur un compromis entre les volumes d'eau acceptables dans le bief amont et l'efficacité biologique. Les dispositifs pouvant être gérés (vantelles) présentent l'avantage de s'adapter aux évolutions des contraintes hydroclimatiques.

Dans tous les cas, les retours d'expérience montrent qu'il est préférable de rechercher une régularité d'entrée d'eau dans le temps (à la fois vis-à-vis de chaque marée (entrée d'eau dès l'inversion du courant) et au cours des saisons d'hiver et de printemps) plutôt que les entrées plus massives mais ponctuelles.

Les suivis montrent que les impacts sur les matières en suspension sont assez limités dès l'instant où le bief amont est régulièrement vidé ou abaissé. Pour la salinité, les évolutions dépendent beaucoup des débits amont provenant du marais.

Concernant les espèces migrant lors du jusant, les possibilités de franchissement vont beaucoup dépendre des débits sortant en regard des capacités d'évacuation des portes. En général, les clapets présentent très souvent des conditions de franchissement difficiles. En présence d'un ouvrage de régulation du niveau du bief amont, il convient d'essayer d'adapter l'ouverture du vannage aux capacités de franchissement des espèces.

8.3.1.1.2. La gestion des ouvrages au sein des marais

Une fois que les poissons ont pénétré à l'intérieur des marais, ils vont rencontrer de nombreux obstacles. Pour certains d'entre eux, il est possible d'envisager des solutions de gestion basées sur le maintien d'un certain degré d'ouverture. Ces solutions ne sont pas applicables à tous les ouvrages de type bondes.

L'ouverture complète et coordonnée des ouvrages est la meilleure solution technique pour garantir la libre circulation des poissons dans le marais. Toutefois, cette solution réclame de pouvoir gérer le marais avec des niveaux assez bas dans les parties amont. Elle n'est pas toujours facilement applicable sur des durées significatives.



Photo 56 : Exemple de vannage totalement ouvert assurant la libre circulation des poissons (© T. Besse LOGRAMI).

Il est également possible que, malgré une ouverture totale du vannage, les conditions de franchissement ne soient pas optimales en raison d'une perte de charge au droit de l'ouvrage liée à des capacités d'évacuation inférieures au débit entrant.



Photo 57 : Exemple d'une perte de charge au droit d'un vannage pourtant totalement ouvert (© ECOGEA).

Pour les vannes gérées en sousverse, les modalités de gestion doivent générer des conditions de vitesses d'écoulement et de tirant d'eau compatibles avec les capacités de nage des espèces. Il est recommandé d'avoir une gestion assurant un ennoiement systématique de la vanne par l'aval. Concernant les civelles, il a été démontré que même les stades non pigmentés poursuivaient leur migration lorsqu'elles pénétraient en eau douce. Leur capacité de nage assez limitée (vitesse de nage <25 cm/s) réclame des ouvertures de vannes avec de faible différentiel de niveau entre l'amont et l'aval (en général moins de 3-4 cm). Ces types de réglages sont difficiles à ajuster sur beaucoup d'ouvrages. Même pour des anguillettes, les différentiels de hauteur ne doivent pas dépasser les 5-7 cm pour garantir des possibilités de franchissement. Pour des espèces holobiotiques de plus grande taille comme le brochet, il est possible d'envisager des différentiels de hauteur d'eau un peu plus marqués (de l'ordre de 15 à 30 cm selon les configurations).



Photo 58 : Exemple de vannage avec un fort différentiel de hauteur d'eau générant des vitesses élevées et donc des conditions de franchissement difficiles pour la grande majorité des poissons (© SIAEBVELG).



Capacité de franchissement des civelles pour les ouvrages dans le marais

Un important travail de recherche concernant la gestion des 1^{ers} ouvrages à la mer et surtout ceux situés à l'intérieur des marais a été conduit à la fois en laboratoire, *in situ* et avec des modélisations au niveau des canaux de Charras et Biard (Guiot de la Rochère, 2020). Des expérimentations de franchissement de civelles sous une vanne en sousverse ont été conduites. 80 à 99% des civelles ont franchi la vanne avec des vitesses d'écoulement de 13 cm/s, 14 à 25% avec des vitesses de 58-59 cm/s et 0% pour des vitesses de 80 cm/s. Des tests avec ajout de rugosités (sur le fond de la vanne) ont montré la totale inefficacité de ce type d'aménagement pour les civelles. Aucune civelle n'a réussi à franchir le dispositif avec les rugosités.

En surverse, il est recommandé de générer des chutes en jet de surface. Pour cela, il est indispensable que la ligne d'eau aval envoie la crête de la vanne ou du déversoir d'au moins 60% de la hauteur (fig.37). Les hauteurs de chute doivent rester compatibles avec les capacités de nage des espèces. On peut considérer que des valeurs entre 15 et 25 cm maximum de dénivelé sont à privilégier.

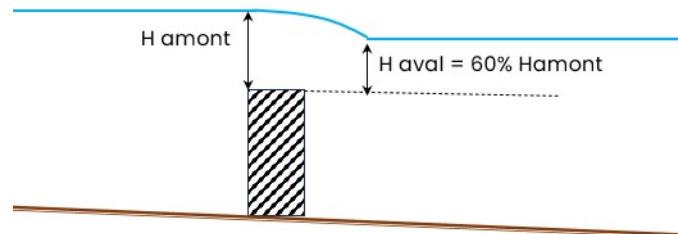


Figure 101 : Illustration d'un jet plongeant au-dessus d'une vanne ou d'un déversoir.

Les situations de passage en surverse avec un jet plongeant sont à totalement proscrire dans le contexte des marais littoraux.



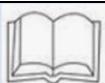
Photo 59 : Exemple d'un seuil avec des écoulements en jet plongeant obligeant les poissons à sauter pour le franchir limitant ainsi la libre circulation de beaucoup d'espèces (© SIAEBVELG)

Dans tous les cas, il est indispensable de conduire une gestion des niveaux et des ouvertures de vannes qui soient les plus coordonnées possibles entre les différents ouvrages des marais et ceci dès le début des saisons de migrations (hiver pour les civelles, les flets, les brochets et les lamproies fluviatiles, printemps pour les autres espèces). Ces gestions de niveaux d'eau compatibles avec les migrations piscicoles peuvent s'avérer difficile à mettre en œuvre avec les contraintes associées à d'autres usages (limitation des débordements, garantie d'un niveau d'eau). Elles réclament dans tous les cas des instrumentations par échelle limnimétrique de part et d'autre de chaque ouvrage pour ajuster les réglages ouvrages.

La gestion de ces ouvrages dans un objectif de libre circulation piscicole est indissociable des contraintes de gestion des niveaux d'eau.



Photo 60 : En situation de faible débit et de maintien des niveaux d'eau par les ouvrages, la mise en œuvre de mesures favorisant le passage des poissons est très difficile.



Gestion hivernale et contrôle des niveaux d'eau et reproduction du brochet en marais

En Bretagne, des aménagements et une gestion spécifique des niveaux a été mise en place dans le marais de Sougeal est considéré comme une des trois principales zones humides de Bretagne pour la reproduction naturelle du brochet. Les aménagements réalisés sur le marais fin des années 90 – début des années 2000 ont permis de restaurer son fonctionnement hydraulique, lui permettant de retrouver son rôle vis-à-vis de la reproduction du brochet. La gestion des niveaux d'eau est actuellement calée sur le cycle du brochet. Ainsi, le marais est ennoyé de février à mi-avril, avant d'être vidangé très progressivement jusqu'au 15 mai. En février, les géniteurs rejoignent les zones de fraie à l'occasion des débordements du cours d'eau ou en utilisant la passe à poisson. La ponte et le développement des larves ont lieu sur les zones inondées à végétation terrestre ou aquatique recouverte de 20 cm à 1 m d'eau. En fin de printemps, les jeunes brochets migrent vers la rivière lors de la vidange. Le gestionnaire doit veiller au maintien de cette gestion hydraulique adaptée à la reproduction du brochet, à l'aide des ouvrages de vannage.



Voir <https://www.ccdol-baiemsm.bzh/laccueil-des-oiseaux-deau/>

En Normandie, dans les marais du Cotentin, le « blanchiment » du marais avec le maintien de cotes hautes et de débordement en période hivernale est une gestion qui peut être très favorable au brochet en lui permettant d'accéder à des zones de frayères. Pour cette espèce, il est essentiel que l'ennoiement soit maintenu sur d'assez longues périodes (février à fin mars minimum) si l'on veut garantir la survie des œufs et des jeunes larves qui restent fixées quelques temps aux supports végétaux. Ce maintien peut être assuré par des ouvrages mobiles.



Photo 61 : Vue des marais du Cotentin en situation hivernale (©Parc des Marais du Cotentin).



Ce qu'il faut retenir : Il est possible d'assurer la libre circulation des poissons au sein des marais par une gestion adaptée et surtout coordonnée des ouvrages. Pour autant, cette gestion réclame des réglages fins car les capacités de franchissement des espèces notamment des jeunes stades d'anguilles tolèrent très peu de différence de niveau entre les biefs. Certains ouvrages comme les bondes sont très difficilement franchissables.

La mise en œuvre d'une gestion adaptée au franchissement des poissons réclame une très bonne connaissance des niveaux d'eau de part et d'autre des ouvrages ainsi que de l'évolution des volumes d'eau transitant dans le marais.

Il est également essentiel de bien identifier les espèces cibles et leurs périodes clés de migration afin d'adapter la gestion à ces périodes (cf. tableau ci-dessous).

Périodes de fonctionnalité optimale pour assurer la libre circulation des espèces

| Espèces | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Amphihalines anadromes (aloises, lamproies) | | | | | | | | | | | | |
| Amphihalines catadrome (anguille-flet-mulet porc) | | | | | | | | | | | | |
| Marines migratrices (bar, solde, dorade, maigre) | | | | | | | | | | | | |
| Mulet doré | | | | | | | | | | | | |
| Holobiotique (brochet) | | | | | | | | | | | | |
| Holobiotiques (brême, carpe) | | | | | | | | | | | | |

8.3.1.2. LES SOLUTIONS FONDEES SUR DES DISPOSITIFS DEDIES

Pour atténuer les impacts des ouvrages sur la libre circulation des espèces de poissons et de crustacés, on dispose d'un grand nombre de solutions techniques de type passes à poissons développées au cours des 40 dernières années.

8.3.1.2.1. Les différents types de solutions techniques

Un dispositif de franchissement piscicole est une mesure d'atténuation des impacts d'un ouvrage sur la libre circulation piscicole dont l'efficacité ne sera jamais de 100%. Il n'existe aucun dispositif capable d'assurer le franchissement de toutes les espèces et de toutes les tailles de poissons et ceci en tout temps. Une démarche de choix et de dimensionnement de dispositif doit donc s'appuyer sur la construction de compromis.

Il est très important de bien considérer l'ensemble des solutions techniques disponibles comme des réponses possibles adaptées à chaque situation. Il n'existe pas, en effet, de réelle hiérarchie d'efficacité entre les différentes solutions techniques (passes à bassins, rampes en enrochement, pré-barrages...). Le choix et le dimensionnement d'un dispositif de franchissement doit donc s'appuyer sur un diagnostic spécifique prenant en compte un ensemble de paramètres biologiques, hydrologiques, topographiques, structurels et d'usages.



Les principales questions guidant le choix et le dimensionnement des dispositifs de franchissement

Pour qui?



Quelles sont les espèces à enjeux et les espèces cibles ?

Quand?



A quelle période les dispositifs doivent-ils être le plus fonctionnel et quels sont les débits disponibles ?

Où?



Où faut-il les implanter au niveau des ouvrages ?

Comment?



Quel type de dispositif choisir ?

- Les espèces cibles

La phase de sélection des espèces cibles doit être l'occasion de récapituler les capacités de franchissement des espèces à savoir :

- Franchissement par saut, nage ou reptation,
- Les vitesses de nage

Pour certaines espèces comme l'anguille, il est important de bien identifier les stades de développement présents majoritairement en aval des ouvrages à équiper. En effet, les capacités de franchissement sont très différentes entre les civelles, les anguillettes et les anguilles jaunes.

Il est essentiel, pour le choix et le dimensionnement des projets de bien identifier la présence d'un enjeu pour les espèces migratrices amphihalines diadromes que sont les aloses et la lamproie marine. En effet, ces espèces réclament des dispositifs de franchissement avec des débits élevés et des configurations spécifiques surtout pour les aloses.

- Hydrologie et périodes de fonctionnement des dispositifs

Sachant qu'il est très complexe de garantir une fonctionnalité hydraulique optimale d'un dispositif de franchissement sur la totalité d'un cycle hydrologique, il est donc indispensable d'identifier les périodes clés de migration des espèces cibles.

Une fois ces périodes identifiées, il est nécessaire de caractériser les conditions hydrologiques dans le marais en sachant que, dans ces milieux, elles vont surtout se traduire par des conditions de niveaux d'eau. La connaissance des débits reste toutefois importante pour fixer les valeurs qui peuvent être consacrées à l'ouvrage de franchissement. Dans les marais et en fonction des contraintes d'usage et de niveaux d'eau, les débits disponibles à certaines périodes peuvent être très limités rendant très compliqué le fonctionnement d'une passe à poissons (à l'exception des passes spécifiques pour les anguilles).

Il faut donc identifier les valeurs médianes, les 1^{er} et 3^{ème} quartile ainsi que les 1^{er} et dernier décile de débit de la saison mais surtout de niveaux d'eau. La connaissance de l'évolution des niveaux d'eau de part et d'autre de l'ouvrage permet de bien quantifier l'évolution de la hauteur de chute à franchir et donc à équiper.

Ces données sont indispensables au dimensionnement et au calage hydraulique du dispositif de franchissement. En situation de fortes variations de la hauteur de chute, il sera nécessaire d'envisager, prioritairement, une modification des modalités de gestion des deux biefs afin d'essayer de stabiliser au mieux une hauteur de chute constante. En effet, il est difficile d'adapter les dispositifs de franchissement à d'importantes variations de niveaux d'eau surtout lorsque celles-ci sont différentes de part et d'autre d'un ouvrage.



Exemple de données de niveaux d'eau de part et d'autre d'un ouvrage en marais – caractérisation de la hauteur de chute à équiper.

Le suivi en continu des niveaux d'eau de part et d'autre d'un ouvrage en marais en période hivernale et printanière permet de caractériser les variations sur l'ensemble de la période en identifiant la situation médiane ainsi que celle observé au moins 25% et 75% du temps. Dans l'exemple présenté, la hauteur de chute médiane de part et d'autre de l'obstacle varie entre 1.05 m et 1.6 m du fait d'une gestion différente des 2 biefs notamment dans les périodes de hautes eaux (abaissement plus prononcé du bief aval).

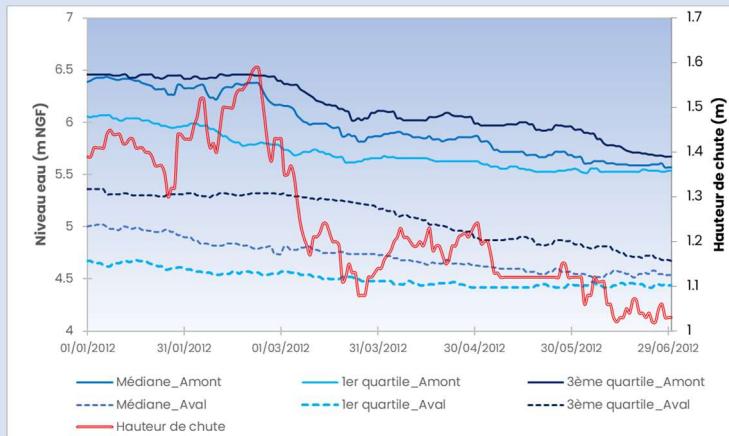


Figure 102 : Evolution des niveaux d'eau de part et d'autre d'un ouvrage en marais ainsi que de la hauteur de chute sur la période hivernale et printanière (données ECOGEA).

Dans cette situation, soit le fonctionnement hydraulique de la passe à poissons sera adaptée à ces variations de niveau, soit une modification des modalités de gestion de l'ouvrage sera envisagée afin de réduire les variations de hauteur de chute.

- Où planter le ou les dispositifs ?

Même si les chenaux et canaux en marais ne présente pas des largeurs très importants et ne sont pas associés à des usages de l'eau comme des centrales hydroélectriques, il est important de bien caractériser la distribution des écoulements en aval de l'ouvrage et ce dans différentes conditions de débits pour choisir le lieu d'implantation de la ou des passes à poissons.

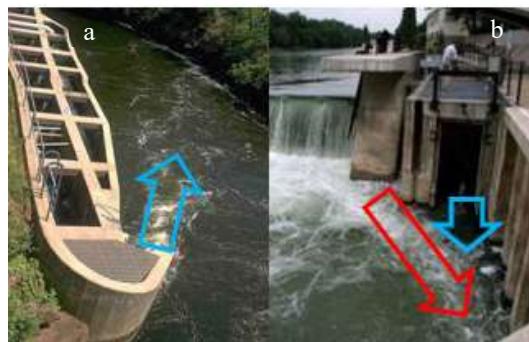


Photos 62 et 63 : Exemples de gestion différenciée de vannages sur des ouvrages du canal du Porge en Gironde générant une diversité de conditions d'écoulement en aval susceptibles d'influencer l'attractivité des poissons en migration (© SIAEBVELG).



Photos 64, 65 et 66 : Illustrations de différentes conditions d'écoulement liées à l'hydrologie et aux modalités de gestion de l'écluse de Batejin sur le canal du Porge en Gironde (© SIAEBVELG).

Les dispositifs doivent toujours se situer à proximité des zones de restitution des débits pour favoriser leur attractivité. Toutefois, il faut être très vigilant pour que la restitution des eaux du bief amont ne génère pas des écoulements qui masqueraient l'entrée piscicole de la passe à poissons.



Photos 67 et 68 : Illustrations de 2 situations totalement opposées en termes de visibilité d'un écoulement en entrée piscicole de passes à poissons. (a) le jet de sortie de la passe est très visible et vient se fondre dans l'écoulement général ; (b) le jet de sortie de la passe à poissons est totalement masqué par un écoulement venant du barrage (© M. Larinier).

Pour faciliter l'attractivité de la passe à poissons, il est possible d'y adjoindre un débit d'attrait à proximité en restant là encore très vigilant pour que cet écoulement participe bien à l'attractivité et ne masque pas le jet de la passe à poissons.



La problématique des variations de niveau aval des 1^{ers} ouvrages à la mer.

Les milieux soumis à la marée se caractérisent par de très fortes variations de niveau d'eau (de 0.5 à parfois plus de 4 à 6 m). À marée basse, la cote basse de l'eau impose de fortes différences de hauteur d'eau en aval et entre les bassins, donc des vitesses élevées dans le dispositif. À marée haute la réduction de la différence de hauteur d'eau peut noyer les bassins aval, et ainsi rendre le dispositif non-attractif.



Photos 69 et 70 : Illustrations d'une passe à poisson avec une chute d'eau aval infranchissable à marée basse (a) et une absence de chute donc d'attractivité à marée haute (b).

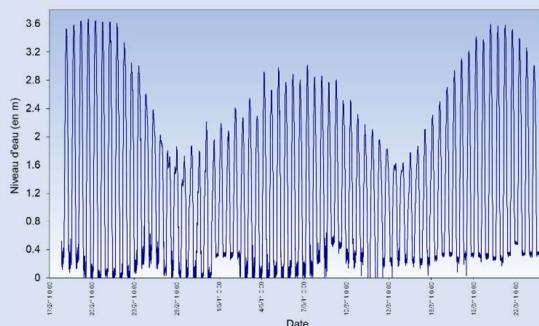


Figure 103 : Evolution des niveaux d'eau en aval d'une porte à marée sur le canal de Charras (données OFB).

Dans ces configurations, les rampes en enrochement sont très peu adaptées du fait de la hauteur maximale à franchir (souvent > 3 m) et de l'impossibilité de régler le niveau aval dans l'ouvrage. Seule les passes à fentes verticales peuvent éventuellement s'adapter à ces configurations. Toutefois, ces passes à poissons réclament des débits importants pour fonctionner (souvent >700-800 l/s), soit des débits peu souvent disponibles en sortie de marais. De plus, la mise en place de vannages automatisés permettant de maintenir une chute quasi-constante en aval au fur et à mesure que le niveau aval évolue est techniquement complexe et d'un coût élevé pour la construction et pour l'entretien. Il est évidemment possible de faire le choix de ne pas adapter la chute aval de la passe à poissons aux variations de niveau et ainsi de n'avoir qu'une durée limitée de fonctionnement optimal de la passe par marée. Mais ce choix limite beaucoup l'efficacité des dispositifs.

- **Comment choisir le bon dispositif de franchissement ?**

Il existe une large gamme de solutions techniques pour le franchissement piscicole. Nous ne les détaillerons pas toute dans ce document. Il existe pour cela différents guides mentionnés au début de ce chapitre 4.3.

Nous différencierons :

- les ouvrages susceptibles d'assurer le franchissement de plusieurs espèces cibles et de plusieurs tailles de poissons. Ce sont prioritairement les passes à fentes verticales, les rampes en enrochement régulièrement réparties et les rivières de contournement,



Les dispositifs de franchissement adaptés à plusieurs espèces

Passes à fentes verticales :

| | |
|-------------------------------|---|
| Espèces cibles | Toutes les espèces de taille >10 cm |
| Débits | De 0.7 à 1.5 m ³ /s |
| Hauteur totale de chute | De 1 à 6-7 m |
| Hauteur de chute entre bassin | 15 cm : poissons [10-15 cm] 20 cm : poissons [15-20 cm] 25 cm : poissons [>20 cm] |
| | Multi-espèces Génie civil compact Supporte variations Heau amont |
| | Débit élevé Sensible aux défauts d'entretien |



Photos 71 et 72 : Illustrations passe à poissons à fente verticale (@ECOGEA).

Rampes en enrochements régulièrement répartis :

| | |
|-------------------------|--|
| Espèces cibles | Toutes les espèces de taille >10 cm |
| Débits | De 0.3 à >5 m ³ /s |
| Hauteur totale de chute | De 0.5 à 2.5-3 m |
| Pente et débit unitaire | 1.5-2%-150-200 l/s/m : poissons [10-15 cm] 2-3%-200-300 l/s/m : poissons [15-20 cm] 3-5%-300-400 l/s/m : poissons [>20 cm] |
| | Multi-espèces (nécessité adaptation pour grande alose) Adaptée débit réduit (>150 l/s) Supporte variations Heau amont avec déver latéral |
| | Hauteur de chute limitée Génie civil conséquent Sensible aux défauts d'entretien |



Photos 73 et 74 : Illustrations rampes en enrochements (@Catchment solutions - FDAAPPMA 33).

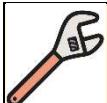
Rivière de contournement :

| | |
|-------------------------|---|
| Espèces cibles | Toutes les espèces |
| Débits | De 0.3 à >5 m ³ /s |
| Hauteur totale de chute | De 0.5 à 2.5 m |
| Pente et débit unitaire | 1.5-2%-150-200 l/s/m : poissons [10-15 cm] 2-3%-200-300 l/s/m : poissons [15-20 cm] 3-5%-300-400 l/s/m : poissons [>20 cm] |
| | Multi-espèces avec possibilité différentes configurations adaptées à des tailles de poissons très différentes Supporte variations Heau amont si seuils adaptés Peu sensible au défaut entretien |
| | Hauteur de chute limitée Génie civil très conséquent Disponibilité foncière |



Photos 75 et 76 : Illustrations rivières de contournement (@Smaas -FDAAPPMA 14).

- les ouvrages spécifiques dont les caractéristiques sont adaptées au franchissement d'une espèce et même d'une certaine classe de taille de cette espèce. C'est le cas des rampes spécifiques pour les anguilles.



Les dispositifs de franchissement spécifiques adaptés à l'anguille

Rampes à brosses :

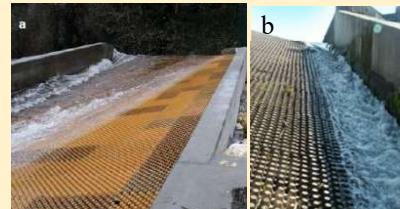
| | |
|--------------------------|--|
| Taille cible | Anguilles <20 cm |
| Débits | 5->100 l/s |
| Hauteur totale de chute | De 1 à >20 m (mais avec bassin repos) |
| Configurations possibles | Alimentation gravitaire avec déver latéral Alimentation par pompage – passe piége |
| Pente | 20 à 90% |
| | Génie civil très compact Coût limité Faible besoin en débit (mais efficacité améliorée avec débit attrait) |
| | Réserve au franchissement des jeunes stades d'anguille Attractivité limitée pour les systèmes de grande largeur Besoin d'un entretien régulier |



Photos 77 et 78 : Illustrations passe brosse à alimentation gravitaire (a) et (b) par pompage (@ECOGEA).

Rampes à plots :

| | |
|--------------------------|--|
| Taille cible | Anguilles 10-35 cm |
| Débits | 20->100 l/s |
| Hauteur totale de chute | De 1 à >20 m (mais avec bassin repos) |
| Type de supports | Elastomère ABS (attention certains supports sont très fragiles) Béton |
| Configurations possibles | Alimentation gravitaire avec déver latéral Possibilité de mixer les supports avec les brosses |
| Pente | 5 à 60° |
| | Génie civil très compact Coût limité Assez faible besoin en débit (mais efficacité améliorée avec débit attrait) |
| | Réserve au franchissement des anguilles jusqu'à 30-35 cm Besoin d'un entretien régulier |



Photos 79 et 80 : Illustrations rampes à plots (a) élastomères (@Marseille Modelage Mécanique), (b) béton (@Ichtyologic).

Outre les espèces cibles et leur taille, les débits disponibles pour la passe à poissons, le choix du dispositif doit également tenir compte des disponibilités foncières en termes d'implantation et surtout des possibilités d'entretien. En effet, une passe à poissons est un dispositif artificiel soumis à tous les aléas hydroclimatiques, au vieillissement des matériaux ainsi qu'aux actes de malveillance. **La majorité des dispositifs réclame un suivi et un entretien régulier pour garantir une bonne fonctionnalité. Si celui-ci ne peut être assurer de manière pérenne, c'est la fonctionnalité du dispositif qui sera gravement mis en cause.**



Photos 81 et 82 : Illustrations de deux configurations de passes à poissons avec des emprises foncières très différentes.



Guides pour le diagnostic de fonctionnement hydraulique et l'entretien des passes à poissons

Guides diagnostic de fonctionnement hydraulique des passes à poissons :

- Germis G., Arago M.A., Giret A., 2015. Evaluation de l'état et de la fonctionnalité des passes à poissons en Bretagne". Contrat Plan Etat-Région 2007-2013. Rapport ONEMA, BGM, 48 p.
- Baudoin J.M., Burgun V., Chanseau M., Larinier M., Ovidio M., Sremski W., Steinbach P. et Voegtle B., 2014. Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons. Principes et méthodes. Onema. 200 p.

Guides entretien des passes à poissons :

- Hilaire M., Sénéchal A., Besse T., Baisez A., 2014. Guide de gestion et d'entretien des dispositifs de franchissement des ouvrages hydrauliques pour les poissons migrateurs. LOGRAMI, 63 p.
- Larinier M., 2005. L'entretien des passes à poissons. Larinier M., 2005, Agence de l'eau Adour Garonne, CSP, GHAPPE, 6 p.

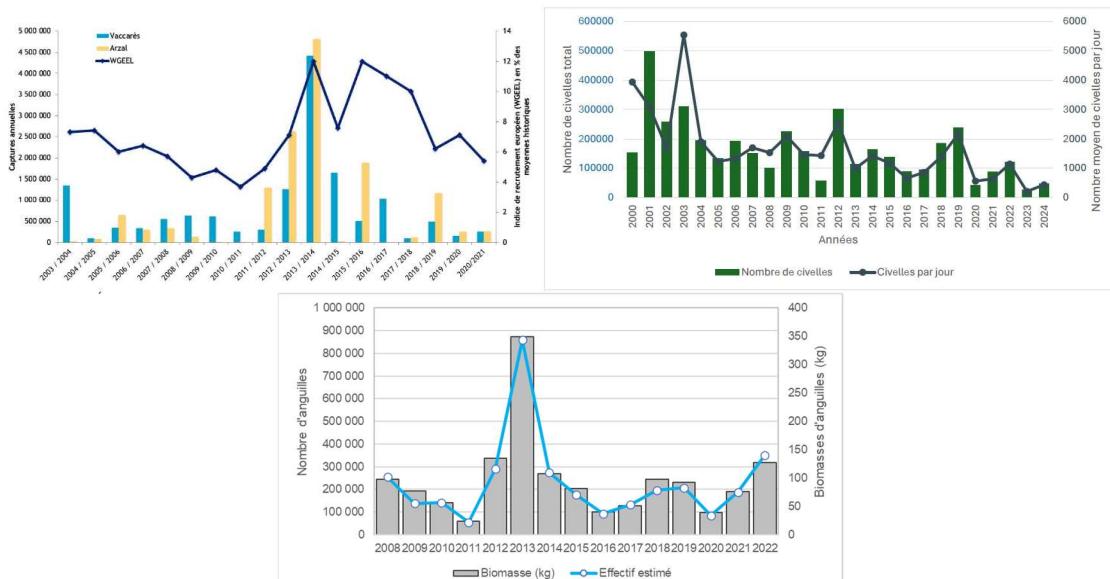


Photos 83 et 84 : aux (©MRM : ©Worcester News).

8.3.1.2.2. L'efficacité des dispositifs

L'efficacité des passes à poissons peut être évaluée directement en comptabilisant les passages des poissons dans des dispositifs dédiés (piégeage, comptage vidéo), par des suivis basés sur du marquage ou indirectement par des suivis de l'état des stocks en amont des ouvrages.

On dispose au niveau national de nombreux suivis sur différentes passes spécifiques pour les anguilles (passes piége) qui permettent d'évaluer des flux de poissons. C'est le cas notamment pour des 1ers ouvrages à la mer comme à Arzal sur la Vilaine, les Enfreneaux sur la Sèvre Niortaise, le Pas du Bouc sur le canal des étangs ou encore au grau de la Fourcade (Vaccarès) en Camargue. Sur ces différents sites, les quantités d'anguilles comptabilisées annuellement de 20 000 à 4 700 000. Ces quantités sont très variables d'une année sur l'autre avec des patrons spécifiques à chaque site.



Figures 104, 105 et 106 : Evolution inter-annuelle du nombre d'anguilles comptabilisées à Arzal et Vaccarès (a), Enfreneaux (b) et Pas du Bouc (c) (données MRM, Parc Naturel Régional du Marais Poitevin et FDAAPPMA de Gironde).

Des suivis spécifiques de civelles marquées sur 3 sites français (Enfreneaux, Saujon (Seudre) et Pas du Bouc) ont permis d'évaluer des efficacités de passe brosse variant entre 22%-24% (Pas du Bouc, Enfreneaux) et 41% (Saujon) (Rigaud *et al.*, 2014.). Ces suivis ont montré que la très grande majorité des civelles franchissaient la passe dans les 10 jours suivant leur marquage et leur remise à l'eau en aval. Sur une passe à anguille de la rivière Yser en Belgique, Van Wichelen *et al.* (2021) ont obtenu des taux de franchissement proches de 50%.

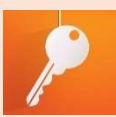
Depuis 2024, la Fédération pour la Pêche et la Protection des Milieux Aquatiques de Gironde conduit un suivi de brochets marqués par radio-télémétrie au niveau de la Réserve Naturelle de Cousseau et du canal de jonction entre les lacs de Lacanau et Carcans. Vingt-un brochet ont été marqués. Le suivi a montré qu'aucun poisson n'avait pu franchir la passe à poissons du barrage de Montaut mais qu'en revanche une partie importante des poissons est remontée vers le marais du Gnac en empruntant la passe à poissons qui relie le canal à cet habitat (voir <https://www.peche33.com/2024/05/suivi-reproduction-brochets/>).

En Australie, le suivi d'une passe en enrochement au niveau des marais du Queensland a permis de comptabiliser Sur trois jours, un total de 2 730 poissons représentant 13 espèces ont été capturés. Les espèces diadromes – sont dominantes avec également des poissons de très petites tailles (<https://www.catchmentsolutions.com.au/projects/macwetland-a-restoration-success-story/>).



Photos 85 et 86 : Illustrations des poissons capturés sur passe en enrochement dans un marais du Queensland Australien (© Catchment Solutions).

Dans les marais d'Aure du Cotentin, le suivi des populations d'anguilles a permis d'observer des densités d'anguilles deux fois plus élevés qu'avant les travaux de construction de la passe à poisson (FDAAPPMA 14).



Ce qu'il faut retenir : Les solutions techniques de type passes à poissons peuvent être adaptées pour atténuer les impacts des ouvrages en marais sur la libre circulation piscicole. Il existe un large panel de solutions qui sont capable de répondre à différentes situations. Le choix et le dimensionnement de la bonne solution technique doit s'appuyer sur une démarche séquentielle qui analyse les cibles biologiques, les particularités du site (hauteur de chute, gestion des vannages ou des clapets, débit disponible, emprise foncière, possibilité d'entretien). C'est à l'issue de l'analyse de l'ensemble de ces paramètres que le choix doit être effectué.

Les situations hydrologiques assez contraintes de beaucoup de marais littoraux et notamment la faiblesse des débits pendant certaines saisons couplées aux exigences de gestion des niveaux d'eau constituent des facteurs assez limitant pour la mise en œuvre de certaines solutions de passes à poissons et notamment celles réclamant des débits importants (passes à fente verticale par exemple). Dans tous les cas, il pourra être difficile d'assurer une bonne fonctionnalité hydraulique des dispositifs sur de longues périodes. Il conviendra probablement de cibler les périodes les plus propices à la migration des espèces.

Les dispositifs de type rampe à brosses et ou à plots dédiés au franchissement des anguilles et plus particulièrement des jeunes stades sont, eux peu exigeants en termes de débits, même si les flux d'anguilles peuvent être largement stimulés par une hydrologie soutenue. Ils peuvent donc équiper assez facilement les ouvrages au sein des marais.

Il est enfin indispensable de tenir compte des forts besoins en termes d'entretien de l'ensemble des dispositifs. Dès la conception, cette contrainte doit être totalement intégrée et surtout gérée, ensuite, sur le long terme.

8.3.2. LES SOLUTIONS DEDIEES A LA DEVALAISON

Au sein des marais et des lagunes, ce sont surtout les dispositifs de pompage des eaux que ce soit pour assurer l'alimentation amont ou le retour vers la mer qui sont impactants pour les poissons.

Comme pour les turbines hydroélectriques, des pompes dites ichtyocompatibles (« fish-friendly ») ont été développées. Elles reposent sur des principes de faible vitesse de rotation et de configuration des pales limitant les risques de blessure pour les poissons. On trouve soit des pompes axiales ou des pompes de type vis d'Archimède.



Photos 87 et 88 : Illustrations de deux types de pompes classées comme ichtyocompatibles (© Bosman Water management ; Flowserv)

Brunel *et al.*, (2024) ont testé une pompe axiale présentée comme ichtyocompatible. La survie des anguilles a bien été de 100% mais en revanche, elle a été de 70% pour les gardons et surtout de seulement 24% pour les brèmes. Au Pays-Bas, Wanink *et al.* (2013) ont instrumenté le remplacement de pompes « normales » par des pompes ichtyocompatibles. Les mortalités de différentes espèces de poissons sont passées de 27% à 0.1% avec, là encore, des différences importantes entre les anguilles pour lesquelles les mortalités sont nulles et les cyprinidés ou les perches qui subissent encore des dommages avec les pompes ichtyocompatibles.

Des solutions de plan de grilles avec de faibles espacement de barreaux associés à des exutoires comme pour les prises d'eau de centrales hydroélectriques sont difficiles à mettre en œuvre étant donné la difficulté du retour des poissons soit en aval ou en amont dans une zone où les niveaux d'eau sont supérieurs. Il n'est en tout cas pas possible de s'appuyer sur des écoulements gravitaires pour restituer les poissons.



Ce qu'il faut retenir : Des solutions techniques basées sur des pompes à faible vitesse de rotation avec des designs de pales adaptés ont été développées pour rendre ichtyocompatibles les pompes utilisées dans les marais pour évacuer l'eau. Actuellement, si ces dispositifs présentent des résultats satisfaisants pour les anguilles, elles provoquent encore des dommages pour les autres espèces qui empêchent de les considérer réellement comme ichtyocompatibles.

8.4. LES SOLUTIONS TECHNIQUES POUR LA RESTAURATION

8.4.1. LA DEPOLDERISATION

Depuis plusieurs années, comme dans les cours d'eau, des solutions de renaturation ont été mises en œuvre en procédant à l'effacement des ouvrages. Ces solutions permettent à la fois de faire disparaître les impacts des ouvrages sur la libre circulation des espèces et des sédiments mais également de restaurer le fonctionnement hydrodynamique naturel des milieux aquatiques.

Dans le cas des systèmes estuariens et côtiers, cette renaturation est appelée dépoldérisation. Depuis 25 ans, ces opérations sont en progression en Europe. En 2018, on comptait 120 km² dépoldérisés avec une centaine de sites de travaux (Gianella Goeldner, 2018). En revanche, en France, on ne compte encore qu'une dizaine de sites pour moins de 70 ha.

8.4.1.1. LES PRINCIPES DE LA DEPOLDERISATION

La dépoldérisation vise à réactiver les processus hydro-sédimentaires associés à la marée sur un territoire qui en était dépourvu. Pour cela, l'objectif est de permettre une entrée importante de volumes d'eau de mer ou d'estuaire.

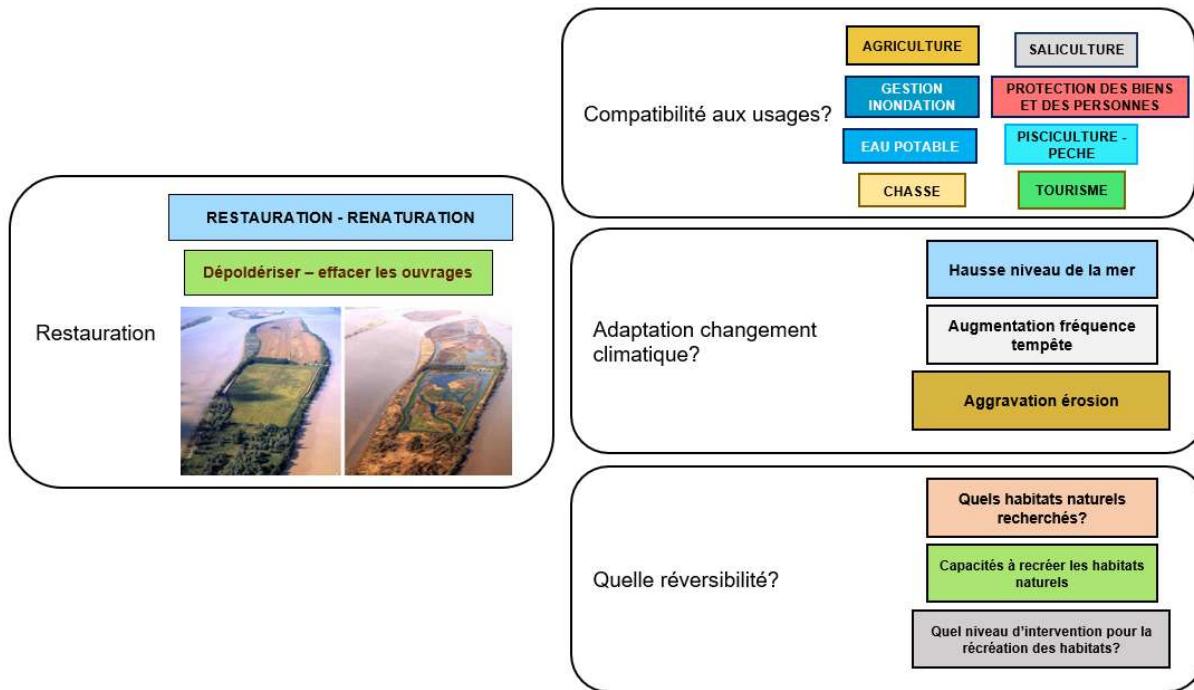


Figure 107 : Les principaux enjeux associés aux projets de restauration des zones côtières et estuariennes par dépoldérisation.

Techniquement, la mise en œuvre des actions de dépoldérisation peut s'appuyer sur plusieurs modalités :

- Création spontanée ou artificielle d'une ou plusieurs brèches dans la digue,
- Suppression totale ou partielle de la digue,
- Abaissement de la digue,
- Aménagement ou réaffectation d'ouvrages hydrauliques au niveau de la digue (e.g. tuyaux, clapets, vannes, dalots, portes à marées).

Si l'ouverture, l'abaissement et/ou l'enlèvement des digues de protection entre mer et marais ne présentent pas de difficultés majeures en termes de travaux (on ne parle bien évidemment pas ici de toutes les difficultés associées aux usages et à certains enjeux écologiques), le retour de la marée dans le marais ne signifie pas directement la renaturation directe des territoires. En effet, lorsque ceux-ci ont été profondément façonnés par l'homme (creations de fossés, de bassins, d'étangs...), il faudra probablement plus de temps pour que les habitats retrouvent leur aspect naturel même si la dynamique estuarienne ou côtière est réactivée. Des interventions et aménagements complémentaires peuvent d'ailleurs être réalisés à l'intérieur des sites : (1) remodelage de la topographie du site (abaissement du terrain ou, à l'inverse, apport de matériaux exogènes), (2) comblement des anciens fossés agricoles, (3) creusement d'un ou plusieurs réseaux de chenaux, et (4) creusement de dépressions formant des retenues plus ou moins permanentes.

Lorsque le flux et le reflux des marées ne sont plus contraints, la dépoldérisation va s'accompagner d'un ensemble de transformations hydromorphosédimentaires et écologiques, qui varient selon les sites et s'opèrent à différentes échelles temporelles. Parmi ces transformations, on observe, par exemple, le recreusement naturel d'un réseau de chenaux de marée, la formation de retenues tides plus ou moins permanentes, le développement de la végétation vasculaire et la recolonisation du substrat par les invertébrés benthiques typiques des zones estuariennes (Babtie Group, 2001 ; Eertman et al., 2002 ; French, 2006). La dépoldérisation conduit ainsi, à plus ou moins long terme, à la reformation d'habitats de marais intertidaux et de vasières inter-viore subtidales.

8.4.1.2. LES EFFETS ECOLOGIQUES ET HYDRODYNAMIQUES DE LA DEPOLDERISATION

L'ouverture et/ou l'enlèvement des digues remet en marche les mécanismes hydro-sédimentaires associés aux marées. Dans un suivi en Belgique, Oosterlee *et al.* (2019) ont observé une forte sédimentation de l'ordre de 60 à 400 cm/an dans les 2.5 mois suivants l'ouverture après ouverture complète du marais à la marée. Dans la Baie de Fundy au Canada, Virgin *et al.* (2020) ont également montré une forte reprise de la dynamique sédimentaire après ouvertures des digues. Cette reprise s'est accompagnée du développement des formations végétales caractéristiques des vasières à la place de celles des marais endigués.

Les études réalisées dans l'estuaire de la Gironde à partir de la comparaison de 13 sites correspondant à des milieux intertidaux ouverts, des marais endigués et deux marais dépoldérisés, l'un depuis un an (l'île Nouvelle), l'autre depuis 12 ans (le marais de Mortagne) (Rimond et Lechêne, 2014 ; Lechêne, 2017). Ces suivis ont clairement montré que les marais dépoldérisés suivaient une trajectoire d'évolution des communautés biologiques qui tendaient à les rapprocher des vasières de l'estuaire avec de plus fortes densités de crustacés ainsi que d'espèces marine migratrices comme le bar. Même pour l'anguille, les résultats ont révélé des densités plus élevées dans les habitats dépoldérisés. Les communautés piscicoles des milieux dépoldérisés se caractérisent par une plus grande diversité de traits biologiques répondant à la recréation d'une plus diversité d'habitats par rapport aux marais endigués initiaux (Lechêne *et al.*, 2018).

Dans l'aber de Crozon en Bretagne, l'étude des peuplements piscicoles 4 après la réouverture a montré que la richesse piscicole avait atteint une vingtaine d'espèces soit une valeur proche des situations anciennes sans régulation (Bawedin, 2000 ; Goeldner-Gianella, 2007). En Angleterre, la réouverture des digues du marais de Abbot Hall a permis de recréer 80 ha de zones humides avec le retour de plusieurs espèces de poissons dont le mulet lippu, le hareng, l'athérine ou le flet (Colclough *et al.*, 2005).

Des résultats similaires sont observés après la renaturation du secteur des étangs et marais des Salins de Camargue. Le suivi piscicole a permis de recenser 52 espèces de poissons sur 8 sites différents ainsi que 11 espèces de crustacés (Nicolas *et al.*, 2021). Parmi toutes ces espèces, on dénombre 15 espèces d'eau douce, 10 espèces des lagunes, 3 espèces migratrices amphihalines, 15 espèces marines migratrices, et 9 espèces marines migratrices occasionnelles.

Dans la Baie du Delaware aux USA, la réouverture des digues au sein d'un marais salant a provoqué une augmentation de la richesse en espèces piscicoles (de 5 avant les travaux à plus de 12 après les travaux) (Abble *et al.* 2000).



Ce qu'il faut retenir : La réouverture des marais littoraux aboutit à reprise très rapide des processus hydro-sédimentaires associés aux marées. Cette nouvelle dynamique est accompagnée d'une colonisation rapide par les espèces notamment les espèces marines qui retrouvent très vite dans ces espaces, les habitats de nurserie nécessaires à leurs juvéniles.

Cette renaturation permet également des gains en termes de fonctionnement trophique et de capacités auto-épuratoires.

8.4.2. L'AMENAGEMENT DES HABITATS EN MARAIS

8.4.2.1. LE CAS DES FRAYERES A BROCHET

Au sein des marais doux, des actions de restauration de zones favorables à la reproduction du brochet sont conduites depuis plus de 20 ans. Ces actions se basent souvent sur des travaux de reconnexion d'habitats latéraux pour améliorer leur inondabilité. Des reprofilages sont également réalisés afin de favoriser l'ennoiement et le développement d'une végétation propice à la reproduction de cette espèce (UFBAG, 2014).

Ces travaux sont très souvent réalisés sur des sites qui, du fait de changement de dynamique hydrologique et morphologique ou de modifications de usages, ce sont, au fur et à mesure du temps, comblés avec parfois un développement de végétation arbustive et arborée.

Les suivis biologiques réalisés dans ces milieux après les travaux de restauration permettent, très souvent, de constater la reprise d'une reproduction de l'espèce (Compagnat et Baran, 2005 ; Mirkovic, 2014). Toutefois, la réussite de la reproduction reste liée au contexte hydrologique et à l'intensité des débordements ainsi qu'au

maintien de la végétation herbacées et/ou semi-aquatique (héliophytes). En l'absence de paturage, le risque de boisement est fort.



Photos 89 et 90 : Illustrations de travaux de reprofilage d'une frayère à brochet en marais (a) et d'une frayère en eau (b) (©FDAAPPMA Vendée).

8.4.2.2. L'ARRET DES ENTRETIENS DANS LES MARAIS ENDIGUES

Récemment, l'acquisition de certains marais par de nouvelles structures gestionnaires a pu conduire à de nouvelles modalités de gestion et notamment l'arrêt de l'entretien de la végétation et des curages. C'est le cas par exemple dans le marais de Pen en Toul en Bretagne. Après son acquisition 1995 par l'association Bretagne Vivante, les usages et les opérations d'entretien ont été abandonnés. Ceci s'est traduit par la colonisation d'une espèce arbustive envahissante, la bacchante (*Baccharis halimifolia*) et une sédimentation accrue du marais d'autre part. De nouvelles modalités de gestion ont été mise en œuvre depuis pour limiter ces phénomènes.

9. SYNTHESE PARTIE 2

Le travail de synthèse des connaissances a porté sur la typologie des ouvrages en marais, leurs impacts sur la libre circulation des espèces, sur les habitats, la qualité des eaux et le transit sédimentaire et les solutions techniques pour réduire ces impacts notamment sur la libre circulation des poissons et des crustacés.

9.1. TYPOLOGIE DES OUVRAGES EN MARAIS

Les marais littoraux sont des milieux fortement anthropisés dans lequel les ouvrages hydrauliques jouent un rôle majeur pour la gestion et la circulation de l'eau, la création et le maintien des habitats et donc pour la biodiversité. On distinguera :

- Les 1^{ers} ouvrages à la mer qui gèrent les échanges avec le milieu marin ou estuaire. Ces ouvrages sont constitués par des portes à marée, des clapets et/ou des vannages
- Les ouvrages au sein des différents casiers des marais qui gèrent le maintien en eau des habitats, les apports d'eau dans le marais et l'évacuation en période de forte hydraulicité. Il existe une très grande diversité d'ouvrages (vannes, vannettes, moines, batardeaux...). En plus de ces ouvrages, il faut également considérer les ouvrages associés aux accès au parcellaire agricole et aux infrastructures (routes, pistes, chemin) très souvent constitués par des buses ou des dalots.
- Les ouvrages de pompage assurant l'évacuation de l'eau dans le cas des casiers dont le niveau est plus bas que celui de la mer.

A chaque type d'ouvrages, il est possible de calculer des débits transitant et des vitesses d'écoulement sur la base des formules hydrauliques applicables à des vannes fonctionnant en sousverse et/ou des déversoirs fonctionnant en surverse. Pour cela, des mesures des niveaux d'eau de part et d'autre des ouvrages ainsi que de leur section d'ouverture sont indispensables.

Dans les cas des 1ers ouvrages à la mer, les calculs doivent tenir compte de la dynamique d'évolution des niveaux d'eau de part et d'autre de l'ouvrage au cours d'un cycle de marée.

Actuellement, les inventaires des ouvrages sont en cours dans de nombreux marais et lagunes. Ce recensement est une étape indispensable dans la mise en œuvre d'actions au profit de la libre circulation des espèces.

9.2. LES IMPACTS DES OUVRAGES

Les ouvrages, éléments essentiels du fonctionnement des marais aménagés, ont des impacts sur leur fonctionnement hydraulique et sédimentaire, la diversité des habitats et la qualité physico-chimique des eaux. Ces impacts se traduisent par :

- Un effet barrière que ce soit sur les flux d'eau, de sédiments et les flux biologiques,
- Un effet sur les niveaux d'eau, les habitats et les conditions physico-chimiques.

Il existe de nombreuses interactions entre ces deux catégories d'impacts. Les modifications des conditions hydrauliques par exemple ont de fortes incidences sur les comportements migratoires de beaucoup d'espèces, incidences qui viennent s'ajouter à l'effet obstacle des ouvrages.

Lorsque l'on analyse la situation des communautés biologiques, il est donc très difficile d'identifier et surtout de hiérarchiser les différentes altérations liées à ces ouvrages. Les réponses des communautés biologiques vont dépendre, à la fois, des possibilités de migration et de déplacement mais également des potentialités d'accueil. Chacune sera directement liée aux ouvrages, à leurs caractéristiques et à leur mode de gestion.

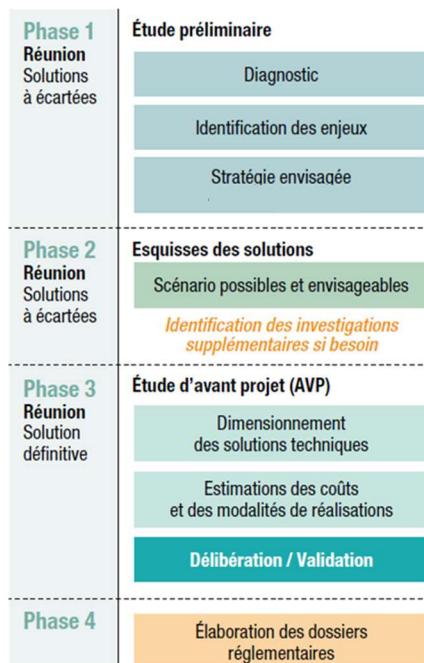
9.3. LES SOLUTIONS TECHNIQUES

9.3.1. LA DEMARCHE

Il est indispensable de bien distinguer :

- Les solutions techniques qui visent à atténuer les impacts des ouvrages,
- Les solutions de restauration qui visent, sur la base de la suppression des ouvrages à redonner une dynamique naturelle au territoire (dépoldérisation).

La mise en œuvre des solutions techniques doit s'insérer dans les politiques de gestion des territoires. Elle doit s'appuyer une démarche en plusieurs phases.



9.3.2. LES DIFFERENTS TYPES DE SOLUTIONS TECHNIQUES

9.3.2.1. LES SOLUTIONS POUR ATTENUER LES IMPACTS

L'atténuation des impacts des ouvrages vis-à-vis de la libre circulation des espèces peut s'appuyer sur différentes solutions techniques que l'on peut classer en 2 catégories :

- Les solutions basées sur la gestion des ouvrages,
- Les solutions basées sur des dispositifs de franchissement dédiés aux poissons (passes à poissons).

Une gestion des ouvrages assurant le franchissement des poissons et des crustacés s'appuie sur la mise en œuvre de conditions hydrauliques (vitesse d'écoulement) compatibles avec les capacités de nage des espèces. Ces conditions hydrauliques sont directement dépendantes des différentiels de niveaux d'eau de part et d'autre des ouvrages. Pour des espèces à faibles capacités de nage comme la civelle, les franchissements sont possibles au travers des vannages pour de très faibles différentiels de hauteur d'eau (<2-3 cm). La mise en œuvre de ces solutions passe donc par une connaissance et une instrumentation des niveaux d'eau en marais. Cette gestion ne peut être qu'adaptative en fonction de l'évolution des conditions hydrologiques dans le marais, des calendriers biologiques et des contraintes d'usages. Elle ne peut reposer que sur une présence humaine.

Pour les 1^{ers} ouvrages à la mer, les solutions de gestion à mettre en œuvre sont différentes selon que l'on s'intéresse à des espèces utilisant le transport tidal sélectif (ex : la civelle qui se déplace lors des phases de flot) et les espèces remontant principalement lors des phases de jusant. Pour les espèces comme la civelle, le principe de gestion des ouvrages repose sur la mise en œuvre d'aménagements (vantelles, raidisseurs, cales) permettant une entrée d'eau salée lors des phases de flots. Les quantités de poissons entrant dépendront fortement des volumes d'eau acceptables en amont en fonction des contraintes de salinité, d'envasement et de débordement.

Lorsqu'il n'est pas possible de mettre en œuvre une gestion adaptée des ouvrages, il est possible d'avoir recours à des dispositifs de franchissement de type passes à poissons. Les passes spécifiques à anguilles (rampes équipées de brosse) sont utilisables en marais car leur fonctionnement ne réclame pas de forts débits. En revanche, les dispositifs de type passes à bassins ou rampes en enrochement sont beaucoup plus difficiles à mettre en œuvre car leur fonctionnement réclame des débits conséquents (plusieurs centaines de litre par seconde), débits très peu souvent disponibles toute l'année dans les marais.

Les suivis mis en œuvre sur différentes passes spécifiques à anguilles montrent que d'importantes quantités de civelles et d'anguillettes empruntent ces dispositifs (de 20 000 à 4 700 000 par an selon les sites suivis). Ces quantités sont très variables d'une année sur l'autre avec des patrons spécifiques à chaque site. En ce qui concerne les 1^{ers} ouvrages à la mer, les suivis réalisés ont montré qu'il était possible de faire entrer de 0.5 à 10 kg de civelles par marée.

9.3.2.2. LES SOLUTIONS POUR LA RESTAURATION

La mise en œuvre des actions de dépoldérisation conduit à de très profondes modifications des marais. Le retour de la dynamique des marées conduit à des changements importants des habitats, de la physico-chimie des eaux et par voie de conséquence des cortèges d'espèces. Les incidences sur les usages sont également fortes.

Listes figures.

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Évolution des effectifs annuels de grande alose et de lamproie marine additionnés à l'échelle nationale. Les courbes blanches représentent la variation moyenne des effectifs annuels et les rubans gris les intervalles de confiance à 95%.(in Hoffmann Legrand, 2021) | 6 |
| Figure 2 : Evolution des débarquements mondiaux de bar commun (source FAO 2022) | 7 |
| Figure 3 : Typologie de l'habitat décliné 1150-1 Lagunes en mer à marée (façade atlantique) (d'après Lepareur et al., 2013). En bleu, types décrits et définis par le CREAA (2008)..... | 10 |
| Figure 4 : Schéma d'illustration de marais doux (a) et de marais salés (b)(in Anras, 2013) | 11 |
| Figure 5 : Typologie et utilisation principale des différents types de marais (in Hussenot et al., 1996) | 11 |
| Figure 6 : Typologie simplifiée de la mosaïque d'habitats composant les systèmes littoraux en domaine estuaire de Manche et Atlantique. | 12 |
| Figure 7 : Schéma de fonctionnement d'une lagune méditerranéenne (Source : https://www.eaufrance.fr/estuaires-lagunes-et-deltas-des-ecosystemes-riches-en-biodiversite) | 12 |
| Figure 8 : Chaîne de causalité simplifiée pour la caractérisation des potentialités d'accueil piscicole des marais littoraux (flèches bleues : relations induites par les flux d'eau, flèches noires : relations induites par la morphologie, flèches oranges : relations liées à la physico-chimie des eaux, flèches vertes : relations liées à la biologie). | 14 |
| Figure 9 : Exemple générique d'emboîtement d'UHC dans les marais atlantiques. Rouge : UHC de niveau 1, Vert : UHC de niveau 2, Bleu : UHC de niveau 3. Chaque niveau est sous dépendance hydraulique du niveau supérieur. L'UHC niveau 1 est elle-même sous dépendance du régime ou de la gestion du cours d'eau qui parcourt la bordure Nord (Photo FMA)(Anras, 2020 in Amand et al 2021). Ces dépendances (flux) peuvent être inversées ou d'une autre nature entre le régime hiver et le régime été. | 15 |
| Figure 10 : Groupes d'espèces fonctionnelles ayant une signification écologique, utilisés pour affiner les définitions de certaines associations de végétation de marais (in Landucci et al. 2020)..... | 17 |
| Figure 11 : Roselière avec scirpaie (Crédit photo : Cap Atlantique). | 18 |
| Figure 12 : Moyennes mensuelles des niveaux d'eau mesurés en continu ou manuellement en différents points du complexe lagunaire du Vaccarès (in Nicolas et al., 2020)..... | 20 |
| Figure 13 : Enregistrements des niveaux d'eau à différents endroits du canal de Charras (estuaire de la Charente). (a) niveau d'eau en aval de la vanne T1 (correspondant à la contrainte en aval) et niveau d'eau en amont de la vanne G1. (b) niveaux d'eau en aval et en amont de G2. (c) niveaux d'eau en aval et en amont de G3 (in Guiot et al., 2020)..... | 21 |
| Figure 14 : Suivi interannuel des niveaux d'eau du Chenal Vieux et de la réservé Saint Denis du Payré en baie d'Aiguillon en amont du 1er ouvrage à la mer (données SIEMP - Système d'Information sur l'Eau du Marais Poitevin)..... | 22 |
| Figure 15 : Suivi de la salinité de l'étang de l'Or (Hérault)(données Symbo Etablissement public territorial du bassin de l'Or). | 24 |
| Figure 16 : Evolution de la salinité en différents points du complexe lagunaire de Vaccarès sur l'année 2014 (données Suivi FILMED réalisé par la SNPNI - RNN de Camargue)..... | 24 |
| Figure 17 : Moyennes mensuelles des salinités mesurées en continu ou manuellement en différents points du complexe lagunaire du Vaccarès (in Nicolas et al., 2020)..... | 25 |
| Figure 18 : Exemple d'évolution temporelle et spatiale de salinité dans différents points de la bâie d'Aiguillon (in IFREMER, 2020, données https://life.reserve-baie-aiguillon.fr). | 26 |
| Figure 19 : Suivi de la température moyenne journalière (en °C) de 5 stations du réseau MAGEST, de l'embouchure (Le Verdon) à l'aval de la Garonne et de la Dordogne de janvier à juillet 2019 (https://www.odatis-ocean.fr/). | 27 |
| Figure 20 : Evolution de la température de l'eau en différents points du complexe lagunaire de Vaccarès (données Suivi FILMED réalisé par la SNPNI - RNN de Camargue)..... | 27 |
| Figure 21 : Exemple d'évolution temporelle et spatiale de salinité dans différents points de la baie d'Aiguillon (in IFREMER, 2020, données https://life.reserve-baie-aiguillon.fr). | 28 |
| Figure 22 : Suivi de la teneur moyenne journalière en oxygène dissous (en mg.l ⁻¹) pour les 4 stations du réseau MAGEST à l'aval de la Garonne et de la Dordogne, de janvier à juillet 2019..... | 29 |
| Figure 23 : Exemple de réseau trophique d'un estuaire du type de la Gironde (d'après Lobry, 2004, in Nicolas et al., 2010) | 31 |
| Figure 24 : Diagramme de Taylor (2005) montrant une structure trophique simplifiée et les schémas de déplacement des espèces communément rencontrées dans un marais salé. | 31 |
| Figure 25 : référentiel de l'indicateur trophique des marais (http://ligero-zh.org/la-boite-a-outils). | 32 |
| Figure 26 : Position géographique des différents exemples d'étude de la composition du peuplement piscicole en marais salés ouverts à la mer. | 34 |
| Figure 27 : Position géographique des différents exemples d'étude de dépolérisation. | 35 |

| | |
|--|----|
| Figure 28 : Localisation des stations et secteurs de pêche dans les zones inter- et subtidale de l'estuaire de la Gironde (in Rimond et Lechêne, 2014)..... | 36 |
| Figure 29 : Comparaison des nombres d'espèces par groupes fonctionnels entre les 4 types de milieux suivis (d'après Rimond et Lechêne, 2014)..... | 36 |
| Figure 30 : Occupation saisonnière des habitats intertidaux par le bar franc (<i>Dicentrarchus labrax</i>) et l'anguille (<i>Anguilla anguilla</i>) (in Rimond et Lechêne, 2014)..... | 37 |
| Figure 31 : Position géographique du marais de Bourgneuf. | 38 |
| Figure 32 : Position géographique des exemples d'études en marais dulçaquicoles..... | 38 |
| Figure 33 : Occurrence des espèces de poissons capturés en marais de Brière (d'après Cucherousset et al., 2008))..... | 39 |
| Figure 34 : Diagramme du cycle de vie des lamproies parasite anadrome (cercle extérieur) et non parasite (cercle intérieur) (in Taverny et Elie, 2010)..... | 40 |
| Figure 35 : Schéma du cycle biologique des 3 espèces d'aloises (d'après MRM)..... | 41 |
| Figure 36 : Schéma d'une frayère type de grande alose (source : Réserve Naturelle de la frayère d'aloise). | 42 |
| Figure 37 : Schéma du cycle biologique de l'anguille (d'après MRM). | 42 |
| Figure 38 : Schéma du cycle biologique du mullet porc (d'après LOGRAMI). | 43 |
| Figure 39 : Schéma du cycle biologique du flet (d'après Laroche et al., 2009)..... | 44 |
| Figure 40 : Schéma illustrant le cycle de vie de la sole commune, <i>Solea solea</i> . (Morat, 2011)..... | 45 |
| Figure 41 : Schéma théorique du cycle de vie du bar européen (in Laugier, 2015)..... | 45 |
| Figure 42 : Schéma du cycle de vie de la daurade royale entre la mer et les lagunes côtières (Théo Navarro, d'après Bodinier et al. (2010) et Lett et al. (2019)). (a) reproduction en mer des adultes, (b) recrutement des post-larves dans les lagunes, (c) croissance des juvéniles, (d) migration en mer des juvéniles (automne), (e) résidence en mer des adultes, (f) retour dans les lagunes des adultes (printemps). | 46 |
| Figure 43 : Schéma théorique du cycle de vie maigre (in González-Quirós et al., 2011)..... | 47 |
| Figure 44 : Cycle biologique du brochet (source FDAAPPMA Calvados). | 48 |
| Figure 45 : Cycle de reproduction du brochet (d'après Chancerel 2003)..... | 49 |
| Figure 46 : Cycle de vie du crabe vert (d'après Varagnolo, 2004 in Baklouti Zouari S., 2010)..... | 50 |
| Figure 47 : Représentation schématique des différentes fonctions associées aux milieux estuariens (in Muntoni, 2020).... | 52 |
| Figure 48 : Maxima thermiques critiques de neuf espèces de poissons, quatre espèces de crabes et trois espèces de crevettes de l'estuaire du Tage et des eaux côtières marines adjacentes (in Madeira et al., 2012)..... | 56 |
| Figure 49 : Les enjeux de l'hypoxie pour les migrants - Source définition d'une méthode d'évaluation DCE basée sur l'oxygène dissous et préconisations pour une stratégie de surveillance optimale des grands estuaires : synthèse des résultats obtenus (in Froussard et Lepape, 2016)..... | 57 |
| Figure 50 : Représentation schématique des fonctions ciblées et espèces retenues dans le cadre du projet PROPOSE (in Muntoni, 2020). | 58 |
| Figure 51 : Occurrence des différentes espèces de poissons échantillonées dans une prairie et trois roselières lors de la période d'inondation printanière des marais de Grande Brière en 2009 (in Paillisson et al. 2011)..... | 61 |
| Figure 52 : Proposition d'une typologie hiérarchisée permettant de caractériser les potentialités d'accueil piscicole et carcinicole. | 64 |
| Figure 53 : Schéma illustrant le cadre conceptuel général pour l'écologie du mouvement établi par Nathan et al., 2008 (in Mignucci, 2021)..... | 66 |
| Figure 54 : Modèles d'utilisation des habitats côtiers par les espèces de poissons résidentes et migratrices. Crédit images et symboles: the Integration and Application Network, University of Maryland Center for Environmental Science (ian.umces.edu/symbols/)(in Ouisse et al., 2022). | 66 |
| Figure 55 : Illustration des migrations du bar à différents stades de développement..... | 67 |
| Figure 56 : Présence mensuelle de juvéniles de soleidés en considérant tous les filets posés (filets DCE et filets à Civelles) dans dans les étangs et marais salins de Camargue (in Nicolas et al., 2021) | 68 |
| Figure 57 : Rythme migratoire de 2016 à 2018 à la passe à anguille des Enfreneaux (données Parc Naturel Régional du Marais Poitevin, Der Mikaelian, 2016) | 69 |
| Figure 58 : Nombre de captures mensuelle d'anguilles dans la passe piège de Vaccarès (in Lambrenon et al., 2021). | 70 |
| Figure 59 : Densités mensuelles de <i>C. crangon</i> sur les bancs de Bilho et de Pipy de l'estuaire de la Loire avec la situation du front de salinité (in Marchand, 1981)..... | 71 |
| Figure 60 : Exemple de déplacements du brochet au moment de la reproduction dans le bassin de l'Ourthe en Belgique (in Ovidio et Philippart, 2003). | 72 |

| | |
|---|-----|
| Figure 61 : Amplitudes des déplacements de différentes populations de brèmes selon les saisons sur la rivière Bure en Angleterre (In Winter et Britton, 2021)..... | 73 |
| Figure 62 : Diagramme triangulaire montrant le lien entre la morphologie du corps et le mode de locomotion. Aux sommets du triangle sont représentés des exemples de poissons les plus spécialistes et vers le centre les poissons plus généralistes. Schéma adapté aux espèces présentes dans les estuaires européens à partir de Wootton (1998) (in Nicolas, 2010)..... | 74 |
| Figure 63 : Présentation des différents types de nage des poissons et des vitesses associées..... | 74 |
| Figure 64 : Description des caractéristiques hydrauliques d'un obstacle nécessaires au franchissement par saut d'une espèce (In Baudouin et al., 2014) | 75 |
| Figure 65 : Evolution des quantités de daurade royale mises en ventes dans les principales criées en France de 1994 à 2016 (source : France Agrimer in Avignon, 2019). | 77 |
| Figure 66 : Schéma du fonctionnement d'un ouvrage à la mer (une porte à flots). Source : marais poitevin eval free.fr..... | 87 |
| Figure 67 : Cycle de fonctionnement d'un clapet à marée. A. Le clapet commence à s'ouvrir lorsque la pression de l'eau dans le ponceau est supérieure à la pression de l'eau du côté aval pendant la marée descendante. B. Le clapet est grand ouvert pendant la marée descendante. C. Le clapet commence à se fermer lorsque le niveau d'eau en amont baisse et que la marée commence à monter. D. La vanne de marée est fermée pendant la marée montante (in Giannico et Souder, 2005)..... | 87 |
| Figure 68 : Evolution des niveaux d'eau en amont et en aval d'une porte à flot avec identification des phases de transfert d'eau de l'amont vers laval. | 89 |
| Figure 69 : Evolution des niveaux d'eau en amont et en aval d'une porte à flot en situation d'évacuation de forts débits fluviaux..... | 90 |
| Figure 70 : Illustration des 3 situations de 1ers ouvrages à la mer. | 91 |
| Figure 71 : Exemples de 1ers ouvrages à la mer au niveau de lagunes méditerranéennes - Vannages de l'Etang de Canet (a Vanne du Chichoulet Etang de Vendres(b) Pertuis de la Fourcade en Camargue (c)..... | 92 |
| Figure 72 : Exemple de comparaison de débit transitant sous une vanne en situation dénoyée (a) et ennoyée par laval (b). | 95 |
| Figure 73 : Exemple d'évolution du débit transiting sous une vanne ennoyée par laval avec une section d'écoulement de 0.75 m ² en fonction du différentiel de hauteur entre les 2 lignes d'eau de part et d'autre de la vanne. | 95 |
| Figure 74 : Exemple de comparaison de débit transiting sur un déversoir épais en situation dénoyée (a) et ennoyée par laval (b). | 96 |
| Figure 75 : Exemple d'évolution du débit transiting sur un seuil ennoyé par laval avec une largeur de 1.5 m en fonction du différentiel de hauteur entre les 2 lignes d'eau de part et d'autre du seuil..... | 96 |
| Figure 76 : Exemple de comparaison de vitesse sous une vanne en situation dénoyée (a) et ennoyée par laval (b) et sur un seuil épais en situation d'ennoiement par laval (c). | 97 |
| Figures 77 et 78 : Courbe des vitesses maximales mesurées et exemple d'un champ de vitesse moyenne mesurée par la technologie de Vélocimétrie de suivi de particules (PTV) dans des canaux pour une vanne lisse (Vth : vitesse théorique, * + : vitesses maximales mesurées sur le terrain et en laboratoire, le trait noir représente la vitesse maximale de nage des civelles (in Guiot de la Rochère, 2020)..... | 97 |
| Figure 79 : Cartographie des ouvrages recensés dans le ROE (juin 2024) dans la zone littorale de métropole (@donnée ROE). | 98 |
| Figure 80 : Illustrations de la bancarisation des ouvrages dans le ROE pour les marais de la Seudre et de Brouage (juin 2024 ; @donnée ROE). | 99 |
| Figure 81 : Description de la chaîne pression-altération-impact au sein des marais littoraux et des lagunes. | 100 |
| Figure 82 : Suivi de niveau d'eau de part et d'autre d'une porte à flot sur la Charente au niveau de Charras au cours de 2 cycle de marée (in Lamarque et al., 2012). | 102 |
| Figure 83 : Suivi de niveau d'eau de part et d'autre d'une porte à marée sur la Charente au niveau de Charras au cours de 1.5 mois en hiver (in Lamarque et al., 2012). | 102 |
| Figure 84 : Evolution de la salinité dans la lagune du Grand Bagnas au cours des années 2011 à 2013 (données Suivi FILMED ADENA – Réserve Naturelle Nationale du Bagnas)..... | 106 |
| Figure 85 : Evolution de la salinité dans différents points du système Vaccarès au cours des années 2017 à 2019 (in Boutron et al., 2021). | 106 |
| Figure 86 et 87 : Cinétique des abondances de civelles échantillonnées 100 m en aval de l'écluse de Biard (a) et comparaison avec les vitesses de courant (trait bleu) (b) (@données OFB, Alric et al., 2013) | 110 |
| Figure 88 : Schéma synthèse des impacts des obstacles..... | 119 |
| Figure 89 : Présentation du phasage des études à mettre en œuvre pour les projets de restauration de la continuité écologique ou d'atténuation des impacts des ouvrages (in Agence de l'Eau Adour-Garonne, 2023. Bilan de la Politique de Restauration de la Continuité Écologique sur le Bassin Adour-Garonne : 2013-2020)..... | 121 |

| | |
|--|-----|
| Figure 90 : Schéma présentant les différentes composantes de la démarche préalable aux choix et au dimensionnement de solutions pour l'atténuation des impacts des ouvrages sur la libre circulation des espèces. | 122 |
| Figure 91 : Présentations des 2 stratégies de gestion des 1ers ouvrages à la mer pour permettre la libre circulation des espèces migrant en utilisant le transport tidal sélectif. | 125 |
| Figures 92 et 93 : Evolution des niveaux d'eau de part et d'autre de l'ouvrage au cours d'une marée montante (a) ainsi que des volumes entrant via les vantelles et la sousverse sous la vanne amont (b)..... | 132 |
| Figure 94 : Evolution de la salinité des eaux du bief amont portes à flot du canal de Charras lors des expérimentations de gestion avec des cales (in Lamarque et al., 2012). .. | 134 |
| Figure 95 : Evolution de la salinité moyenne des eaux du bief amont portes à flot du canal de Charras lors des expérimentations de gestion avec des cales en fonction de 3 situations hydrologiques différentes (in Lamarque et al., 2012). .. | 134 |
| Figure 96 : Comparaison des conductivités électriques sur différents sites en Nouvelle-Zélande après mise en place de retardateur de fermeture (in Instream Consulting Limited, 2018)..... | 135 |
| Figure 97 : Evolution des concentrations en MES mesurées au cours de 5 marées dans le canal de Charras (in Lamarque et al., 2012). .. | 135 |
| Figures 98 et 99 :Comparaison des cinétiques de franchissement de civelles et de concentration en MES lors de 2 marées suivie sur le canal de Charras (Lamarque et al., 2012). .. | 135 |
| Figure 100 : Evolution des hauteurs d'eau et des concentrations en MES au droit des portes à flot du canal de Charras (in Rigaud et al., 2014)..... | 136 |
| Figure 101 : Illustration d'un jet plongeant au-dessus d'une vanne ou d'un déversoir. | 140 |
| Figure 102 : Evolution des niveaux d'eau de part et d'autre d'un ouvrage en marais ainsi que de la hauteur de chute sur la période hivernale et printanière (données ECOGEA)..... | 144 |
| Figure 103 : Evolution des niveaux d'eau en aval d'une porte à marée sur le canal de Charras (données OFB). .. | 146 |
| Figures 104, 105 et 106 : Evolution inter-annuelle du nombre d'anguilles comptabilisées à Arzal et Vaccarès (a), Enfreneaux (b) et Pas du Bouc (c) (données MRM, Parc Naturel Régional du Marais Poitevin et FDAAPPMA de Gironde). .. | 149 |
| Figure 107 : Les principaux enjeux associés aux projets de restauration des zones côtières et estuariennes par dépoldérisation. | 152 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1 : Les 20 espèces de poissons concernées par la synthèse. | 4 |
| Tableau 2 : Les 5 espèces crustacés concernées par la synthèse. * Crabe vert de méditerranée..... | 4 |
| Tableau 3 : Classification des 20 espèces concernées par le bilan des connaissances en fonction de leur utilisation des marais. * L'anguille peut passer une grande partie voir la totalité de sa phase de croissance en eau saumâtre.**Le mullet porc est aussi considéré comme une espèce migratrice marine. ** L'épinoche est une espèce très plastique pouvant effectuer tout son cycle de vie en lagune ou estuaire..... | 4 |
| Tableau 4 : Définitions des groupes fonctionnels relatifs au cycle de vie des espèces utilisés. (Adapté de Elliott et al., 2007 ; Franco et al., 2008 ; extrait de Nicolas, 2010). On soulignera que l'anguille peut passer une grande partie de sa phase de croissance (vie trophique) en eau saumâtre | 5 |
| Tableau 5 : Présentation des statuts de protection des espèces migratrices amphihalines - Arrêté du 8/12/1988 visant à la protection des œufs des espèces de poissons visées - Arrêté du 6 janvier 2020 fixant la liste des espèces animales et végétales à la protection desquelles il ne peut être dérogé qu'après avis du Conseil national de la protection de la nature..... | 5 |
| Tableau 6 : Présentation des statuts de protection des espèces holobiotiques continentales..... | 6 |
| Tableau 7 : Présentation des statuts de protection des espèces holobiotiques marines. | 6 |
| Tableau 8 : Typologie SDAGE au bassin Rhône-Méditerranée-Corse et correspondance avec les autres typologies (in Agence de l'Eau RMC 2000, note technique SDAGE n°5)..... | 13 |
| Tableau 9 : Caractéristiques de salinité selon les différents types de milieu- Venise System (Anonymous, 1959 in Taverny et al., 2009)..... | 23 |
| Tableaux 10 et 11 : Caractéristiques physico-chimiques de 2 points de suivi en Baie de Bourgneuf (données Observatoire de l'Eau de la Baie de Bourgneuf) | 29 |
| Tableau 12 : Grille proposée en oxygène dissous, température, turbidité et salinité pour les poissons dans les masses d'eaux de transition françaises (* : au niveau du domaine marin de la lagune et des secteurs en relation avec le grau) (in Taverny et al., 2009)..... | 30 |
| Tableau 13 : Description sommaire des stations de pêche intertidales et salinité moyenne relevée en 2011 et 2012 - Figure 28 : Localisation des stations et secteurs de pêche dans les zones inter- et subtidales de l'estuaire de la Gironde (in Rimond et Lechêne, 2014)..... | 36 |

| | |
|---|-----|
| Tableau 14 : Gamme de tolérance [min-max] et d'optimum de développement vis-à-vis de la salinité. | 53 |
| Tableau 15 : Gamme de tolérance et d'optimum de développement vis-à-vis de la température de l'eau. | 55 |
| Tableau 16 : Principales caractéristiques des zones de frayères des 6 espèces susceptibles de se reproduire dans les marais littoraux. | 59 |
| Tableau 17 : Identification des différentes catégories de zones fonctionnelles nécessaires au bon développement d'une ressource halieutique. La zone de ponte, de même que la zone de reproduction sont regroupées dans la suite du document sous l'appellation frayères (in Delage et Lepape, 2016)..... | 67 |
| Tableau 18 : Principales périodes de migration de montaison des juvéniles des espèces migratrices marines. | 68 |
| Tableau 19 : Principales périodes de migration de dévalaison des juvéniles des espèces migratrices marines. | 68 |
| Tableau 20 : Principales périodes de migration de montaison des espèces migratrices amphihalines. | 69 |
| Tableau 21 : Principales périodes de migration de dévalaison des espèces migratrices amphihalines. | 69 |
| Tableau 22 : Principales périodes de migration de montaison du flet et du mulet porc. | 70 |
| Tableau 23 : Principales périodes de migration de dévalaison du flet et du mulet porc..... | 70 |
| Tableau 24 : Principales périodes de déplacements du brochet et de la brème adultes. | 73 |
| Tableau 25 : Principales périodes de déplacements des alevins de brochet..... | 73 |
| Tableau 26 : Vitesse maximale et vitesse critique de nage des différentes espèces de poissons. | 75 |
| Tableau 27 : Récapitulatif des stades, enjeux et périodes de migration et de déplacements pour les différents groupes d'espèces concernées par la synthèse. | 109 |
| Tableau 28 : Volumes d'eau accumulés et entrant dans le canal de Charras au cours des suivis effectués en 2010 et 2011 après installation d'un dispositif de cale sur les portes à flot (données OFB (Lamarque et al., 2012)).... | 133 |

Liste des photos

| | |
|--|-----|
| Photos 1 et 2 : Illustrations de portes à marée (portes à flot) ouvertes et fermées. | 88 |
| Photos 3, 4 et 5 : Illustrations de clapets en position ouverte et fermé..... | 88 |
| Photo 6 : Illustration d'un dispositif mixte avec porte à flot en aval et vanne en amont..... | 88 |
| Photo 7: Illustration d'une porte à flot totalement fermée bloquant les échanges d'eau et donc le passage des poissons et des crustacés. | 89 |
| Photo 8: Ecoulements avec de faibles pertes de charge de des vitesses assez réduites lors de période d'ouverture de portes à flot. Les conditions hydrauliques sont compatibles avec le franchissement de certaines espèces de poissons. | 90 |
| Photo 9 : Ecoulements à forts débits fluviaux avec une perte de charge marquée et des vitesses fortes pouvant limiter le franchissement de certaines espèces de poissons. | 90 |
| Photo 10 : Illustration de clapets reposant sur un radier incliné en aval infranchissable lorsque le niveau aval est bas. | 91 |
| Photos 11 et 12 : Illustration d'un dispositif de vannage (a) et de clapet (b)..... | 92 |
| Photos 13 et 14 : Illustration d'un dalot (a) et d'une buse (b). | 93 |
| Photos 15 et 16 : Illustration d'un batardeau (a)(©CCIN) et d'une bonde (b) (©Forum marais atlantique) | 93 |
| Photo 17 : Illustration d'un dispositif de pompage permettant d'évacuer les eaux d'un marais vers la mer. | 98 |
| Photos 18 et 19 : Porte à flot et clapet totalement fermés lors du flot empêchant tout franchissement par les espèces utilisant le transport tidal sélectif. | 110 |
| Photos 20 et 21 : Vue des écoulements au droit d'une porte à flot ouvertes dans 2 configurations de débits sortant générant des écoulements avec des vitesses différentes (©ECOGEA)..... | 111 |
| Photos 22 et 23 : Vue des écoulements au droit d'une porte à flot partiellement ouvertes dans 2 configurations de débits sortant générant des écoulements très instables ((©ECOGEA). | 112 |
| Photos 24 et 25: Vue des écoulements au droit d'une porte à flot et de clapets ouverts à marée basse dans une configuration de forts débits sortant générant de très fortes vitesses (©FDAAPPMA 33). | 112 |
| Photo 26 : Vue des écoulements en surverse au-dessus d'un vannage. | 112 |
| Photos 27 et 28 : Vues des écoulements en sousverse en dessous de vannages..... | 113 |
| Photo 29 : Vue des écoulements au niveau d'une buse..... | 113 |
| Photo 30 : Vue des écoulements au travers d'une vanne totalement ouverte. | 113 |
| Photos 31 et 32 : Illustrations de 2 passes à poissons, l'une dimensionnée pour le passage des aloises sur le Rhin (a) et l'autre spécifiquement pour celui des civelles et des anguillettes (b) (© A. Scharbert et Observatoire du Patrimoine Naturel du Marais Poitevin). | 122 |

| | |
|---|-----|
| Photos 33, 34 et 35 : Exemples de vantelles implantées sur des portes à flot..... | 126 |
| Photos 36 et 37 : Exemples de cales implantées sur des portes à flot (©MIGADO). | 127 |
| Photos 38, 39, 40 et 41 : Exemples de dispositifs retardateurs de fermeture implantées sur des portes à flot et des clapets (©Water Research Laboratory, UNSW Sydney ; SSA Environnemental ; MIGADO)..... | 127 |
| Photo 42 : Dispositif mixte avec flotteurs pour retarder la fermeture et ouverture au-dessus..... | 128 |
| Photos 43 et 44 : Exemple d'ouvrage double avec des portes à flot et un vannage amont (©OFB). | 129 |
| Photos 45 et 46 : Exemple de gestion par surverse et par sousverse d'un vannage en amont d'une porte à flot (©OFB). ... | 129 |
| Photos 47 et 48 : Illustrations d'écoulement fortement pincés au niveau de clapets à marée (©MIGADO)..... | 136 |
| Photos 49, 50 et 51 : Illustrations de différentes conditions d'écoulement sur un même ouvrage du Saucat en Gironde pour 3 situations de débit sortant (©FDAAPPMA 33). | 137 |
| Photos 52 et 53 : Illustrations de conditions de vitesses permettant le franchissement d'une porte à flot (© ECOGEA).... | 137 |
| Photo 54 : Exemple de vannage totalement ouvert assurant la libre circulation des poissons (© T. Besse LOGRAMI). | 138 |
| Photo 55 : Exemple d'une perte de charge au droit d'un vannage pourtant totalement ouvert (© ECOGEA)..... | 139 |
| Photo 56 : Exemple de vannage avec un fort différentiel de hauteur d'eau générant des vitesses élevées et donc des conditions de franchissement difficiles pour la grande majorité des poissons (© SIAEBVELG)..... | 139 |
| Photo 57 : Exemple d'un seuil avec des écoulements en jet plongeant obligeant les poissons à sauter pour le franchir limitant ainsi la libre circulation de beaucoup d'espèces (© SIAEBVELG) | 140 |
| Photo 58 : En situation de faible débit et de maintien des niveaux d'eau par les ouvrages, la mise en œuvre de mesures favorisant le passage des poissons est très difficile. | 140 |
| Photo 59 : Vue des marais du Cotentin en situation hivernale (©Parc des Marais du Cotentin)..... | 141 |
| Photos 60 et 61 : Exemples de gestion différenciée de vannages sur des ouvrages du canal du Porge en Gironde générant une diversité de conditions d'écoulement en aval susceptibles d'influencer l'attractivité des poissons en migration (© SIAEBVELG)..... | 144 |
| Photos 62, 63 et 64 : Illustrations de différentes conditions d'écoulement liées à l'hydrologie et aux modalités de gestion de l'écluse de Batejin sur le canal du Porge en Gironde (© SIAEBVELG). | 145 |
| Photos 65 et 66 : Illustrations de 2 situations totalement opposées en termes de visibilité d'un écoulement en entrée piscicole de passes à poissons. (a) le jet de sortie de la passe est très visible et vient se fondre dans l'écoulement général ; (b) le jet de sortie de la passe à poissons est totalement masqué par un écoulement venant du barrage (© M. Larinier). | 145 |
| Photos 67 et 68 : Illustrations d'une passe à poisson avec une chute d'eau aval infranchissable à marée basse (a) et une absence de chute donc d'attractivité à marée haute (b). | 146 |
| Photos 69 et 70 : Illustrations passe à poissons à fente verticale (©ECOGEA). | 147 |
| Photos 71 et 72 : Illustrations rampes en enrochement (©Catchment solutions -FDAAPPMA 33)..... | 147 |
| Photos 73 et 74 : Illustrations rivières de contournement (©Smaas -FDAAPPMA 14). | 147 |
| Photos 75 et 76 : Illustrations passe brosse à alimentation gravitaire (a) et (b) par pompage(©ECOGEA)..... | 148 |
| Photos 77 et 78 : Illustrations rampes à plots (a) élastomères (©Marseille Modelage Mécanique), (b) béton (©Ichtyologic). | 148 |
| Photos 79 et 80 : Illustrations de deux configurations de passes à poissons avec des emprises foncières très différentes.. | 148 |
| Photos 81 et 82 : Illustrations d'obstruction de passes à poissons par des débris végétaux (©MRM ; ©Worcester News). 149 | 149 |
| Photos 83 et 84 : Illustrations des poissons capturés sur passe en enrochement dans un marais du Queensland Australien (© Catchment Solutions). | 150 |
| Photos 85 et 86 : Illustrations de deux types de pompes classées comme ichtyocompatibles (© Bosman Water management ; Flowserve) | 151 |
| Photos 87 et 88 : Illustrations de travaux de reprofilage d'une frayère à brochet en marais (a) et d'une frayère en eau (b) (©FDAAPPMA Vendée). | 154 |

10. BIBLIOGRAPHIE

- Abdallah Y., Dufouil A., Charrier F., Berge J., Postic-Puivif A., Colleu M.A., Albert F., Buard E., 2021. Etude des potentialités piscicoles sur les bassins Charente-Seudre - Etats et possibilités de migration des poissons migrateurs amphihalins des bassins Charente et Seudre. EPTB Charente, SCIMABIO Interface, FISH-PASS. Version finale. 240 p. + annexes.
- Abdel-Rahim M.M., Lotfy, A.M., Toutou, M.M., Aly, H.A., Sallam, G.R., Abdelaty B.S., Helal A.M., 2019. Effects of salinity level on the survival, growth, feed utilization, carcass composition, haematological and serum biochemical changes of juvenile Meagre (*Argyrosomus regius*) (Asso, 1801) grown in ground saltwater. *Aquaculture Research*, 00, 1-13.
- Alba J.G., Gómez A.G., del Barrio Fernández P., Gómez A.G., Álvarez Díaz C., 2014. Hydrodynamic modelling of a regulated Mediterranean coastal lagoon, the Albufera of Valencia (Spain). *Journal of Hydroinformatics*, 16.5, 1062-1076.
- Able, K. W., Nemerson, D. M., Light, P. R., Bush, R. O. 2000. Initial Response of Fishes to Marsh Restoration at a Former Salt Hay Farm Bordering Delaware Bay. In Weinstein, M. P. et Kreeger, D. A. (eds.). Concepts and controversies in tidal marsh ecology. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers : 749-773.
- Acou A., Gaelle G., Laffaille P., Feunteun E. 2009. Differential production and condition indices of premigrant eels in two small Atlantic coastal catchments of France. American Fisheries Society Symposium, 58: 157–174.
- Agence de l'Eau RMC, 2000. Agir pour les zones humides en RMC. Politique d'inventaires : objectifs et méthodologie. Note technique du SDAGE n°5, 35p.
- Alcott D., Goerig E., Rillahan C., He P., Castro-Santos T., 2021. Tide gates form physical and ecological obstacles to river herring (*Alosa* spp.) spawning migrations. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, Volume 78, N. 7.
- Allan J.D., 1995. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters, Chapman & Hall.
- Almeida R., Tanner S.E., Mateus C., Vidas Ribeiro F.M., Quintella B.R., 2023. Not so much a sea bass: Divergent European Sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) freshwater incursions. *Journal of Fish Biology* 104(4).
- Alric A., Lamarque M., Baran P., Courret D., Rigaud C., 2013. Tests d'amélioration de la transparence d'ouvrages à la mer Charentais. Groupe GRISAM – Rencontres libre circulation piscicole.
- Alongi, D.M. 2020. Carbon balance in salt marsh and mangrove ecosystems: a global synthesis. *Journal of Marine Science and Engineering*. 8(10), 767.
- Amand M., Anras L., Barre N., Caessteker P., Singlard-Clause D., 2021. Protocole d'identification et de délimitation des unités hydrauliques cohérentes dans les marais littoraux. Rapport OFB - version 1, 48p.
- Amand M., Anras L., Barre N., 2021. Typologie des obstacles à d'écoulement en marais littoraux et lagunes. Catalogue servant au référentiel national des obstacles à l'écoulement (ROE) pour les façades Atlantique, Manche et Mer du Nord et Méditerranéenne. Rapport OFB, Pôle-Relais Lagune, Forum des Marais Atlantique, 16p.
- Amilhat E., Farrugio H., Lecomte-Finiger R., Simon G., Sasal P. 2008. Silver eel population size and escapement in a Mediterranean lagoon: Bages-Sigean, France. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 390–391: 05.
- Amorim E., Ramos S., Elliott M., Franco A., Bordalo A.A., 2017. Habitat loss and gain : Influence on habitat attractiveness for estuarine fish communities, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, doi : 10.1016/j.ecss.2017.08.043.
- Andrewartha, H. G., Birch L.C., 1954. The Distribution and Abundance of Animals. University of Chicago Press, Chicago.
- Anonymous. 1959. Final resolution of the Symposium on the classification of brackish waters. *Archives of Oceanography and Limnology*, 11 (Suppl.): 243-248.
- Ansal M.D., Dhawan A., Singh G., 2013. Productivity of freshwater carps in inland salt affected water logged areas of Punjab, India- A field study. *Indian Journal of Ecology* 40(2): 284-289.
- Ansal M.D., Dhawan A., Kaur K., Singh G. 2016. Species selection for enhancing productivity of freshwater carps in Inland Saline Water of Punjab- A Field Study. *Indian Journal of Ecology* 43(1): 45-49.
- Anger, K., Spivak E., Luppi T., 1998. Effects of reduced salinities on development and bioenergetics of early larval shore crab, *Carcinus maenas*. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 220 : 287-304.
- Anras, L., Blachier P., Hussenot J., Lagardère J.P., Lapouyade P., Massé J., Poitevin B., Rigaud C., 2013. Les marais salés atlantiques. Mieux les connaître pour mieux les gérer. Cahier Technique, Forum des Marais Atlantiques, 76p.

- Arias A., 1980. Growth, food and reproductive habits of sea bream (*Sparus aurata* L.) and sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) in the "esteros" (fish ponds) of Cadiz [Spain]. *Investigacion Pesquera* (Spain).
- Arlinghaus R., et al., 2023. A synthesis of a coastal northern pike (*Esox lucius*) fishery and its social-ecological environment in the southern Baltic Sea: Implications for the management of mixed commercial-recreational fisheries. *Fisheries Research*. Volume 263.
- Artur G., Caudal A.L, 2023. Suivi des anguilles par la méthode des flottangs : Exemple des Marais de Dol de Bretagne (35) et du Marais de Kervran/Kerzine (56). *Journée technique BGM – L'anguille à la loupe*.
- Asgari R., Mojazi Amiri B., Eagderi S., Nematollahi M.A., 2013. A survey on osmoregulatory potential of Bream, *Abramis brama* (Berg, 1949) fry for restocking management programs. *Scientific Journal of Animal Science* 2(3) 66-73.
- Asheiby, C.W., De Grave S., Johnson, M.L., 2016. Diet analysis indicates seasonal fluctuation in trophic overlap and separation between a native and an introduced shrimp species (Decapoda, Palaemonidae) in the tidal river Thames (U.K.). *Crustaceana*, 89(6-7), 701–719.
- Avignon S., 2017. Impact de l'évolution spatio-temporelle de la limite septentrionale de répartition sur des traits de vie chez la daurade royale *Sparus aurata*. *Biologie animale. Museum national d'histoire naturelle - MNHN PARIS*, 215p.
- Aydin I., O. Ak, Küçük E., Polat H., Ceylan B., 2012. Optimum temperature and growth performance of hatchery reared Black Sea flounder (*Platichthys flesus* Pallas, 1814). *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*; 36(2): 101-106.
- Babtie Group, 2001. Feasibility and Implications of Managed Realignment at Skinflats (Report to the Forth Estuary Forum No. BWA201374). Babtie Group in conjunction with Northern Ecological Services and Coastal Research Group, University of Glasgow.
- Backx J.G.M., 1987. Verlies van zoetwatervis uit het Haringvliet door het spuien via de Haringvlietsluizen naar zee. R/NEDE/RIVO/DLO/87-04// back.
- Baeta, A., Cabral H.N., Neto J.M., Marques J.C., Pardal M.A., 2005. Biology, population dynamics and secondary production of the green crab *Carcinus maenas* (L.) in a temperate estuary. *Est. Coast. Shelf Sci.* 65 : 43-52.
- Baklouti Zouari S., 2010. Contribution a l'étude écobiologique et biochimique du crabe "Carcinus aestuarii" dans la région nord de Sfax. Thèse de doctorat, Université de Sfax, Faculté des Sciences Sfax, 105p.
- Baptista J., Martinho F., Dolbeth M., Viegas I., Cabra, H., Pardal M., 2010. Effects of freshwater flow on the fish assemblage of the Mondego estuary (Portugal): comparison between drought and non-drought years. *Mar. Freshw. Res.* 61.
- Baran P., Basilico L., 2012, Plan de sauvegarde de l'Anguille. Quelles solutions pour optimiser la conception et la gestion des ouvrages? Séminaire du programme R&D Anguilles- Ouvrages 28 et 29 novembre 2011, Paris., Les rencontres de l'ONEMA. Synthèse., 156p.
- Bardin, O., Pont, D., 2002. Environmental factors controlling the spring immigration of two estuarine fishes *Atherina boyeri* and *Pomatoschistus* spp. into a Mediterranean lagoon. *Journal of Fish Biology*, 61(3), 560–578.
- Barnabe', G., 1990. Rearing bass and gilthead bream. In: Barnabe', G. (Ed.), *Aquaculture*. Ellis Horwood, New York, pp. 647–686.
- Barros M. L. C., da Silva T. D., da Cruz A. G. B., Rosman P. C. C., 2020. Numerical simulation of wetland hydrodynamics and water quality. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(8), 444.
- Bartels, H., Potter, I., 2004. Cellular composition and ultrastructure of the gill epithelium of larval and adult lampreys: Implications for osmoregulation in fresh and seawater. *Journal of Experimental Biology* 207, 3447–3462.
- Bates K., Barnard B., Heiner B., Klavas, J.P., Powers P.D., 2003. Design of road culverts for fish passage. Training Retrieved from <http://wdfw.wa.gov/publications/00049/wdfw00049.pdf>.
- Baudoin J.M., Burgun V., Chanseau M., Larinier M., Ovidio M., Sremski W., Steinbach P. et Voegtle B., 2014. Evaluer le franchissement des obstacles par les poissons. *Principes et méthodes*. Onema. 200 p.
- Baudry J., Merriam H.G., 1988. Connectivity and connectedness : functional versus structural patterns in landscapes. In Schreiber K.F.Ed. *Connectivity in Landscape Ecology*, vol 29, 23-28.
- Bauer C., Schlott G., 2004. Overwintering of farmed common carp (*Cyprinus carpio* L.) in the ponds of a central European aquaculture facility—measurement of activity by radio telemetry. *Aquaculture* 241 : 301 – 317.
- Bauer J.E., Cai, W.J., Raymond P.A., Bianchi T.S., Hopkinson C.S., Regnier P.A.G. 2013. The changing carbon cycle of the coastal ocean. *Nature*. 504, 61-70.

- Baumann L., Caillot E., 2023. Bilan de surveillance scientifique des « fonctions écologiques des prés salés (ouverts à la mer) pour l'ichtyofaune » – Campagnes 2015-2021. Observatoire du Patrimoine Naturel Littoral, RNF, 148 p. + annexes.
- Bawedin V., 2004. La dépoldérisation, composante d'une gestion intégrée des espaces littoraux ? Prospective sur le littoral picard et analyse à la lumière de quelques expériences », Cahiers nantais, n° 61, p. 11-20.
- Beaulaton L., Castelnau G., 2005. The efficiency of selective tidal stream transport in glass eel entering the Gironde (France). BFPP, n° 378-379, 5-210
- Beck M. W., Heck K. L., Able K. W., Childers D. L., Eggleston D. B., Gillanders B. M., Halpern B., Hays C. G., Hoshino K., Minello T. J., Orth R. J., Sheridan P. F., Weinstein M. R., 2001. The identification, conservation, and management of estuarine and marine nurseries for fish and invertebrates. *Bioscience*, 51(8), 633–641.
- Beck, M.W., Heck, K.L., Able, K.W., Childers, D.L., Eggleston, D.B., Gillanders, B.M., Halpern, B., Hays, C.G., Hoshino, K., Minello, T.J., et al., 2001. The Identification, Conservation, and Management of Estuarine and Marine Nurseries for Fish and Invertebrates A better understanding of the habitats that serve as nurseries for marine species and the factors that create site-specific variability in nursery quality will improve conservation and management of these areas. *Bioscience* 51, 633–641.
- Beentjes, M.P., Jellyman, D.J., 2003. Enhanced growth of longfin eels, *Anguilla dieffenbachii*, transplanted into Lake Hawea, a high country lake in South Island, New Zealand. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 37, 1–11.
- Begon M., Harper J.L., Townsend C.R., 1996. Ecology : individuals, populations and communities, 3rd edition, Blackwell Science, 752p.
- Béguer, M., Bergé J., Girardin M., Boët P., 2010. Reproductive Biology of *Palaemon longirostris* (Decapoda: Palaemonidae) from Gironde Estuary (France), with a Comparison with Other European Populations. *Journal of Crustacean Biology*, 30(2), 175–185.
- Bensettini F., Bioret F., Roland J., Lacoste JP (Coord), 2004. « Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 2 - Habitats côtiers. MEDD/MAAPAR/MNHN. Éd. La Documentation française, Paris, 399p.
- Ben-Yami M., 1981. Handling, transportation and stocking of fry. In: O.H. Oren Ed., Aquaculture of Grey Mullets. IBPr26, Cambridge Univ. Press, pp. 335–359.
- Benitez J.P, Matondo NB, Dierckx A., Ovidio M., 2015. An overview of potamodromous fish upstream movements in medium-sized rivers, by means of fish passes monitoring. *Aquatic Ecology*, 49(4), pp. 481–497.
- Bernal B., Mitsch W.J., 2012. Comparing carbon sequestration in temperate freshwater wetland communities. *Global Change Biol.* 18, 1636–1647.
- Bernal B., Mitsch W.J., 2013. Carbon sequestration in two created riverine wetlands in the Midwestern United States. *J. Environ. Qual.* 42 (4), 1236–1244.
- Bevacqua, D., Melià, P., Gatto, M., De Leo, G.A., 2015. A global viability assessment of the European eel. *Global Change Biology* 21, 3323–3335.
- Biberhofer C., 2014. Thermal habitat utilization by northern pike (*Esox lucius*) in Tadoussac Bay, Georgian Bay, Ontario, Canada. Thesis of McMaster University Hamilton, Ontario, 89p.
- Bice C.M., Zampatti B.P., Morrongiello J.R., 2018. Connectivity, migration and recruitment in a catadromous fish. *Mar. Freshw. Res.* 69, 1733–1745.
- Bice C.M., Huisman J., Kimball M.E., Mallen-Cooper M., Zampatti B.P., Gillanders B.M., 2023. Tidal barriers and fish – Impacts and remediation in the face of increasing demand for freshwater and climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 289, 108376.
- Billard R., 1999. Carp, Biology and Culture. Springer, Berlin. 342 pp.
- Breteler, J. K., Vriese, T., Borcherding, J., Breukelaar, A., Jørgensen, L., Staas, S., de Laak, G., et al. 2007. Assessment of population size and migration routes of silver eel in the river rhine based on a 2-year combined mark-recapture and telemetry study. *ICES Journal of Marine Science*, 64: 1450–1456.
- Bocker E.J., 2015. Restoring connectivity for migratory native fish: investigating the efficacy of Fish Friendly Gates. Unpublished MSc thesis, Massey University, Palmerston North, New Zealand, 90p.
- Bodinier, C., Sucré, E., Lecurieux-Belfond, L., Blondeau-Bidet, E., and Charmantier, G., 2010. Ontogeny of osmoregulation and salinity tolerance in the gilthead sea bream *Sparus aurata*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 157 (3), 220-228.

- Boesch D.F., Turner R.E., 1984. Dependence of fishery species on salt marshes: the role of food and refuge. *Estuaries*. 7, 460–468.
- Börger, L., Dalziel, B. D. and Fryxell, J. M., 2008. Are there general mechanisms of animal home range behaviour? A review and prospects for future research. *Ecology Letters* 11, 637–650.
- Bolland J.D., Murphy, L. A., Stanford R.J., Angelopoulos N.V., Baker N.J., Wright R.M., Reeds J.D., Cowx, I.G., 2018. Direct and indirect impacts of pumping station operation on downstream migration of critically endangered European eel. *Fisheries Management and Ecology*, 26(7).
- Bos A.R. et Thiel R., 2006. Influence of salinity on the migration of postlarval and juvenile flounder *Pleuronectes flesus* L. in a gradient experiment. *Journal of Fish Biology*, 68: 1411–1420.
- Bouchard C., Drouineau H., Lambert P., Boutron O., Nicolas D., 2022. Spatio-temporal variations in glass eel recruitment at the entrance pathways of a Mediterranean delta. *ICES Journal of Marine Science*, 79(6), 1874–1887.
- Boulêtreau, S., Fauvel, T., Laventure, M., Delacour, R., Bouyssonnié, W., Azémar, F., Santoul, F., 2021. “The giants’ feast” : predation of the large introduced European catfish on spawning migrating allis shads. *Aquat Ecol* 55, 75–8.
- Bouron D., 2022. Suivis biologiques de la Réserve Naturelle régionale du Marais communal du Poiré-sur-Velluire. Rapport Fédération de Vendée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique pour Parc Naturel régional du Marais Poitevin MAPF n°20S259-1.
- Boutron O., Paugam C., Luna-Laurent E., Chauvelon P., Sous D., Rey V., Meulé S., Chérain Y., Cheiron A., Migne E., 2021. Hydro-Saline Dynamics of a Shallow Mediterranean Coastal Lagoon: Complementary Information from Short and Long Term Monitoring. *J. Mar. Sci. Eng.*, 9, 701. <https://doi.org/10.3390/jmse9070701>.
- Boys C.A., Kroon F.J., Glasby T.M., Wilkinson K., 2012. Improved fish and crustacean passage in tidal creeks following floodgate remediation. *Journal of Applied Ecology* 49(1), 223–233.
- Braskerud B.C, 2001. The influence of vegetation on sedimentation in small constructed wetlands. *J. Environ. Qual.* 30:1447–1457.
- Brander, K., Blom, G., Borges, M. F., Erzini, K., Henderson, G., MacKenzie, B., Mendes, H., Ribeiro, J., Santos, A. M. P., Toresen, R., 2003. Changes in fish distribution in the eastern North Atlantic: Are we seeing a coherent response to changing temperature? *I C E S Marine Science Symposia* 219, 261–270.
- Brehmer P., Do Chi T., Mouillot D., 2006. Amphidromous fish school migration revealed by combining fixed sonar monitoring (horizontal beaming) with fishing data. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 334 : 139 – 150.
- Brevé N.W.P., Vis H., Breukelaar A.W., 2018. Escape from the North Sea: the possibilities for pikeperch (*Sander lucioperca* L. 1758) to re-enter the Rhine and Meuse estuary via the Haringvlietdam, as revealed by telemetry. *J. Coast Conserv.* 23, 239–252.
- Britton J.R., Davies G.D., Brazier M., Pinder A.C., 2007. A case study on the population ecology of a topmouth gudgeon (*Pseudorasbora parva*) population in the UK and the implications for native fish communities. *Aquat Conserv: Mar Freshw Ecosyst* 17:749–759.
- Bruneel S., Pauwels I.S., Broos S., Vandamme L., Van Wichelen J., Coeck J., Toming G., Tuhtan J.A., Buysse D., 2024. A fish-friendly axial flow pump turns out to be eel safe, roach unfriendly and bream unsafe. *Scientific Reports* 14 : 30234.
- Bureau Du Colombier S., Bolliet V., Lambert P., Bardonnèt A., 2007. Energy and migratory behavior in glass eels (*Anguilla anguilla*). *Physiol. Behav.* 92, 684–690.
- Butzeck C., Eschenbach A., Gröngröft A., Hansen K., Nolte S., Jensen K, 2015. Sediment Deposition and Accretion Rates in Tidal Marshes Are Highly Variable Along Estuarine Salinity and Flooding Gradients. *Estuaries and Coasts*, 38(2), 434–450.
- Buyssse D., Mouton A., Stevens M., Van den Neucker T., Coeck J., 2014. Mortality of European eel after downstream migration through two types of pumping stations *Fisheries management and ecology / Institute of Fisheries Management [Hull] - ISSN 0969-997X - 21:1, 13-21.*
- Buyssse D., Vandamme L., Verhelst P., Van Wichelen J., Pauwels I., Coeck J., 2024. Ten years of adjusted tidal barrier management to enhance glass eel migration at the Belgian coast ! What have we learned ? Free Flow Conference.
- Byrne M., Darnell K.M., Darnell M. Z., 2022. Changes in the morphology of widgeon grass (*Ruppia maritima*) with the onset of reproduction and impacts on fish assemblages at the Chandeleur Islands, LA Front. *Environ. Sci.*, 16 Volume 10.

- Cabral H.N., Costa M.J., 2001. Distribution, abundance, feeding ecology and growth of 0-group seabass, *Dicentrarchus labrax* (L., 1758), in the Tagus estuary. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 81: 679–682.
- Cambel PJ., Jones MB., 1990. Water Permeability of *Palaemon longirostris* and other Euryhaline Caridean Prawns. J Exp Biol (1990) 150 (1): 145–158.
- Campeau S., Guderley H., Fitzgerald G., 1984. Salinity tolerances and preferences of fry of two species of sympatric sticklebacks: possible mechanisms of habitat segregation. Canadian Journal of Zoology, 62(6), 1048–1051.
- Cardona L., 2006. Habitat selection by grey mullets (Osteichthyes: Mugilidae) in Mediterranean estuaries: the role of salinity. Scientia Marina 70 (3), 443–455.
- Carpenter S.R., Lodge D.M., 1986. Effects of submersed macrophytes on ecosystem processes. Aquat. Bot. 26:341–370.
- Carss, D.N., Ekins, G.R., 2002. Further European integration : mixed subspecies colonies of Great Cormorants *Phalacrocorax carbo* in Britain – colony establishment, diet, and implications for fisheries management. Ardea 90, 23–41.
- Cartaxana A., 2003. Fecundity and size at maturity of *Palaemon longirostris* (Decapoda, Palaemonidae) in the Mira River estuary (SW Portugal). Invertebrate Reproduction and Development 43: 133-139.
- Cassan L., Guiot L., Belaud G., 2018. Modeling of Tide Gate to Improve Fish Passability. 7th International Symposium on Hydraulic Structures Aachen, Germany, DOI: 10.15142/T3BW72.
- Casselman J.M., Lewis C.A., 1996. Habitat requirements of northern pike (*Esox lucius*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 53(S1), 161–174.
- Cellule Migrateurs EPTB Charentes-Seudre, 2011 : Guide technique sur la continuité écologique, la restauration de la libre circulation des poissons migrateurs sur les bassins de Charente et Seudre.
- Chancerel F., 2003. Le brochet - Biologie et gestion. Collection Mise au point, Conseil Supérieur de la Pêche, 199p.
- Chaoui L., Kara M. H., Faure E., Quignard, J. P., 2006. Growth and reproduction of the gilthead seabream *Sparus aurata* in Mellah lagoon (north-eastern Algeria). Scientia Marina 70, 545–552.
- Cheung, W. W. L., Lam, V. W. Y., Sarmiento, J. L., Kearney, K., Watson, R., Pauly, D., 2009. Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. Fish and Fisheries 10, 235–251.
- Chizinski, C.J., Bajer, P.G., Headrick, M.E., Sorensen, P.W., 2016. Different migratory strategies of invasive common carp and native northern pike in the American Midwest suggest an opportunity for selective management strategies. North Am. J. Fish. Manag. 36, 769–779.
- Chrisafi E., Kaspiris P., Katselis G., 2007. Feeding habits of sand smelt (*Atherina boyeri*, Risso 1810) in Trichonis Lake (Western Greece), Journal of Applied Ichthyology 23(3), 209–214.
- Cieluch U., Charmantier G., Grousset E., Charmantier-Daures M., Anger K., 2004. Osmoregulation, immunolocalization of Na⁺/K⁺-ATPase, and ultrastructure of branchial epithelia in the developing brown shrimp, *Crangon crangon* (Decapoda, Caridea). Physiological and Biochemical Zoology 78 (6): 1017–1025.
- Claireaux, G. and Lagardère, J.-P., 1999. Influence of temperature, oxygen and salinity on the metabolism of European sea bass. J. Sea Res. 42, 157-168.
- Claridge P.N., Potter, I.C., 1983. Movements, abundance, age composition and growth of bass, *Dicentrarchus labrax*, in the Severn Estuary and inner Bristol Channel. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 63(4), 871–879.
- Clermont J., Besse T., Baisez A. 2012 : Guide technique d'aide aux gestionnaires et propriétaires d'ouvrages hydrauliques. LOGRAMI, 46p.
- Coleman J.M., Huh O.K., DeWitt B., 2008. Wetland loss in world deltas. Journal of Coastal Research 24, 1-14.
- Colclough, S., Fonseca, L., Astley, T., Thomas, K., Watts, W., 2005. Fish utilisation of managed realignments. Fisheries Management and Ecology 12, 351–360.
- Compagnat P., Baran P., 2005. Bilan du suivi de la reproduction du brochet sur les cours d'eau de Bourgogne et Franche-Comté. Rapport CSP/DRN°9, 52p
- Corbett R., Walsh J.P., 2018. Evolutions sédimentaires et géomorphologiques des zones humides littorales : connaissances nouvelles issues de recherches françaises et américaines. Actes du colloque « Adaptation des marais littoraux au changement climatique » - La Rochelle.

- Cox R.X., Kingsfor, R.T., Suthers I., Felder S. 2023. Fish Injury from Movements across Hydraulic Structures : A Review. *Water*, 15, 1888.
- Crabot J., Bergerot B., Bonis A., Gore O., Mauchamp A., Paillisson J-M, 2022. Do highly anthropized hydrological conditions in marshes influence fish communities according to their life-history strategies? *River Res Applic*. 1-27.
- Craft C.B., Richardson C.J., 1993. Peat accretion and N, P, and C accumulation in nutrient enriched and unenriched Everglades peatlands. *Ecol. Appl.* 3 :446–458.
- CREAA, 2008. Règlement d'aménagement aquacole en marais salé charentais. Rapport, 69 p.
- Criales MM., Anger K., 1986. Experimental studies on the larval development of shrimps *Crangon crangon* and *C. allmanni*. *Helgoländer Meeresuntersuchungen* 40: 241–265.
- Crivelli A., Britton R.H., 1987. Life history adaptations of *Gasterosteus aculeatus* in a Mediterranean wetland. *Environmental Biology of Fishes*, 18(2), 109–125.
- Crivelli A., 2001. Les Poissons. In Guide méthodologique de gestion des lagunes méditerranéennes - Tome 2, Les espèces (Institut Français de Recherche pour l'exploitation de la mer (IFREMER), Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages lacustres (CELRL) | CEPRALMAR, pp. 179–209.
- Crivelli A. J., Poizat G., 2001. Timing of migration and exceptional growth of YOY *Alosa fallax rhodanensis* (Roule, 1924) in a lagoon in Southern France. *Bulletin Français de Pêche et de Pisciculture*, 362/363, 761–772.
- Crivelli A.J., Auphan N., Chauvelon P., Sandoz A., Menella J.Y., Poizat G., 2008. Glass eel recruitment, *Anguilla anguilla* (L.), in a Mediterranean lagoon assessed by a glass eel trap : Factors explaining the catches. *Hydrobiologia* 602, 79–86.
- Cohen, A.N., Carlton J.T., Fountain C.. 1995. Introduction, dispersal and potential impacts of the green crab *Carcinus maenas* in San Francisco Bay, California. *Mar. Biol.* 122 : 225-237.
- Colclough S., Fonseca L., Astley T., Thomas K., Watts W., 2005. Fish utilisation of managed realignments. , *Fisherie Management and Ecology* 12(6), 351–360.
- Cormont S., Gonzalez G., Massar P., Favriou P., Roy R 2020. Etude comportementale du brochet en vallée de Meuse. Rapport final, FDAAPPMA 55-Pro-Fish Technology, 126p.
- Cornu V., 2019a. Etat écologique de la Garonne et son impact sur les populations de poissons migrateurs - Cycle biologique de la lamproie marine dans le bassin de la Garonne. Rapport ECOGEA/Adict Solutions/Géodiag pour l'AEAG.
- Cornu V., 2019b. Etat écologique de la Garonne et son impact sur les populations de poissons migrateurs - Cycle biologique de la lamproie fluviatile dans le bassin de la Garonne. Rapport ECOGEA/Adict Solutions/Géodiag pour l'AEAG
- Cornu V., Mennessier J-M, 2019c. Etat écologique de la Garonne et son impact sur les populations de poissons migrateurs - Cycle biologique de l'aloise feinte dans le bassin de la Garonne. Rapport ECOGEA/Adict Solutions/Géodiag pour l'AEAG.
- Cornu V., Mennessier J-M, 2019d. Etat écologique de la Garonne et son impact sur les populations de poissons migrateurs - Cycle biologique de la grande aloise dans le bassin de la Garonne. Rapport ECOGEA/Adict Solutions/Géodiag pour l'AEAG.
- Costa MJ, Almeida PR, Costa JL, Assis CA, 1994. Do eel grass beds and salt marsh borders act as preferential nurseries and spawning grounds for fish? An example of the Mira estuary in Portugal. *Ecol Eng* 3:187–195.
- Costil K., Dauvin JC., Duhamel S., Hocdé R. , Mouny P., de Roton G., Patrimoine biologique et chaînes alimentaires
- Coutant C.C., 1977. Compilation of temperature preference data. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 34, 739-745.
- Craig-Bennett, A., 1931. The Reproductive Cycle of the Three-Spined Stickleback, *Gasterosteus aculeatus*, Linn. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 219(462-467), 197–279.
- Cucherousset J., Carpentier A., Paillisson JM.,2008. Selective use and spatial distribution of native and non-native fish in wetland habitats. , *River. Res. Applic.* 24: 1240–1250.
- Dahl J., 1961. Age and growth of Danish and Swedish brackish water pikes. *Ferskvandsfiskeribladet* 59, 34–38.
- Dambrine C., 2020. Caractérisation et connectivité des Habitats Ecologiques Essentiels des stades adulte et juvénile du bar européen. Thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 189p.
- Dando P. R., Demir N., 1985. On the Spawning and Nursery Grounds of Bass, *Dicentrarchus labrax*, in the Plymouth Area. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 65(1), 159-168.

- Daverat F., Tomas J., 2006. Tactics and demographic attributes of the European eel (*Anguilla anguilla*): the case study of the Gironde watershed (Southwest France). *Marine Ecology Progress Series* 307, 247–257.
- Daverat F. Martin J., Fablet R., Pécheyran C., 2011. Colonisation tactics of three temperate catadromous species, eel (*Anguilla anguilla*), mullet (*Liza ramada*) and flounder (*Platichthys flesus*), revealed by Bayesian multielemental otolith microchemistry approach. , *Ecology of freshwater Fish*. 20(1),
- Daverat, F., Beaulaton, L., Poole, R., Lambert, P., Wickström, H., Andersson, J., Aprahamian, M., Hizem, B., Elie, P., Yalçın-Özdilek, S., Gümüş, A., 2012. One century of eel growth: changes and implications. *Ecol. Freshw. Fish* 21, 325–336.
- Davey, A.J.H., Jellyman, D.J., 2005. Sex Determination in Freshwater Eels and Management Options for Manipulation of Sex. *Rev Fish Biol Fisheries* 15, 37–52.
- Deat E., Cardot O., 2017. Catalogue des habitats naturels du marais Poitevin. Rapport PNR Marais Poitevin et Etablissement Public du Marais Poitevin, 313p.
- De Bhaldrath P., 1971. Studies on the biology of the prawn *Palaemon serratus* (Pennant) off the Galway coast. PhD thesis. National University of Ireland, Galway.
- De Bettignies T., La Rivière M., Delavenne J., Dupré S., Gaudillat V., Janson A.-L., Lepareur F., Michez N., Paquignon G., Schmitt A., de Roton G. & Toison V., 2021. Interprétation française des Habitats d'Intérêt Communautaire marins. PatriNat (OFB-CNRS-MNHN), Paris, 58 pp (+ Ann) ».
- Dekker, W., and van Willigen, J. A. 1997. Hoeveel glasaal trekt het IJsselmeer in ? Verslag van een glasaal-merkproef in Den Oever in 1997. RIVO, IJmuiden. 25 pp.
- Delage N., Le Pape O., 2016. Inventaire des zones fonctionnelles pour les ressources halieutiques dans les eaux sous souveraineté française. Première partie : définitions, critères d'importance et méthode pour déterminer des zones d'importance à protéger en priorité, Les publications du Pôle halieutique AGROCAMPUS OUEST n°44 30 pp.
- Delbare D., Cooreman K., Smagghe G., 2015. Rearing European brown shrimp (*Crangon crangon*, Linnaeus 1758): a review on the current status and perspectives for aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 7(4), 262–282.
- Des Touches H., Anras L., 2005. Curage des canaux et fossés d'eau douce en marais littoraux. Cahier technique – Forum des marais atlantique, 50p.
- Der Mikaelian S., 2016. Suivi de l'Anguille européenne sur la rivière index Sèvre niortaise. Rapport technique d'activité – Observatoire du Patrimoine naturel du Marais Poitevin, 90p.
- DeRivera C.E., Gray Hitchcock N., Teck S.J., Steves B.P., Hines A.H., Ruiz G.M., 2006. Larval development rate predicts range expansion of an introduced crab. *Mar. Biol.* (publication sur Internet) DOI 10.1007/s00227-006-0451-9.
- Dibble, E. D., Killgore, K. J., and Harrel, S. L., 1997. Assessment of Fish-Plant Interactions. U.S. Army Corps of Engineers Miscellaneous Paper A-97-6.
- Dionne M, Short FT, Burdick DM , 1999. Fish utilization of restored, created, and reference salt-marsh habitat in the Gulf of Maine. *Am Fish Soc Symp* 22:384–404.
- Doehring K., Young R.G., Hay J., Quarterman A.J., 2011. Suitability of dual-frequency identification sonar (DIDSON) to monitor juvenile fish movement at floodgates. *N. Z. J. Mar. Freshwater Res.* 45, 413–422.
- Doherty, P.J., Dufour V., Galzin R., Hixon M.A., Meekan M.G., Planes S., 2004. High mortality during settlement is a population bottleneck for a tropical surgeonfish. *Ecology* 85: 2422–2428.
- Dolmen D., Hindley J.D., Kleiven, E., 2004. Distribution of *Palaemonetes varians* (Leach) (Crustacea, Decapoda) in relation to biotope and other caridean shrimps in brackish waters of southern Norway and southwestern Sweden. *Sarsia: North Atlantic Marine Science*, 89(1), 8–21.
- Domingues R. B., Barbosa A. B., Sommer U., Galvão H. M., 2011. Ammonium, nitrate and phytoplankton interactions in a freshwater tidal estuarine zone: potential effects of cultural eutrophication. *Aquatic Sciences*, Volume 73, pages 331–343.
- Domingos, I., Costa, J.L., Costa, M.J., 2006. Factors determining length distribution and abundance of the European eel, *Anguilla anguilla*, in the River Mondego (Portugal). *Freshwater Biology* 51, 2265–2281.
- Don J., 2011. Effets de la dépoldérisation des marais maritimes sur les peuplements piscicoles. Synthèse bibliographique. Rapport CEMAGREF, 29p.
- Dorel D., Desaunay Y., Marchand J., 1989. Prise en compte des migrations saisonnières des soles juvéniles pour l'estimation d'abondance des pré-recrues sur une nourricerie (Golfe de gascogne, France). CIEM: 1-7

- Dorel D, Koutsikopoulos C, Desaunay Y, Marchand J., 1991. Seasonal distribution of young sole (*Solea solea* (L.)) in the nursery ground of the bay of vilaine (Northern Bay of Biscay). *Neth. J. Sea Res.* 27: 297-306.
- Doyle T.W., O'Neil C.P., Melder M.P.V., From A.S., Palta M.M., 2007. Tidal freshwater swamps of the southeastern United States: Effects of land use, hurricanes, sea-level rise, and climate change. Pp. 1–28, In W.H. Conner, T.W. Doyle, and K.W. Krauss (Eds.). *Ecology of Tidal Freshwater Forested Wetlands of the Southeastern United States*. Springer, Dordrecht, The Netherlands. 505 pp
- Drake, P., Arias A.M., 1991. Ichthyoplankton of a shallow coastal inlet in south-west Spain: Factors contributing to colonization and retention. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 32: 347–364.
- Duarte, B., Vaz, N., Valentim, J.M., Dias, J.M., Silva, H., Marques, J.C., Sleimi, N., Cacador, I., 2017. Revisiting the outwelling hypothesis: modelling salt marsh detrital exports under extreme climatic events. *Marine Chemistry*. 191, 24-33.
- Dufour V., Cantou M., Lecomte F., 2009. Identification of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) nursery areas in the north-western Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 89(7), 1367–1374.
- Duhamel, S., Feunteun, E., 2012. ICHTYO. Structuration spatio-temporelle des assemblages d'espèces de poissons dans l'estuaire de la Seine. Etat actuel et incidences du paysage aquatique sur la fonctionnalité des habitats (No. 4), Rapport Seine-Aval. GIP Seine-Aval, Rouen. France
- Duhamel F., Farvacques C., Blondel C., Delplanque S., Catteau E., Gelez W., François R., Prey T., Cholet J., Buchet J., Massard, O., 2017 - Guide des végétations littorales du nord-ouest de la France. Centre régional de phytosociologie agréé Conservatoire botanique national de Bailleul, pp. 1-704. Bailleul.
- Duhamel S., Hanin C., Rey M., 2021. Biodiversité piscicole des estuaires normands. Rapport CSLN / Région Normandie, 185 p.
- Dupuy, G., 2021. Densité, habitat et comportement postrepeuplement chez l'anguille européenne (*Anguilla anguilla* L., 1758) dans le bassin hydrographique de la Meuse belge. Université de Liège.
- Ebeling, A.W., Laur, D.R., 1985. The influence of plant cover on surfperch abundance at an offshore temperate reef. *Environ. Biol. Fishes* 12, 169–179.
- Eertman, R.H.M., Kornman, B.A., Stikvoort, E., Verbeek, H., 2002. Restoration of the Sieperda Tidal Marsh in the Scheldt Estuary, The Netherlands. *Restoration Ecology* 10, 438–449.
- Edeline E., Dufour S., Elie P., 2005. Role of glass eel salinity preference in the control of habitat selection and growth plasticity in *Anguilla anguilla*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 304, 191–199.
- Elliott, M., Whitfield, A. K., Potter, I. C., Blaber, S. J. M., Cyrus, D. P., Nordlie, F. G., Harrison, T. D., 2007. The guild approach to categorizing estuarine fish assemblages: A global review. *Fish and Fisheries*, 8(3), 241–268.
- Elliott, M., Hemingway K., 2002. *Fishes in estuaries*. Oxford: Blackwell Science.
- Ennis S., 2009. Effects of Tide Gate Replacement on Water Temperature in a Freshwater Slough in the Columbia River Estuary". Master of Environmental Management Project Reports. Paper 12.
- Eriksson S., Edlund AM., 1977. On the ecological energetics of 0-group *Carcinus maenas* (L.) from a shallow sandy bottom in Gullmar Fjord, Sweden. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 30 : 233-248.
- Escaravage V., Castel J., 1990. The impact of the lagoonal shrimp *Palaemonetes varians* (Leach) on meiofauna in a temperate coastal impoundment. *Acta Oecologica* 11 : 409–418.
- Evans O.J., J. Norman, L. J. Carter, T. Hutchinson, A. Don, R.M. Wright, J.A. Tuhtan, G. Toming, J.D. Bolland, 2024. Rethinking fish-friendliness of pumps by shifting focus to both safe and timely fish passage for effective conservation. *Scientific Reports* 14:17888.
- Faggion S., P. Sanchez, M. Vandepitte, F. Clota, A. Vergnet, M-O. Blanc, F. Allal. 2020. Evaluation of a European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) post-larval tagging method with ultra-small RFID tags. *Aquaculture*, 520, pp.734-945.
- Feunteun E., Rigaud C., Elie P., Lefevre J.C., 1999. Les peuplements piscicoles des marais littoraux endigués atlantiques : un patrimoine à gérer ? Le cas du marais de Bourgneuf-Machecoul. *Bulletin français de pêche et pisciculture*, n° 352, pp.63-79.
- Figueras A.J., 1987. Distribution and abundance of larvae of palaemonid prawns in the Ria de Vigo, N. W. Spain. *Journal of Plankton Research* 9, 729–738.
- Figueras S.M., Lee G.-H., Shin H.-J., 2020. Effects of an estuarine dam on sediment flux mechanisms in a shallow, macrotidal estuary. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 238, 106718.

Fincham AA, 1979. Larval development of British prawns and shrimps (Crustacea: Decapoda: Natantia). 2. Palaemonetes (Palaemonetes) varians (Leach, 1814) and morphological variation. Bulletin of the British Museum (Natural History), Zoology Series 35:163-182.

Forum des Marais Atlantiques, 2020. Méthode pour le suivi piscicole en marais. Un outil de connaissance au service des gestionnaires, des marais et des poissons. Rapport FMA, 35 p.

Forward R.B., Tankerseley R.A., 2001. Selective tidal-stream transport of marine animals Oceanography and Marine Biology: Vol 39.

Franklin P.A., Hodges M., 2015. Modified tide gate management for enhancing instream habitat for native fish upstream of Franco, A., Elliott, M., Franzoi, P., Torricelli, P., 2008. Life strategies of fishes in European estuaries: the functional guild approach. *Marine Ecology Progress Series*, 354, 219–228.

the saline limit. *Ecological Engineering*, 81, 233–242.

Freeman H.A., Hepburn L. J., Taylor M. I., Hunter E., Dumbrell A. J., Gregson B.H., Smith A.J., Lamphierre A., Cameron T.C., 2024. What makes a habitat a home? Habitat associations of juvenile European sea bass, *Dicentrarchus labrax*, in estuarine nurseries. *J Fish Biol.*; 105:539–556.

French P.W., 2006. Managed realignment - The developing story of a comparatively new approach to soft engineering. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 67, 409–423.

Fonds M., Cronie R., Vethaak A.D., Van Der Puyl P., 1992. Metabolism, food consumption and growth of plaice (*Pleuronectes platessa*) and flounder (*Platichthys flesus*) in relation to fish size and temperature. *Netherlands Journal of Sea Research*, 29(1-3), 127–143.

Fonds M. 1976. The influence of temperature and salinity on growth of young sole *Solea solea* L. In: Persoone G, Jaspers E, editors. Proceedings of the 10th European Symposium on Marine Biology, Ostend, Belgium, Sept. 17–23, 1975: 1. Research in mariculture at laboratory- and pilot scale. pp. 109–125.

Galtieri, M., Mecatti, M., Diodato, F., 2006. Growth of European catfish (*Silurus glanis* L.) in Florence province (Central Italy) and management proposals. *Freshw Biol* 287–291.

Gelin A., Crivelli A.J., Rosecchi E., Kerambrun P., 2001. Can Salinity Changes Affect Reproductive Success in the brown Shrimp *Crangon crangon*? *Journal of Crustacean Biology*, 21(4), 905–911.

Gianella Goeldner L., 2018. La dépoldérisation dans les marais d'Europe occidentale et de France: quelles entraves sociales et quelles solutions ? Actes Colloque Adaptation des marais littoraux au changement climatique - La Rochelle.

Giannico G., Souder J., 2005. Tide Gates in the Pacific Northwest: Operation, types, and environmental effects. Oregon Sea Grant ORESU-T-05-001.

Giraud F., Chevallier C., Medion H., Fleury R., 1991. Bilan hydrologique d'un marais littoral à vocation agricole: Le marais de Moëze (Charente-Maritime, France) Summer water budget for a french coastal agricultural marsh: the Moëze marsh (Charente-Maritime, France). *Revue des sciences de l'eau*, Volume 4, numéro 4, 521-542.

Goeldner-Gianella L., 2007. Dépoldériser en Europe occidentale. *Annales de géographie*, 655 (3), pp.339-360.

González-Quirós, R., del Árbol, J., García-Pacheco, M. M., Silva-García, A. J., Naranjo, J. M. & Morales-Nin, B., 2011. Life-history of the meagre *Argyrosomus regius* in the Gulf of Cádiz (SW Iberian Peninsula). *Fisheries Research* 109, 140-149.

Goodwin C.R., 1991. Simulation of the Effects of Proposed Tide Gates on Circulation, Flushing, and Water Quality in Residential Canals, Cape Coral, Florida. U.S. GEOLOGICAL SURVEY Open-File Report 91-237, 48p.

Gordon J., Arbeider M., Scott D., Wilson S.M., Moore J.W. 2015. When the tides don't turn: Floodgates and hypoxic zones in the Lower Fraser River, British Columbia, Canada. *Estuaries Coast.* 2015, 38, 2337–2344.

Gordo, L., Cabral H., 2001. The fish assemblage structure of a hydrologically altered coastal lagoon: The Obidos lagoon (Portugal). *Hydrobiologia* 459: 125–133.

Grenouillet, G., Pont, D., Olivier, J.-M. 2000. Habitat occupancy patterns of juvenile fishes in a large lowland river: interactions with macrophytes. *Archiv für Hydrobiologie* 149: 307-326.

- Griffioen A.B., Wilkes T., van Keeken O.A., van der Hammen T., Buijse A.D., Winter H.V., 2024. Glass eel migration in an urbanized catchment: an integral bottleneck assessment using mark-recapture. *Movement Ecology* 12:15.
- Grosholz, E., Ruiz G. (éditeurs) 2002. Management plan for the European green crab. Submitted to the Aquatic Nuisance Species Task Force. Green Crab Control Committee, US-ANS Task Force. Nov. 2002.
- Guerao G., Ribera C., 2000. Population characteristics of the Prawn *Palaemon serratus* (Decapoda, Palaemonidae) in a shallow Mediterranean Bay. *Crustaceana*, 73(4): 459-468.
- Guirec André, Noémie Guillerme, Coralie Sauvadet, Omar Diouach, Pierre-Marie Chapon, et al., 2018. Synthèse sur la répartition des lamproies et des aloses amphihalines en France. [Rapport de recherche], OFB; INRA., 161 p.
- Guiot L., Cassan L., Dorchies D., Sagnes P., Belaud G., 2020 Hydraulic management of coastal freshwater marsh to conciliate local water needs and fish passage, *Journal of Ecohydraulics*.
- Guiot de la Rochère L., 2020. Cours d'eau régulés et provision de services écosystémiques: contrôle d'ouvrages pour la migrations d'espèces piscicoles. Sciences de la Terre. Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT, 207p.
- Haig, J., Ryan, N.M., Williams, K.F., M.J. Kaiser, 2014. A review of the *Palaemon serratus* fishery: biology, ecology & management. Bangor University, Fisheries and Conservation Report No. 38, 22p.
- Halpin, P. M., 2000. Habitat use by an intertidal salt-marsh fish: trade-offs between predation and growth. *Marine Ecological Progress Series* 198: 203–214.
- Harden Jones, F.R., 1968. Fish Migration. London. Edward Arnold, (Publishers) Ltd., 325 pp.
- Harter S.K., Mitsch W.J., 2003. Patterns of Short-Term Sedimentation in a Freshwater Created Marsh. *J. Environ. Qual.* 32:325–334.
- Harvey B., 2009. A Biological Synopsis of Northern Pike (*Esox Lucius*). Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2885, 39p.
- Havel L.N., Fuiman L.A., 2016. Settlement-size larval red drum (*Sciaenops ocellatus*) respond to estuarine chemical cues. *Estuar. Coast* 39, 560–570.
- Hayward P.J., Ryland J.S., editors. 1995. Handbook of the marine fauna of North-west Europe. Oxford: Oxford University Press. 800 p.
- Hidalgo, F.J., Barón P.J., Orensanz J.M. (Lobo), 2005. A prediction comes true: the green crab invades the Patagonian coast. *Biol. Invas.* 7 : 547-552.
- Hoffman, L. 1958. An ecological sketch of the Camargue. *Br. Birds* 51:321-350.
- Hoffmann Legrand M., 2021. Les poissons amphihalins de France face au changement climatique : évolution des effectifs et modification de la phénologie migratoire. Sciences agricoles. Institut National Polytechnique de Toulouse - INPT, 309p.
- Holmes, J. A., Lin P., 1994. Thermal Niche of Larval Sea Lamprey, (*Petromyzon marinus*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 51(2), 253–262.
- Horvath L., Tamas G., Seagrave C., 1992. Carp and Pond Fish Culture. Fishing News Books, Oxford. 158 pp.
- Hotos G.N., Vlahos N., 1998. Salinity tolerance of *Mugil cephalus* and *Chelon labrosus* (Pisces: Mugilidae) fry in experimental conditions. , 167(3-4), 0–338.
- Hufnagl M., 2009. Population dynamics and lifecycle of the brown shrimp *Crangon crangon* (Caridea, L. 1758). Experimental, biochemical and theoretical aspects. Thèse doctoral Faculté de Hambourg, 206p.
- Huisman J.B.J., Kuipers H.J., Nagelkerke L.A.J., van der Schollem P.P. 2023 Estuarine- Specific Migration of Glass Eels in the Ems Estuary. *Fishes*, 8, 392.
- Hunter EW , Naylor E, 1993. Intertidal migration by the shore crab *Carcinus maenas*. *Marine Ecology Progress Series* 101(1-2):131-138.
- Housset P., Duhamel F., Cornier T., de Foucault B., Julve P., 2014. Les végétations de l'estuaire de la Seine. Fascicules Seine-Aval 2-10. GIP Seine-Aval, 100 p.
- Hussenot J., Ximenes MC., Deslous-Paoli JM., Prou J., 1996. La place de l'aquaculture dans la valorisation multiusages des marais et étangs littoraux. Colloque «Aquaculture et développement rural et côtier», Compte rendu de l'Académie Agricole Française, Paris, (6), 87-99.
- ICES, 2009. Report of the Study Group on Anguillid Eels in Saline Waters (SGAESAW).

- ICES 2021a. Report of the ICES Advisory Committee, 2021. ICES Advice 2021, sol.27.7d.
- ICES 2021b. Report of the Working Group on the Assessment of Demersal Stocks in the North Sea and Skagerrak (WGNSK), octobre 2021.
- ICES 2022. Sole (*Solea solea*) in divisions 8.a–b (northern and central Bay of Biscay). doi: 10.17895/ices.advice.19453853.v1
- IFREMER 2020. Suivi haute fréquence 2017-2018 des températures et salinités des masses d'eau du continuum Marais Poitevin – Baie de l'Aiguillon – Pertuis Breton. Approche de la dynamique des apports en eau douce par l'analyse de la salinité. Rapport IFREMER LIFE Baie d'Aiguillon, 32p.
- Instream Consulting Limited 2018. Monitoring of Fish-Friendly Tide Gates, Fish, and Salt Marsh Communities. Technical report for Christchurch City Council, 24p.
- Jacobsen L., Skov C., Koed A., Berg S., 2007. Short-term salinity tolerance of northern pike (*Esox lucius*) fry, related to temperature and size. *Fisheries Management and Ecology*, 14(5), 303–308.
- Jager Z. 1999. Selective tidal stream transport of flounder larvae (*Platichthys flesus* L.) in the Dollard (Ems estuary). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 49: 347–36.
- 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.
- Jessop B.M., Shiao J.C., Iizuka Y., Tzeng W.N., 2004. Variation in the annual growth, by sex and migration history, of silver American eels *Anguilla rostrata*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 2004, 272, 231–244.
- Johnsen P.B., Hasler A.D., 1980. The use of chemical cues in the upstream migration of coho salmon, *Oncorhynchus kisutch* Walbaum. *J. Fish. Biol.* 17, 67–73.
- Johnson M.R., Hutchins E., 2023. The Effects of Tide Gates on New England Wetlands and Other Tidal Resources. Greater Atlantic Region Policy Series [23-01]. NOAA Fisheries Greater Atlantic Regional Fisheries Office - <https://www.greateratlanticfisheries.noaa.gov/policyseries/>. 30 p.
- Jordan C. M., Garside E. T., 1972. Upper lethal temperatures of threespine stickleback, (*Gasterosteus aculeatus* (L.)), in relation to thermal and osmotic acclimation, ambient salinity, and size. *Canadian Journal of Zoology*, 50(11), 1405–1411.
- Joyeux E., Carpentier A., Corre F., Haie S., Pétillon J., 2017. Impact of salt-marsh management on fish nursery function in the bay of Aiguillon (French Atlantic coast), with a focus on European sea bass diet. *Journal of Coastal Conservation* 21, 435–444.
- Jungwirth, M., 1998. River continuum and fish migration – going beyond the longitudinal river corridor in understanding ecological integrity. In Jungwirth, M., S. Schmutz & S. Weiss (eds), *Fish Migration and Fish Bypasses*. Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford: 19–32.
- Kanouse, S., La Peyre, M., and Nyman, J., 2006. Nekton use of *Ruppia maritima* and non-vegetated bottom habitat types within brackish marsh ponds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 327, 61–69.
- Kantrud H. A., 1991. Wigeongrass (*Ruppia maritima* L.): A Literature Review. U.S. Fish Wildl. Serv., Fish Wildl. Res. 10. 58 pp.
- Kara MH, Quignard JP, 2018a. Les poissons des lagunes et des estuaires de Méditerranée 2 : les poissons sédentaires. ISTE Group: 418 p.
- Kara MH, Quignard JP, 2018b. Les poissons des lagunes et des estuaires de Méditerranée 3A : les poissons migrateurs. ISTE Group: 326 p.
- Kara MH, Quignard JP, 2018c. Les poissons des lagunes et des estuaires de Méditerranée 3B : les poissons migrateurs. ISTE Group: 306 p.
- Katselis G., Minos G., Marmagas A., Ondrias I., 1994. Seasonal distribution of Mugilidae fry and juveniles in Messolonghi coastal waters, Western Greece. *BIOS* 2 :101-108.
- Katselis G., Koukou K., Dimitriou E., Koutsikopoulos C., 2007. Short-term seaward fish migration in the Messolonghi–Etoliko lagoons (Western Greek coast) in relation to climatic variables and the lunar cycle. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73, 571–582.
- Kelley D.F., 1988. The importance of estuaries for sea-bass, (*Dicentrarchus labrax* (L.)). *Fish Biol.* 33(Supplement A), 25–33.
- Kelly E., Tully O., Browne R., 2012. Effects of temperature and salinity on the survival and development of larval and juvenile *Palaemon serratus* (Decapoda: Palaemonidae) from Irish waters. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92(1), 151–161.

- Kemp W.M., Testa J.M., Conley D.J. Gilbert D., Hagy J.D., 2009. Temporal responses of coastal hypoxia to nutrient loading and physical controls. *Biogeosciences* 6:2985–3008.
- Kemper J.H., 1997. Sonar-onderzoek naar visbewegingen, onder invloed van het openstellen van de Haringvlietsluizen in 1997. Organisatietrekkende Verbetering van de Binnenvisserij, Nieuwegein. OVB-Onderzoeksrapport RWSZH/OVB 1997–07. 23p.
- Kennish, M.J., Paerl H.W., 2010. Coastal lagoons: critical habitats of, environmental change. Boca Raton: CRC Press.
- Killgore, K. J., Dibble, E. D., and Hoover, J. J., 1993. Relationships Between Fish and Aquatic Plants: A Plan of Study. U.S. Army Corps of Engineers Miscellaneous Paper A-93-A-91.
- Kimball M.E., Rozas L.P., Boswell K.M., Cowan J.H., 2015. Effects of slotted water control structures on nekton movement within salt marshes. *Mar. Coast. Fish.* 7, 177–189.
- Kimmerer W., 2008. Losses of Sacramento River Chinook salmon and delta smelt to entrainment in water diversions in the Sacramento-San Joaquin. *San Francisco Estuary & Watershed Science*.
- Kir M., 2020. Thermal tolerance and standard metabolic rate of juvenile gilthead seabream (*Sparus aurata*) acclimated to four temperatures. *Journal of Thermal Biology*, 93, 102739.
- Klassen, G. et Locke A., 2007. A biological synopsis of the European green crab, *Carcinus maenas*. *Can. Manusc. Rep. Fish. Aquat. Sci.* no. 2818: vii+75pp.
- Kłoskowski J., 2001. Impact of common carp *Cyprinus carpio* on aquatic communities: direct trophic effects versus habitat deterioration. *Fundam. Appl. Limnol.* Vol. 178/3, 245–255.
- Kneib, R.T. 1997. Early life stages of resident nekton in intertidal marshes. *Estuaries*. 20(1), 214- 230.
- Knights B., 2003. Enhancing stocks of European eel, *Anguilla anguilla*, to benefit bittern, *Botaurus stellaris*. In: Cowx IG (ed) Interactions between fish and birds: implications for management. Blackwell Science Ltd., Oxford, pp 298–313.
- Knights B, Bark A, Ball M, Williams F, Winter E, Dunn S, 2001. Eel and elver stocks in England and Wales—status and management options. EA Research and Development Technical Report W248/MAFF R&D Project SFO307. Environment Agency, Bristol, UK, 294p.
- Kroon F.J., Ansell D.H., 2006. A comparison of species assemblages between drainage systems with and without floodgates: Implications for coastal floodplain management. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 63, 2400–241.
- Kukshtel N., 2018. Monitoring the effects of tide gates on saltmarsh water quality using a remotely operated vehicle. Thèse, Northeastern University
- Kume M, Yoshikawa Y, Tanaka T, Watanabe S, Mitamura H, Yamashita Y, 2022. Water temperature and precipitation stimulate small-sized Japanese eels to climb a low-height vertical weir. *PLoS ONE* 17(12): e0279617.
- Laffaille, P., Thieulle L., Feunteun, E., Lefevre, J.-C., 2001. Composition du peuplement piscicole d'un petit estuaire anthropisé (le Couesnon, France). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, (357-360), 191–208.
- Lafaille, P., Brosse, S., Feunteun, E., Baisez, A., & Lefevre, J.C. 1998. Role of fish communities in particulate organic matter fluxes between salt marshes and coastal marine waters in the Mont Saint-Michel Bay. *Hydrobiologia*. 373/374, 121-133.
- Laffaille, P., Feunteun, E., Lefevre, J.-C., 1999. Compétition alimentaire entre deux espèces de gobies, *Pomatoschistus lozanoi* (de Buen) et *P. minutus* (Pallas), dans un marais salé macrotidal. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences III-Vie* 322, 897-906.
- Laffaille, P., Lefevre, J.-C., Feunteun, E., 2000a. Impact of sheep grazing on juvenile sea bass, *Dicentrarchus labrax* L., in tidal salt marshes. *Biological Conservation*, 96(3), 271-277.
- Laffaille, P., Feunteun, E., Lefevre, J.-C., 2000b. Composition of fish communities in a European macrotidal salt marsh (the Mont-Saint-Michel Bay, France). *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences* 51, 429-438
- Laffaille, P., Lefevre, J.-C., Schricke, M.T., Feunteun, E., 2001. Feeding ecology of 0-group sea bass *Dicentrarchus labrax* in salt marshes of Mont-Saint-Michel bay (France). *Estuaries* 24, 116-125
- Laffaille P, Feunteun E, Baisez A, Robinet T, Acou A, Legault A, Lek S., 2003. Spatial organisation of European eel *Anguilla anguilla* L.) in a small catchment. *Ecology of Freshwater Fish*, 12.
- Laffaille P., Baisez A., Rigaud C., Feunteun E., 2004. Habitat preferences of different European eel size classes in a reclaimed marsh: a contribution to species and ecosystem conservation. *Wetlands* 24:277–294.

- Laffaille, P., Pétillon, J., Parlier, E., Valéry, L., Ysnel, F., Radureau, A., Feunteun, E., Lefevre, J-C., 2005. Does the invasive plant *Elymus athericus* modify fish diet in tidal salt marshes? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65(4), 739-746.
- Laffargue P., 2004. Interactions entre comportement et variations de la croissance des juvéniles de la sole (*Solea solea*) dans les nourriceries des pertuis Charentais. Thèse de doctorat, Université de La Rochelle, 206p.
- Lagarde R., Peyre J., Amilhat E., Bourrin F., Prellwitz F., Perrault A., Simon G., Faliex E., 2022. Phenology and environmental drivers of glass eel entrance in a Mediterranean lagoon. *ICES Journal of Marine Science*, 79, 2107–2116 DOI: 10.1093/icesjms/fsac144.
- Lamarque M., Rigaud C., Alric A., Baran P., 2012. Evaluation du comportement des civelles au droit d'un ouvrage à la mer et test de modalités de gestion hivernale. Rapport ONEM/IRSTEA – Programme R&D Anguilles/Ouvrage, 62p.
- Lambrenon J., Nicolas D., Contournet P., Rivoallab D., 2022. Étude du recrutement en civelles et de leur devenir dans l'étang du Vaccarès. Campagne d'études 2020-2021. Association Migrateurs Rhône-Méditerranée, Fondation Tour du Valat. 16p.
- Landucci F. et al., 2020. Classification of the European marsh vegetation (*Phragmito Magnocaricetea*) to the association level. *Appl Veg Sci.*;23:297–316.
- Laroche J., Quiniou L., Evrard E., 2009. Réponses moléculaires et populationnelles d'un poisson estuarien, le flet *Platichthys flesus*, à la contamination par les pesticides. Rapport IAV - UBO (LEMAR), 38p.
- Lasne E., Sabatié R., 2009. Flux migratoires et indices d'abondance des populations de lampreys du Scorff, de l'Oir et de la Bresle (*Petromyzon marinus*, *Lampetra fluviatilis* et *L. planeri*). Rapport ONEMA, INRA UMR ESE et Agrocampus Ouest, Rennes. 92p.
- Larinier M., Travade F., Porcher J.P., Gosset C., 1994. Passes à poissons, expertise, conception des ouvrages de franchissement. Collection Mise au Point CSP, 335p.
- Larry Walker Associates, 2010. A Review of Delta Fish Population Losses from Pumping Operations in the Sacramento-San Joaquin River Delta. FSL-50, 27p.
- Laugier F., 2015. Dispersion et connectivité entre les habitats écologiques essentiels de poissons des mers côtières tempérées : le cas des Ammodytidae et du bar européen dans le Golfe Normand Breton, une approche par les marqueurs environnementaux. Thèse Doctorat, Muséum national d'histoires naturelles, 244p.
- Lechêne A., 2017. Trajectoire de restauration des marais intertidaux: réponse du necton à la dépoldérisation dans l'estuaire de la Gironde. Ecologie, Environnement. Université de Bordeaux, 360 p.
- Lechêne A., Lobry J., Boët P., Laffaille P., 2018. Change in fish functional diversity and assembly rules in the course of tidal marsh restoration. *PLoS ONE* 13(12): e0209025.
- Le Coz J., Camenen B., Dramais G., Ferry M., Rosique J.L., Ribot-Bruno J., 2011. Contrôle des débits réglementaires. Application de l'article L. 214-18 du Code de l'environnement, Eds. Onema/Irstea, 128p.
- Leentvaar J., Nijboer S.M., 1986. Ecological impacts of the construction of dams in an estuary. *Water Sci. Technol.* 18, 181–191.
- Le Pape, O., Bonhommeau, S., 2015. The food limitation hypothesis for juvenile marine fish. *Fish Fish.* 16, 373–398.
- Lepareur F., Noël P., 2009. Evaluation de la qualité écologique des marais atlantiques à usage aquacole en Charente-Maritime. Rapport SPN 2010/ 2, MNHN, Paris, 113 pages.
- Lepareur F., Bertrand S., Papuga G., Richeux M., 2013. État de conservation de l'habitat 1150 « Lagunes côtières », Méthode d'évaluation à l'échelle du site. Guide d'application. Version 1 - Avril 2013. Rapport SPN 2013-14, Muséum National d'Histoire Naturelle/Service du Patrimoine naturel, Pôle-relais lagunes méditerranéennes/CEN-LR, 107 pages.
- Lepareur F., 2013. Note complémentaire au travail de Richeux (2012) pour la méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat 1150* « Lagunes côtières » à l'échelle des sites Natura 2000 et concepts généraux. Note interne SPN/MNHN, Service du Patrimoine Naturel, Muséum national d'Histoire naturelle, 11 p.
- Le Port E., Cassel A., Turgis Y., 2022. Rapport d'analyses. Suivis écologiques des fonctionnalités des prés salés pour l'ichtyofaune au sein du Parc naturel marin de l'estuaire de la Gironde et de la mer des Pertuis. Projet « Connaissance et évaluation de l'état des Habitats Benthiques Côtiers » (CoEHCo). CEN Nouvelle-Aquitaine, 99 p.
- Leo G.D., Gatto M., 1995. A size and age-structured model of the European eel (*Anguilla anguilla* L.). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 52, 1351–1367.
- Lett, C., Barrier, N., Ourmières, Y., Petit, C., Labonne, M., Bourjea, J. and Darnaude, A. M., 2019. Modeling larval dispersal for the gilthead seabream in the northwestern Mediterranean Sea. *Marine Environmental Research* 152, 104781

- Levin, L.A., D.F. Boesch, A. Covich, C. Dahm, C. Erseus, K.C. Ewel, R.T. Kneib, et al. 2001. The function of marine critical transition zones and the importance of sediment biodiversity. *Ecosystems* 4: 430–451.
- Levy W., 2014. Les végétations de l'estuaire de la Seine. Fascicules Seine-Aval 2.10, 100p.
- Linton E.D., Jonsson B., Noakes D.L.G., 2007. Effects of water temperature on the swimming and climbing behaviour of glass eels, *Anguilla* spp. *Environmental Biology of Fishes* 78 :189–192.
- Lobry, J., 2004. Quel référentiel de fonctionnement pour les écosystèmes estuariens? Le cas des cortèges de poissons fréquentant l'estuaire de la Gironde. Thèse de doctorat, Bordeaux 1.
- Looby A., Reynolds L.K., Adams C. R., Martin C. W., 2021. Submerged Aquatic Vegetation Patch Size Affects Fish Communities in a Turbid-Algal Lake. *Front. Conserv. Sci., Sec. Animal Conservation* Volume 2.
- Lucas M.C., Baras E., 2008. *Migration of Freshwater Fishes*. Blackwell Science. Osney Mead, Oxford.
- Lucas M.C., Bubb D.H., Jang M., Ha K., Masters J.E.G, 2009. Availability of and access to critical habitats in regulated rivers: effects of low-head barriers on threatened lampreys. *Freshwater Biology* 54:621-634.
- MacDonald, R.A., 1987. *Cormorants and Game Fisheries in Ireland*. The Forest and Wildlife Service, Dublin.
- Machut, L.S., Limburg, K.E., Schmidt, R.E., Dittman, D., 2007. Anthropogenic Impacts on American Eel Demographics in Hudson River Tributaries, New York. *Trans Am Fish Soc* 136, 1699–1713.
- Maci, S., Basset A., 2010. Spatio-temporal patterns of abundance, size structure and body condition of *Atherina boyeri* (Pisces: Atherinidae) in a small non-tidal Mediterranean lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 87: 125–134.
- Madeira D., Narciso L., Cabral H. N., Vinagre C., 2012. Thermal tolerance and potential impacts of climate change on coastal and estuarine organisms. *Journal of Sea Research* 70, 0–41.
- Major P.F., 1978. Aspects of estuarine intertidal ecology of juvenile striped mullet, *Mugil cephalus*, in Hawaii. *Fish. Bull.*, 76, 2, 299–314.
- Marchand J., 1981. Observations sur l'écologie de *Crangon crangon* (Linné) et *Palaméon longirostris* H. Milne Edwards (Crustacea, Decapoda, Natantia) - Estuaire interne de la Loire (France). *Vie et Milieu / Life & Environment*, 31, pp.83 - 92.
- Marchand J., Masson G., 1988. Inshore migration, distribution, behaviour and feeding activity of sole, *Solea solea* (L.), postlarvae in the Vilaine estuary France. *J. Fish Biol.*, 33, 227–228.
- Martinho F., Leitão R., Neto J.M., Cabral H.N., Marques J.C., Pardal M.A., 2007. The use of nursery areas by juvenile fish in a temperate estuary, Portugal. , 587(1), 281–290.
- Martino, A., Syväranta, J., Crivelli, A., Cereghino, R., Santoul, F., 2011. Is European catfish a threat to eels in southern France ? *Aquatic Conservation* 21, 276–281.
- Marttin F., De Graaf G.J., 2002. The effect of a sluice gate and its mode of operation on mortality of drifting fish larvae in Bangladesh. *Fish. Manag. Ecol.*, 9, 123–125.
- Marshall, S., Elliott. M., 1998. Environmental influences on the fish assemblage of the Humber estuary, U.K. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 46: 175–184.
- Massa, E.A., Farrell, J.M., 2020. Improving habitat connectivity in a *Typha*-dominated wetland shows increased larval northern pike survival. *Wetlands* 40, 273–286.
- Masson G., 1987. Biologie et écologie d'un poisson plat amphihalin, le flet (*Platichthys flesus* Linné, 1758) dans l'environnement ligérien : distribution, démographie, place au sein des réseaux trophiques. Thèse de Doctorat, Université de Brest.
- Mathieson S, Catrijsse A, Costa MJ, Drake P, Elliott M, Gardner J, Marchand J, 2000. Fish assemblages of European tidal marshes: a comparison based on species, families and functional guilds. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 204:225–242.
- Mazel V., Charrier F., Moyon F., Legault A., 2015. Étude de la cinétique d'arrivée des civelles au droit des ouvrages à la mer et implication dans la gestion de la continuité piscicole au droit de ces ouvrages. Cabinet Fish Pass, Journées Anguilles GRISAM.
- McKinney R, Hanson A, Johnson R, Charpentier M. 2019. Seasonal variation in apparent conductivity and soil salinity at two Narragansett Bay, RI salt marshes. *PeerJ* 7: 8074

- McDevitt-Irwin, J., Iacarella, J., and Baum, J., 2016. Reassessing the nursery role of seagrass habitats from temperate to tropical regions: A meta-analysis. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 557, 133–143.
- McCleave J.D., Kleckner R.C., 1982. Selective tidal stream transport in the estuarine migration of glass eels of the american eel (*anguilla rostrata*). *ICES Journal of Marine Science*, 40(3) :262–271.
- McCowen C, Weatherdon L, Bochove J, Sullivan E, Blyth S, Zockler C, Stanwell-Smith D, Kingston N, Martin C, Spalding M, Fletcher S, 2017. A global map of saltmarshes. *Biodiversity Data Journal* 5.
- McGaw, I.J., Reiber C.L., Guadagnoli J.A., 1999. Behavioral physiology of four crab species in low salinity. *Biol. Bull.* 196 : 163-176.
- McKnight, A., Mathews L.M., Avery R., Lee K.T., 2000. Distribution is correlated with color phase in green crabs, *Carcinus maenas* (Linnaeus, 1758) in southern New England. *Crustaceana* 73: 763-768.
- McLusky, D.S., Hagerman L.; Mitchell P., 1982. Effect of salinity acclimation on osmoregulation in (*Crangon crangon*) and (*Praunus flexuosus*). *Ophelia*, 21(1), 89–100.
- Meckley T.D., Wagner C.M., Gurarie E., 2014. Coastal movements of migrating sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in response to partial pheromone added to river. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 71, 533–544.
- Meeker J.E., 1996. Wild-rice and sedimentation processes in a Lake Superior coastal wetland. *Wetlands* 16:219–231.
- Mignucci A. 2021. Rôle de l'environnement dans la dynamique spatiale des poissons marins à l'interface lagune-mer en Méditerranée française: approches d'écologie spatiale et d'écophysiologie appliquées à trois espèces côtières. Thèse de Doctorat, Sciences agricoles. Université Montpellier, 207p.
- Millner RS., Whiting CL., 1990. Distribution and abundance of juvenile sole and plaice in the eastern English Channel from young fish surveys. Copenhagen Denmark Ices CMG: 38: 13 pp.
- Mirkovic, I., 2014. Suivi de la frayère à brochet de l'ile au Noyer (Saint-Aubin-les-Elbeuf). Rapport FDAAPPMA 76. 38 p.
- Mires D., Shak Y., Shilo S., 1974. Further observations on the effect of salinity and temperature changes on *Mugil capito* and *Mugil cephalus* fry. *Bamidgeh* 26 4, 104–109.
- Missionário M., Fernandes J. F., Travesso M., Freitas E., Calado R., Madeira D., 2022. Sex-specific thermal tolerance limits in the ditch shrimp *Palaemon varians*: Eco-evolutionary implications under a warming ocean. *Journal of Thermal Biology* Volume 103, 103151.
- Mitchell S. B., Tinton E., Burgess H., 2006. Analysis of flows and water levels near tidal flap gate. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Maritime Engineering* 159, Issue MA3, 107–112.
- Molinaroli E., Sarretta A., Ferrarin C., Guerzon S., 2014. Sediment grain size and hydrodynamics in Mediterranean coastal lagoons: Integrated classification of abiotic parameters. *Journal of Earth System Science* 123(5) : 1097–1114.
- Morat F., 2011. Influence des apports rhodaniens sur les traits d'histoires de vie de la sole commune (*Solea Solea*) : apports de l'analyse structurale et minéralogique des otolithes. Thèse de doctorat, Université d'Aix-Marseille 2.
- Mouton A.M., Van den Stevens M., Buysse D., Coeck J., 2011. Adjusted barrier management to improve glass eel migration at an estuarine barrier. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*
- Mouton A.M., Huysecom S., Buysse D., Stevens M., Van Den Neucker T., Coeck J., 2014. Optimisation of adjusted barrier management to improve glass eel migration at an estuarine barrier. *J. Coastal Conserv.* 18, 111–120.
- Muntoni M., 2020. PROPOSE Potentialités de RestauratiOn des habitats clés pour les POissons dans l'estuaire de la Seine. Rapport d'étude du GIP Seine-Aval. 83 pp
- Najjar, R.G., Herrmann, M., Alexander, R., Boyer, E.W., Burdige, D.J., Butman, D., Cai, W.-J., Canuel, E.A., Chen, R.F., Friedrichs, M.A.M., Feagin, R.A., Griffith, P.C., Hinson, A.L., Holmquist, J.R., Hu, X., Kemp, W.M., Kroeger, K.D., Mannino, A., McCallister, S.L., McGillivray, W.R., Mulholland, M.R., Pilskaln, C.H., Salisbury, J., Signorini, S.R., St-Laurent, P., Tian, H., Tzortziou, M., Vlahos, P., Wang, Z.A., & Zimmerman, R.C. 2018. Carbon budget of tidal wetlands, estuaries, and shelf waters of eastern North America. *Global Biogeochemical Cycles*. 32(3), 389-41.
- Nathan, R., Getz, W. M., Revilla, E., Holyoak, M., Kadmon, R., Saltz, D. and Smouse, P. E., 2008. A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research. *PNAS* 105, 19052–19059.
- Navarro T., Carrapato C., Ribeiro F., 2014. Effects of temperature, salinity and feeding frequency on growth and mortality of twaite shad (*Alosa fallax*) larvae. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (412), 07.

- Neveu, A., 1981. Densité et microrépartition des différentes espèces de poissons dans la Basse-Nivelle, petit fleuve côtier des Pyrénées Atlantiques. Bull. Fr. Piscic. 86–102.
- Nicolas D., 2010. Des poissons sous influence? Une analyse à large échelle des relations entre les gradients abiotiques et l'ichtyofaune des estuaires tidaux européens. Thèse de Doctorat Ecologie Aquatique, Université Bordeaux, 245p.
- Nicolas D., Contournet P., Hilaire S., Crassard T., Luna-Laurent E., Milesi D., Leborne F., Boulongne P., Parent M., Boutron O., Poulin B., Thibault M., 2021. Etude de la connectivité hydrobiologique entre le milieu marin et le complexe lagunaire du Vaccarès via les étangs et marais des salins de Camargue, suivis ichthyologiques 2016-2021. Rapport final, Tour du Valat.
- Nielsen A., Hagerman L., 1998. Effect of short-term hypoxia on metabolism and haemocyanin oxygen transport in the prawns *Palaemon adspersus* and *Palaemonetes varians*. Mar Ecol Prog Ser 167:177–183
- Niemi N., Hansen J.P., Eklöf J.S., Eriksson B.K., Andersson H.C., Bergström U., Östman Ö., 2023. Influence of reed beds (*Phragmites australis*) and submerged vegetation on pike (*Esox lucius*) Fisheries Research 261.
- Nilsson J., Andersson J., Karas P., Sandström O., 2004. Recruitment failure and decreasing catches of perch (*Perca fluviatilis* L.) and pike (*Esox lucius* L.) in the coastal waters of southeast Sweden. Boreal Environment Research 9 : 295–306.
- Nilsson J., Engstedt O., Larsson P., 2014. Wetlands for northern pike (*Esox lucius* L.) recruitment in the Baltic Sea. Hydrobiologia 721:145–154.
- Northcote T. G., 1984. Mechanisms of fish migration in rivers. In Mechanisms of Migration in Fishes (Neil, W. H., ed.), pp. 317–355. New York, London: Plenum Press.
- Nzau Matondo B., Ovidio M., Philippart J.-C., Poncin P., 2009. Hybridization behaviour between two common European cyprinid fish species – silver bream, *Blicca bjoerkna* and common bream, *Abramis brama* – in a controlled environment. Animal Biology, 59, 97–108.
- Odum W. E., 1988. Comparative ecology of tidal freshwater and salt marshes. Annual Review of Ecology and Systematics, 19, p. 147 à 176.
- Oh C.W., Hartnoll R.G., Nash R.D.M., 2001. Feeding ecology of the common shrimp *Crangon crangon* in Port Erin Bay, Isle of Man, Irish Sea. Marine Ecology Progress Series, 214, 211-223.
- Oliphant A., Thatje S., 2014. Energetic adaptations to larval export within the brackish living palaemonine shrimp *Palaemonetes varians*. Marine Ecology Progress Series 505:177-623
- Olson, M.H., Carpenter, S.R., Cunningham, P., Gafny, S., Herwig, B.R., Nibbelink, N.P., Pellett, T., Storlie, C., Trebitz, A.S., Wilson, K.A., 1998. Managing macrophytes to improve fish growth: a multi-lake experiment. Fisheries 23, 6–12.
- O'Neill B., Raedemaeker F. De, McGrath D., Brophy D., 2011. An experimental investigation of salinity effects on growth, development and condition in the European flounder (*Platichthys flesus* L.). Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 410, 39–44.
- Oosterlee L., Cox T.J.S., Temmerman S., Meire P., 2019. Effects of tidal re-introduction design on sedimentation rates in previously embanked tidal marshes, Estuarine, Coastal and Shelf Science, ISSN 0272-7714, 1-11.
- Ouisse V., Bourjea J., Iotti M., Mignucci A., Darnaude A. 2022. Rôle des lagunes littorales dans le cycle biologique des poissons méditerranéens : comprendre pour mieux les préserver. Projet NURSE – Rapport final 188p.
- Ovidio M., Philippart J. C., 2003. Long range seasonal movements of northern pike (*Esox lucius* L.) in the barbel zone of the River Ourthe (River Meuse basin, Belgium). In Lembo M.T., Marmulla, G. (eds.), Aquatic telemetry: advances and applications. Proceedings of the Fifth Conference on Fish Telemetry held in Europe. Ustica, Italy, Rome, FAO/COISPA. 295p.
- Paillisson JM, Bonis A., Marquet M., 2011. Essai de restauration de roselières en marais dulçaquicole. Sciences Eaux et Territoires, 20-25p.
- Palmer M. A., D. Allan and C. A. Butman, 1996. Dispersal as a regional process affecting the local dynamics of marine and stream benthic invertebrates. Tree vol. 11, no. 8, 322-326.
- Palmer M. A. and N. L. Poff , 1997. The Influence of Environmental Heterogeneity on Patterns and Processes in Streams. Journal of the North American Benthological Society, Vol. 16, No. 1, 169-173.
- Parlier E., 2006. Approche quantitative de la fonction de nourricerie des systèmes estuaires-vasières : cas du bar européen *Dicentrarchus labrax*, L. 1758 ; a.k.a. Morone labrax) dans cinq nourriceries du Ponant : estuaire de la Seine, estuaire de la Loire, baie du Mont Saint-Michel, baie de Saint-Brieuc et baie de l'Aiguillon. Thèse de doctorat, Université de La Rochelle.
- Paly L., Carcaud N., Beaujouan V., 2024. Controverses environnementales sur la gestion d'espaces naturels protégés : le cas de zones humides littorales atlantiques françaises. Vertigo, 24-1.

- Parsons J., Vickers K.U., Warden Y., 1977. Relationship between elver recruitment and changes in the sex ratio of silver eels *Anguilla anguilla* L. migrating from Lough Neagh, Northern Ireland. *J. Fish Biol.* 1977, 10, 211–229.
- Paticat F., 2007. Flux et usages de l'eau de mer dans les marais salés endigués Charentais : cas du marais salé endigué de l'île de Ré. Thèse doctorat Université de Nantes, 387p.
- Pauwels I.S., Goethals P.L.M., Coeck J., Mouton A.M., 2017. Habitat use and preference of adult pike (*Esox lucius* L.) in an anthropogenically impacted lowland river. *Limnologica*, 62, 151–160.
- Pearlstine L.G., Kitchens W.M., Latham P.J., Bartleson R.D., 1993. Tide gate influences on a tidal marsh. *Water Resour. Bull.*, 29, 1009–101.
- Pennings S. C., et Bertness M. D., 2001. Salt Marsh Communities. Dans M. D. Bertness, S. D. Gaines et M. E. Hay (dir.), *Marine community ecology* (p. 289 à 316). Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates.
- Pérez-Ruzafa A., Marcos C., Pérez-Ruzafa I. M., Pérez-Marcos M., 2011. Coastal lagoons: “transitional ecosystems” between transitional and coastal waters. *Journal of Coastal Conservation*, 15: 369–392.
- Perez-Ruzafa, A., Marcos C., 2012. Fisheries in coastal lagoons: An assumed but poorly researched aspect of the ecology and functioning of coastal lagoons. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 110: 15–31.
- Pereira E., Mateus C.S., Alves M.J., Almeida R., Pereira J., Quintella B.R., Almeida P.R., 2023. Connectivity patterns and gene flow among Chelon ramada populations. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 281, 5.
- Perry, A. L., Low, P. J., Ellis, J. R., & Reynolds, J. D., 2005. Climate Change and Distribution Shifts in Marine Fishes. *Science* 308, 1912–1915.
- Pflugrath B.D., Boys C.A., Cathers B., Deng Z.D., 2019. Over or under? Autonomous sensor fish reveals why overshot weirs may be safer than undershot weirs for fish passage. *Ecol. Eng.*, 132, 41–48.
- Phillips J.D., 1989. Fluvial sediment storage in wetlands. *Water Resour. Bull.* 25:867–873.
- Pihl, L., Cattrisse, A., Codling, I., Mathieson, D.S., McLusky, D.S., Roberts, C., 2002. Habitat use by fishes in estuaries and other brackish areas. In: Elliott, M., Hemingway, K. (Eds.), *Fishes in Estuaries*. Blackwell Science, Oxford, pp. 10-53.
- Pinsky, M. L., Worm, B., Fogarty, M. J., Sarmiento, J. L., Levin, S. A., 2013. Marine Taxa Track Local Climate Velocities. *Science* 341, 1239–1242.
- Pita C., Gamito S., Erzini K., 2002. Feeding habits of the gilthead seabream (*Sparus aurata*) from the Ria Formosa (southern Portugal) as compared to the black seabream (*Spondyliosoma cantharus*) and the annular seabream (*Diplodus annularis*). *Journal of Applied Ichthyology* 18, 81–86.
- Pitkänen H., Peuraniemi M., Westerborn, M., Kilpi, M., von Numers, M., 2013. Long-term changes in distribution and frequency of aquatic vascular plants and charophytes in an estuary in the Baltic Sea. *Ann. Bot. Fenn.* 50, 1–54.
- Pollard D.A., Hannan J.C., 1994. The ecological effects of structural flood mitigation works on fish habitats and fish communities in the Lower Clarence River system of South Eastern Australia. *Estuaries* 17, 427–461.
- Polo A., Yúfera M., Pascual E., 1991. Effects of temperature on egg and larval development of *Sparus aurata* L. *Aquaculture*, 92, 367–375.
- Polte, P., Schanz A., Asmus H., 2005. The contribution of seagrass beds (*Zostera noltii*) to the function of tidal flats as a juvenile habitat for dominant, mobile epibenthos in the Wadden Sea. *Mar. Biol.* 147 : 813-822.
- Pontee, N., 2013. Defining coastal squeeze: a discussion. *Ocean Coast Manag.* 84, 204–207.
- Pörtner H., Farrell A., 2008. Physiology and climate change. *Science* 322(5902) :690-692.
- Portnoy J.W., 1999. Salt marsh diking and restoration: biogeochemical implications of altered wetland hydrology. *Environmental Management* 24:111–120.
- Portnoy, J. W., C. T. Roman, and M. A. Soukup. 1987. Hydrologic and chemical impacts of diking and drainage of a small estuary (Cape Cod National Seashore): effects on wildlife and fisheries. Pages 254–65 in W. R. Whitman and W. H. Meredith, editors. *Waterfowl and wetlands symposium: proceedings of a symposium on waterfowl and wetland management in the coastal zone of the Atlantic flyway*. Delaware Department of Natural Resources and Environmental Control, Dover, Delaware.
- Poole W.R., Reynolds J.D., 1998. Variability in growth rate in European eel *Anguilla anguilla* (L.) in a western Irish catchment. In *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*; Royal Irish Academy: Dublin, Ireland, pp. 141–145.

- Potter I.C., Beamish F.W.H., 1975. Lethal temperatures in ammocoetes of four species of lampreys, *Acta Zool.*, vol. 56, no. 1, pp. 85–91.
- Poxton M.G., Allouse S.B., 1982. Water quality criteria for marine fisheries. *Aquacultural Engineering* 1, 153–191.
- Pradeilles C., CousinB., 2021. Etude comportementale du Brochet commun (*Esox lucius* (L.)). Analyse du rôle des paramètres environnementaux et biologiques dans le processus de migration longitudinale. Rapport FDAAPPMA de l'Aube, 85p.
- Quieroga, H., 1996. Distribution and drift of the crab *Carcinus maenas* (L.) (Decapoda, Portunidae) larvae over the continental shelf off northern Portugal in April 1991. *J. Plankton Res.* 18 : 1981-2000.
- Quieroga, H., 1998. Vertical migration and selective tidal stream transport in the megalopa of the crab *Carcinus maenas*. *Hydrobiol.* 375/376 : 137-149.
- Quieroga, H., Costlow J.D., Moreira M.H., 1997. Vertical migration of the crab *Carcinus maenas* first zoea in an estuary: Implications for tidal stream transport. *Mar Ecol. Prog. Ser.* 149 : 121-132.
- Raposa K.B., Talley D.M., 2012. A meta-analysis of nekton responses to restoration of tide-restricted New England salt marshes. In : Roman, CT and DM Burdick, editors. *Tidal marsh restoration, a synthesis of science and management*. 1st edition. Washington (DC) : Island Press. p. 97-118.
- Rebelo JE., 1992. The Ichthyofauna and Abiotic Hydrological Environment of the Ria de Aveiro, Portugal. *Estuaries*, 15(3), 403–413.
- Reynolds, W.W. and Casterlin, M.E., 1978. Behavioral thermos regulation by ammocoete larvae of the sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in electronic shuttlebox, *Hydrobiologia*, vol. 61, no. 2, pp. 145–147.
- Richardson, W. B., Zigler, S. J., and Dewey, M. R., 1998. Bioenergetic relations in submerged aquatic vegetation: an experimental test of prey use by juvenile bluegills. *Ecol. Freshw. Fish* 7, 1–12.
- Richeux M., 2012. Etat de conservation des lagunes de la façade atlantique française – Méthode d'évaluation à l'échelle du site Natura 2000. Mémoire de stage, Université de La Rochelle, 58 p. + annexes.
- Rijnsdorp, A. D., Peck, M. A., Engelhard, G. H., Möllmann, C., Pinnegar, J. K., 2009. Resolving the effect of climate change on fish populations. *ICES Journal of Marine Science* 66, 1570–1583.
- Rigaud C., Baran P., Drouineau H., Roqueplo C., Lamarque E., Fabre R., Alric A., Laharanne A., Rouet M., Der Mikaelian S., 2012. Marquage-recapture et évaluation de l'efficacité d'un dispositif de franchissement sur un ouvrage estuaire ou proche de la limite de marée. Rapport Pôle Eco-hydraulique – Programme R&D Anguilles/Ouvrages.
- Rimond F., Lechêne A. 2021. Intérêt des zones intertidales et rivulaires de la Gironde comme habitats des poissons et des macrocrustacés: Importance pour l'accueil des juvéniles et potentiel de restauration par dépolérisation. [Rapport de recherche] irstea. 2014, pp.34.
- Rind K.H., 2018. Physiology of Threespined Sticklebacks (*Gasterosteus aculeatus*) of the Camargue at different salinities. *Biodiversity and Ecology*. Université Montpellier, 2018. 152p.
- Rind K., Rodriguez-Barugc Q., Nicolas D., Cucchi P., Lignot J., 2020. Morphological and physiological traits of Mediterranean sticklebacks living in the Camargue wetland (Rhône river delta). *Journal of Fish Biology*, 97(1), 51–63.
- Ritter A.F., Wasson K., Lonhart S.I., Preisler R.K., Woolfolk A., Griffith K.A., Connors S., Heiman K.W., 2008. Ecological signatures of anthropogenically altered tidal exchange in estuarine ecosystems. *Estuar. Coast* 31, 554–571.
- Rivoallan D., Campton P., 2019. Étude des potentialités de colonisation des lagunes par les poissons migrateurs. Campagne 2018 : Étang de La Palme, Bages - Sigean et Berre. Association Migrateurs Rhône Méditerranée. 50 p.
- Rivoallan D., Blanc M., Lambrenon J. 2020. Étude des potentialités de colonisation des lagunes par les poissons migrateurs. Campagne d'Etudes 2020. Rapport MRM N°15/15, 101p
- Rodriguez-Climent, S., Caiola N., Ibanez C., 2013. Salinity as the main factor structuring small-bodied fish assemblages in hydrologically altered Mediterranean coastal lagoons. *Scientia Marina* 77: 37–45.
- Roman C.T., Niering W.A., Warren R.S., 1984. Salt marsh vegetation change in response to tidal restrictions. *Environmental Management*. 8(2) : 141-150.
- Rosecchi E., Crivelli A. J., 1995. Sand smelt (*Atherina boyeri*) migration within the water system of the Camargue, southern France *Hydrobiologia* volume 300, pages 289–298.

- Rosecchi E., Chauvelon P., Poizat G., Crivelli A.J., 2003. Conséquences de la variabilité hydro-saline d'un complexe lagunaire méditerranéen, induite par la gestion hydraulique et les contraintes climatiques, sur ses peuplements piscicoles : le cas du système Vaccarès. Rapport Final – La Tour du Valat, 80p.
- Rosell R., Evans D., Allen M., 2005. The eel fishery in lough neagh, northern Ireland – an example of sustainable management? *Fisheries Management and Ecology*, 12: 377–385.
- Rougier T., 2014. Repositionnement des poissons migrateurs amphihalins européens dans un contexte de changement climatique : une approche exploratoire par modélisation dynamique mécaniste. *Ecologie, Environnement*. Université de Bordeaux, 215p.
- Rozas LP, 1995. Hydroperiod and its influence on nekton use of the salt marsh: a pulsing ecosystem. *Estuaries* 18: 579–590.
- Sabatier P., Dezileau L., 2010. Archives sédimentaires dans les lagunes du Golfe d'Aigues-Mortes. Estimation de l'aléa de tempête depuis 2000 ans. *Quaternaire*, Vol 21, 1, 5-11.
- Sabriye A. S., Reay P. J., Coombs S. H., 1988. Sea-bass larvae in coastal and estuarine plankton. *J. Fish Biol.* 33 Supplement A, 231-233.
- Sadler K., 1979. Effects of temperature on the growth and survival of the European eel, (*Anguilla anguilla* L.). *J. Fish Biol.* , 15(4), 499–507.
- Saillant E., Fostier A., Haffray P., Menu B., Chatain B., 2003. Saline preferendum for the European sea bass, *Dicentrarchus labrax*, larvae and juveniles: effect of salinity on early development and sex determination. , 287(1), 103–117.
- Salgado, J., Costa, M.J., Cabral, H., Deegan, L., 2004. Comparison of the fish assemblages in tidal salt marsh creeks and in adjoining mudflat areas in the Tejo estuary (Portugal). *Cahiers de Biologie Marine* 45, 213-224.
- Samuel, M. D., Pierce, D. J. and Garton, E. O., 1985. Identifying areas of concentrated use within the home range. *Journal of Animal Ecology* 54, 711–719.
- Sánchez Vázquez F. J., Muñoz-Cueto J. A., 2015. *Biology of European Sea Bass* Edited By CRC Press.
- Schlosser I.J., 1991. Stream fish ecology: a landscape perspective. *Bioscience*, vol 41, n°10, 704-712.
- Schlumpberger V., 1966. Determination of salt tolerance of pike (*Esox lucius*) by means of Na22 . Ref. *Zh. Biol.* IIII8k
- Schrank, A.J., Lishawa, S.C., 2019. Invasive cattail reduces fish diversity and abundance in the emergent marsh of a Great Lakes coastal wetland. *J. Great Lakes Res.* 45, 1251–1259.
- Schram E, Bierman S, Teal LR, Haenen O, van de Vis H, et al., 2013. Thermal Preference of Juvenile Dover Sole (*Solea solea*) in Relation to Thermal Acclimation and Optimal Growth Temperature. *PLoS ONE* 8(4): e61357.
- Scott D.C., Arbeider M., Gordon J., Moore J.W., 2016. Flood control structures in tidal creeks associated with reduction in nursery potential for native fishes and creation of hotspots for invasive species. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 73, 1138–1148.
- Scott, W.B., Crossman, E.J., 1973. Freshwater fishes of Canada; Bulletin 184. Fisheries Research Board of Canada, Ottawa.
- Selleslagh J., Amara R. 2008. Environmental factors structuring fish composition and assemblages in a small macrotidal estuary (eastern English Channel). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 79: 507–517
- Sheaves, M., Baker, R., Nagelkerken, I., Connolly, R. M., 2015. True Value of Estuarine and Coastal Nurseries for Fish: Incorporating Complexity and Dynamics. *Estuaries and Coasts*, 38(2), 401–414.
- Sherren K, Ellis K, Guimond JA, Kurylyk B, LeRoux N, Lundholm J, Mallory ML, van Proosdij D, Walker AK, Bowron TM, Brazner J, Kellman L, Turner II BL, and Wells E. 2021. Understanding multifunctional Bay of Fundy dykelands and tidal wetlands using ecosystem services—a baseline. *FACETS* 6: 1446–1473
- Silva S., Lowry M., Macaya-Solis C., Byatt B., Lucas M.C., 2017. Can navigation locks be used to help migratory fishes with poor swimming performance pass tidal barrages ? A test with lampreys. *Ecological Engineering*, 102, 291–302.
- Singh G., Ansal M. D., Kaur V. I., 2018. Salinity tolerance and survival of freshwater carp, *Cyprinus carpio* Linn. in inland saline water. *Indian Journal of Ecology* 45(3):598-601.
- Skerritt DJ., 2010. A review of the European flounder *Platichthys flesus* - Biology, Life History and Trends in Population. Newcastle University, International Marine & Environmental Consultancy, 13p.
- Smaldon G. (1993) *Coastal shrimps and prawns*. 2nd edition. Shrewsbury: Linnean Society of London/Field Studies Council.
- Smirnov A., Golovanov V., Zvezdin A.O., Kucheryavyy A. V., 2020. Unusual Thermoregulatory Behavior of Anadromous and Resident Larvae of the River Lamprey *Lampetra fluviatilis* (Petromyzontidae). *Inland Water Biology* 13(4):648-654.

Sogard SM, Able KW, 1991. A comparison of eelgrass, sea lettuce macroalgae, and marsh creeks as habitats for epibenthic fishes and decapods. *Estuar Coast Shelf Sci* 33:501–519.

Solomon J., Wright R., 2012. Prioritising Pumping Stations for Facilities for the Passage of Eels and Other Fish. Environment Agency, Anglian Region. 53p.

Souder J.A., Tomaro LM., Giannico G.R., Behan J.R., 2018. Ecological Effects of Tide Gate Upgrade or Removal: A Literature Review and Knowledge Synthesis. Report to Oregon Watershed Enhancement Board. Institute for Natural Resources, Oregon State University. Corvallis, OR. 136 pp. Submitted to Oregon Watershed Enhancement Board in fulfillment of grant #217-8500-14090.

Sourget Q., Biais G., 2009. Ecologie, biologie et exploitation du maigre du golfe de Gascogne. Rapport IFREMER Convention SMIDDEST-IFREMER-CNRS 08/5210013/F, 74p.

Spikmans F., Lemmers P., op den Camp H.J.M., van Haren E., Kappen F., Blaakmeer A., van der Velde G., van Langevelde F., Leuven R.S.E.W., van Alen T.A., 2020. Impact of the invasive alien topmouth gudgeon (*Pseudorasbora parva*) and its associated parasite *Sphaerothecum destruens* on native fish species. *Biol Invasions* 22:587–601.

Suquet M., Divanach P., Huszenot J., Coves D., Fauve C., 2009. Pisciculture marine de «nouvelles espèces» d'élevage pour l'Europe Cah Agric, vol. 18, n° 2-3, 148-156.

Spares A.D., Dadswell M.J., McLellan, Stokesbury M.J.W., 2022. "Opening the Door : *Alosa pseudoharengus* (Alewife) Passage through Tide Gates in Two Adjacent Rivers on the Chignecto Isthmus, Bay of Fundy, Canada," *Northeastern Naturalist* 29(2), 239-261.

Steele, K.; Chadwick, S.; Debney, A.; Gollock, M., 2018. Variation between European eel *Anguilla anguilla* (L.) stocks in five marshes of the Thames Estuary (United Kingdom). *Wetlands Ecology and Management*, 26(6), 1181–1188.

Stevens M., 2006. Intertidal and basin-wide habitat use of fishes in the Scheldt estuary. PhD Thesis, Université Catholique de Leuven, 156p.

Stumpf R. P., 1983. The process of sedimentation on the surface of a salt marsh. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 17(5), 495–508.

Sullivan M.J., Moncreiff C.A. 1990. Edaphic algae are an important component of salt marsh food-webs: evidence from multiple stable isotope analyses. *Marine Ecology Progress Series*. 62, 149-159.

Sun ZG, Mou XJ, Sun WL, 2016. Potential effects of tidal flat variations on decomposition and nutrient dynamics of *Phragmites australis*, *Suaeda salsa*, and *Suaeda glauca* litter in newly created marshes of the Yellow River estuary, China. *Ecological Engineering* 93:175–186

Tableau, A., Brind'Amour, A., Woillez, M., Le Bris, H., 2015. Influence of food availability on the spatial distribution of juvenile fish within soft sediment nursery habitats.

Tandler A., Anav F.A., Choshniak I., 1995. The effect of salinity on growth rate, survival and swimbladder inflation in gilthead seabream, *Sparus aurata*, larvae. , 135(4), 0–353.

Taverny C., Elie P., Boët P., 2009. La vie piscicole dans les masses d'eau de transition : proposition d'une grille de qualité pour la température, l'oxygène dissous, la salinité et la transparence, Cemagref, n°131.

Taverny C, Elie P., 2010. Les lampreies en Europe de l'Ouest Écophases, espèces et habitats. Edition Quae.

Taylor, 2005. Do salt marshes serve as fish nurseries? <http://www.gulfofmaine.org/times/summer2005/scienceinsights.html>

Taylor M., Baker R., Simenstad C., Weinstein M. P., 2021. Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology Revisited . *Estuaries and Coasts* (2021) 44 : 1493–1496.

Teal J.M., Weinstein M.P., 2002. Ecological engineering, design, and construction considerations for marsh restorations in Delaware Bay, USA. *Ecological Engineering* 18, 607-618.

Thiel, M., Dernedde T., 1994. Recruitment of shore crabs *Carcinus maenas* on tidal flats: mussel clumps as an important refuge for juveniles. *Helgol. Meeresunters* 48 : 321-332.

Thompson G., Withers P., 1992. Osmoregulatory adjustments by three atherinids (*Leptatherina presbyteroides*; *Craterocephalus mugiloides*; *Leptatherina wallacei*) to a range of salinities. *Comparative Biochemistry and Physiology*, 103A, 4, 725-728.

Todd, P.A., Ladle R.J., Briers R.A., Brunton A., 2005. Quantifying two-dimensional dichromatic patterns using a photographic technique: case study on the shore crab (*Carcinus maenas* L.). *Ecol. Res.* 20 : 497-501.

- Tomasini, J.A. and Laugier, T., 2002. Male Reproductive Strategy and Reserve Allocation in Sand Smelt from Brackish Lagoons of Southern France. *Journal of Fish Biology*, 60(3): 521-531.
- Tonjes D.J., 2013. Impacts from ditching salt marshes in the mid-Atlantic and northeastern United States. *Environ. Rev.* 21: 116–126.
- Tosi L., Spampinato A., Sola C., Tongiorgi P., 1990. Relation of water odour, salinity and temperature to ascent of glass-eels, *Anguilla anguilla* (L.): a laboratory study. *J. Fish. Biol.* 36, 327–340.
- Traini C., Proust J.-N., Menier D., Mathew M.J., 2015. Distinguishing natural evolution and human impact on estuarine morphosedimentary development: A case study from the Vilaine Estuary, France. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 16, 143–155.
- Trancart T., Lambert P., Daverat F., Rochard E., 2014. From selective tidal transport to counter-current swimming during watershed colonisation: an impossible step for young-of-the-year catadromous fish? *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, (412), 04.
- UFBAG, 2014. Guide technique pour la restauration des frayères à brochet, 24p.
- Van Liefferinge C., Dillen A., Ide C et al., 2012. The role of a freshwater tidal area with controlled reduced tide as feeding habitat for European eel (*Anguilla anguilla*, L.). *J. Appl. Ichthyol.* 28:572–581.
- Van Proosdij D., Milliga T., Bugden G., Butler K., 2009. A tale of two macro tidal estuaries: Differential morpho-dynamic response of the intertidal zone to causeway construction. *J. Coast. Res.* SI, 56, 772–776.
- Vasconcelos, R. P., Reis-Santos, P., Fonseca, V., Maia, A., Ruano, M., Franca, S., Vinagre, C. et al., 2007. Assessing anthropogenic pressures on estuarine fish nurseries along the Portuguese coast: a multi-metric index and conceptual approach. *Science of the Total Environment* 374: 199–215.
- Verdiell-Cubedo, D., Oliva-Paterna F.J., Ruiz-Navarro A., Torralva M., 2013. Assessing the nursery role for marine fish species in a hypersaline coastal lagoon (Mar Menor, Mediterranean Sea). *Marine Biology Research* 9: 739–748.
- Vieira N., Bio A., 2011. Spatial and temporal variability of water quality and zooplankton in an artisanal salina. *Journal of Sea Research*, Vol. 65, N°2, 293-303.
- Vinagre C., Narciso I., Cabral H., Costa MJ., Rosa R., 2012. Coastal versus estuarine nursery grounds: effect of temperature on growth, condition and metabolism in seabass, *Dicentrarchus labrax*. *Estuar Coast Shelf Sci* 109:133–137.
- Vollestad, L.A., Jonsson, B., 1988. A 13-Year Study of the Population Dynamics and Growth of the European Eel *Anguilla anguilla* in a Norwegian River : Evidence for Density-Dependent Mortality, and Development of a Model for Predicting Yield. *The Journal of Animal Ecology* 57, 983.
- Vranken M., Oenema O., 1990. Effects of tide range alterations on salt marsh sediments in the Eastern Scheldt, S. W. Netherlands. *Hydrobiologia* 195: 13–20.
- Walsh C.T., Pease B.C., Booth D.J., 2004. Variation in the sex ratio, size and age of long finned eels within and among coastal catchments of south-eastern Australia. *J. Fish Biol.*, 64, 1297–1312.
- Wang H., Hsieh Y. P., Harwell M.A., et Huang W., 2007. Modeling soil salinity distribution along topographic gradients in tidal salt marshes in Atlantic and Gulf coastal regions. *Ecological Modelling*, 201, p. 429 à 439.
- Watkinson D.A., Charles C., Enders E.C., 2021. Spatial ecology of common carp (*Cyprinus carpio*) in Lake Winnipeg and its potential for management actions. *Journal of Great Lakes Research* 47 : 583–591.
- Weinstein, M.P., Litvin, S.Y., Bosley, K.L., Fuller, C.M., Wainwright, S.C. 2011. The role of tidal salt marsh as an energy source for marine transient and resident finfishes: A stable isotope approach. *American Fisheries Society*. 129(3), 797-810.
- Winter ER., Hindes A., Lane S., Britton R. 2021. Movements of common bream *Abramis brama* in a highly connected, lowland wetland reveal sub-populations with diverse migration strategies. *Freshwater Biology* 66(7).
- Whitfield A.K., 1990. Life-history of fishes in South African estuaries. *Environ. Biol. Fish.* 28, 295–308.
- Whitfield, A.K., 1999. Ichthyofaunal assemblages in estuaries: a South African case study. *Rev. Fish Biol. Fish.* 9, 151–186.
- Whitfield A.K., 2005. Fishes and freshwater in southern African estuaries - a review. *Aquat. Living Resour.* 18, 275–289.
- Whitfield A.K., 2015. Why are there so few freshwater fish species in most estuaries? *J. Fish. Biol.* 86, 1227–1250.
- Whitfield, A.K., Patrick, P., 2015. Habitat type and nursery function for coastal marine fish species, with emphasis on the Eastern Cape region, South Africa. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 160, 49–59.

- Whitfield A. K., 2017. The role of seagrass meadows, mangrove forests, salt marshes and reed beds as nursery areas and food sources for fishes in estuaries Reviews in Fish Biology and Fisheries volume 27, pages 75–110.
- Wright R. M., 1990. The population biology of pike, (*Esox lucius L.*), in two gravel pit lakes, with special reference to early life history. *J. Fish Biol.* 36(2), 215–229.
- Wysujack, K., Mehner, T., 2005. Can feeding of European catfish prevent cyprinids from reaching a size refuge ? *Ecology of Freshwater Fish* 14, 87–95.
- Yilmaz HA., Turkmen S., Kumlu M., Eroldogan OT., Perker N., 2019. Alteration of growth and temperature tolerance of European Sea Bass (*Dicentrarchus labrax Linnaeus 1758*) in different temperature and salinity combinations. *Turk. J. Fish.& Aquat. Sci.* 20(5), 331-340
- Yin M.C.; Blaxter J.H.S., 1987. Temperature, salinity tolerance, and buoyancy during early development and starvation of Clyde and North Sea herring, cod, and flounder larvae. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 107(3), 0–290.
- Yoni C., Cadiou D., Hallegouet B., Levasseur J., 1999. « L'expérience de réestuarisation du polder de l'aber de Crozon (Finistère) : bilan et perspectives », Les ateliers du CEL, n° 19, p. 1-11.
- Zambrano L., Scheffer M., Martinez-Ramos M., 2001: Catastrophic response of lakes to benthivorous fish introduction. *Oikos* 94 : 344–350.
- Zampatti B.P., Bice C.M., Jennings P.R., 2010. Temporal variability in fish assemblage structure and recruitment in a freshwater deprived estuary: the Coorong, Australia. *Mar. Freshw. Res.* 61, 1298–1312.
- Zedler J. B., Kercher S., 2005. Wetland resources: status, trends, ecosystem services, and restorability. *Annual Review of Environmental Resources*, 30, 39-74.
- Ziegler S.L., R. Baker, S.C. Crosby D.D. Colombano, M.A. Barbeau, J. Cebrian, R.M. Connolly, L.A. Deegan, B.L. Gilby, D. Mallick, C.W. Martin, J.A. Nelson, J.F. Reinhardt, C.A. Simenstad, N.J. Waltham, T.A. Worthington, and L.P. Rozas. 2021. Geographic variation in salt marsh structure and function for nekton: a guide to finding commonality across multiple scales. *Estuaries and Coasts*.

11. ANNEXES - FICHES SYNTHÉTIQUES PAR ESPECES

Alose feinte – *Alosa fallax*

Alose feinte méditerranéenne – *Alosa agone*

Espèces migratrices amphihalines anadromes

Statut UICN France : Quasi menacée

Protection : Convention de Berne Annexe III (exploitation réglementée) ; Directive européenne « Habitats » Annexe II et V (espèce d'intérêt communautaire, mesures de gestion prélèvement et exploitation) ; Arrêté du 08/15/1988 (espèce protégée) et arrêté du 23/04/2008 (protection des zones de frayères, d'alimentation et de croissance).



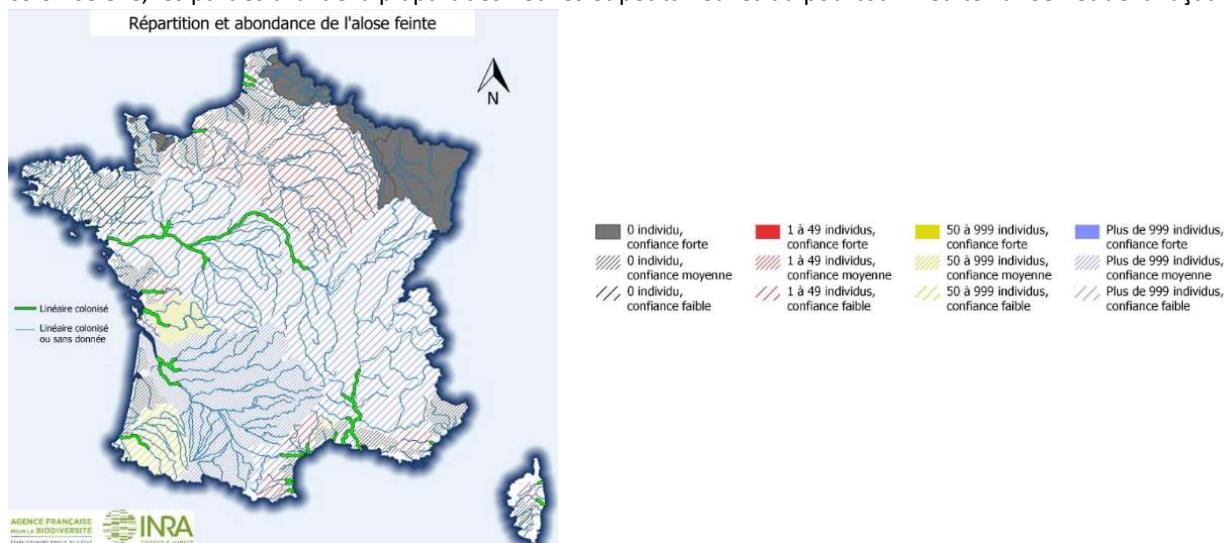
Cycle biologique et habitats

Le cycle biologique de l'aloise feinte comporte 4 stades de vie :

- Le **stade larvaire**, après éclosion des œufs, les larves restent localisées sur le fond, **sous les galets de la frayère**, jusqu'à la résorption de leur vésicule vitelline.
- Le stade **aloson en eau douce**, correspondant aux alevins et juvéniles qui **s'alimentent dans la colonne d'eau (comportement pélagique)** et débutent leur **migration de dévalaison** vers l'aval par des déplacements actifs transversaux dès le début de l'été pour rejoindre rapidement l'estuaire. Leur alimentation est composée principalement de crustacés, de zooplancton et de larves de diptères.
- Le stade **alosons en estuaire**, qui débute en début d'été. Contrairement à la grande alose, les alosons d'aloise feinte peuvent rester jusqu'à leur 3^{ème} été en estuaire. Durant cette période, ils passent successivement de l'estuaire au milieu marin.
- Le stade **adulte** qui correspond :
 - A la phase de **croissance en mer** qui dure probablement de 2 à 6 années. Durant cette phase les individus ne s'éloigneraient guère des côtes (20 km) et resteraient près des embouchures des fleuves.
 - A la phase de **migration de reproduction en eau douce**. La migration de montaison a lieu de fin février à juillet vers les zones de frayère des parties aval et médianes des grands cours d'eau. Elles peuvent même se situer dans les zones estuariennes ou salines.
 - A la **reproduction** qui dépend beaucoup de la température (seuil 13°C), et localisées sur des frayères caractéristiques correspondant en général à des zones d'accélération situées entre les deux faciès de chenal lotique et de radier, au-dessus d'une granulométrie grossière. La reproduction a lieu en surface, les géniteurs effectuant des rotations très rapides caractéristiques et appelées « bull ». Les œufs sont pélagiques et vont se déposer entre les interstices du substrat de la frayère.

Distribution française

L'aloise feinte colonise les parties aval de la plupart des grands cours d'eau de la côte atlantique. L'aloise feinte méditerranéenne colonise elle, les parties aval de la plupart des fleuves et petits fleuves du pourtour méditerranéen et de la façade est de la Corse.

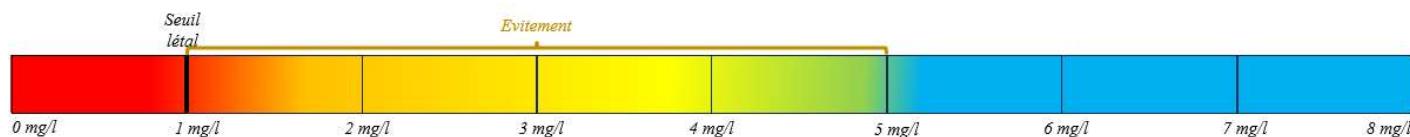


Distribution de l'aloise feinte dans les fleuves français (Guirec et al., 2018)

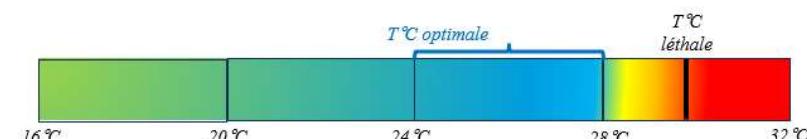
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce présentant des capacités physiologiques d'adaptation à la salinité notamment lors des passages en zones estuariennes soit pour le stade adulte soit pour le stade aloson dévalant.

Oxygène :



Température :



Principales périodes d'activité biologique

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | JUIL. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|-----------------------------------|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Montaison des géniteurs | | | | | | | | | | | | |
| Reproduction | | | | | | | | | | | | |
| Dévalaison des alosons en rivière | | | | | | | | | | | | |
| Séjour des alosons en estuaire | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires et capacité de franchissement

L'aloise a parfois besoin de traverser les marais littoraux pour accéder à ses zones de frayères (montaison des géniteurs), puis pour aller en mer (dévalaison des alosons). Les enjeux migratoires ne seront donc **FORTS** que si le marais est connecté à un réseau hydrographique de rivières en amont d'au moins 10 m de largeur présentant des faciès favorables à la reproduction. Dans les autres situations, les enjeux sont **TRES FAIBLES**.

Utilisation des zones de marais

Les marais littoraux ne constituent qu'une zone de passage pour l'aloise feinte, aussi bien pour les géniteurs à la recherche de cours d'eau au courant vif et au substrat grossier pour se reproduire, que pour les alosons qui cherchent à rejoindre la mer. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc **TRES FAIBLES**.

Menaces identifiées en zone de marais

Rupture de la continuité écologique.

Capacités de franchissement

Les capacités de nage des géniteurs sont importantes, autour de 3-4.5 m/s. Ce n'est pas une espèce sauteuse, elle est donc sensible à tout ouvrage modifiant la ligne d'eau (seuil, digue, rampe, écluse...).

Grande alose – *Alosa alosa*

Espèce migratrice amphihaline anadrome

Statut UICN France : En danger critique

Protection : Convention OSPAR Annexe V (protection et conservation écosystèmes et diversité biologique de la zone maritime) ; Convention de Berne Annexe III (exploitation réglementée) ; Directive européenne « Habitats » Annexe II et V (espèce d'intérêt communautaire, mesures de gestion prélevement et exploitation) ; Arrêté du 08/15/1988 (espèce protégée) et arrêté du 23/04/2008 (protection des zones de frayères, d'alimentation et de croissance).



Cycle biologique et habitats

Le cycle biologique de la grande alose comporte 4 stades de vie :

- Le stade larvaire, après éclosion des œufs, les larves restent localisées sur le fond, **sous les galets de la frayère**, jusqu'à la résorption de leur vésicule vitelline.
- Le stade **aloson en eau douce**, correspondant aux alevins et juvéniles qui **s'alimentent dans la colonne d'eau (comportement pélagique)** et débutent leur **migration de dévalaison** vers l'aval par des déplacements actifs transversaux courant juin-juillet et ce jusque fin octobre. Leur alimentation est composée principalement de crustacés, de zooplancton et de larves de diptères.
- Le stade **alosons en estuaire**, qui début en fin d'été peut s'étendre sur une assez longue période. Certains auteurs considèrent que les alosons ne feraient que traverser l'estuaire sans y stabuler, d'autres considèrent que les alosons séjournent dans l'estuaire jusqu'à ce que les conditions abiotiques (température et salinité) deviennent défavorables, ce qui déclencherait leur fuite vers l'océan.
- Le stade **adulte** qui correspond :
 - A la phase de **croissance en mer** qui dure probablement de 2 à 4 années. Durant cette phase les individus ne s'éloigneraient guère des côtes (20 km) et resteraient près des embouchures des fleuves.
 - A la phase de **migration de reproduction en eau douce**. La migration de montaison a lieu de fin février à juillet vers les zones de frayère.
 - A la **reproduction** qui dépend beaucoup de la température (seuil 14-16°C), et localisées sur des frayères caractéristiques correspondant en général à des zones d'accélération situées entre les deux faciès de chenal lotique et de radier, au-dessus d'une granulométrie grossière. La reproduction a lieu en surface, les géniteurs effectuant des rotations très rapides caractéristiques et appelées « bull ». Les œufs sont pélagiques et vont se déposer entre les interstices du substrat de la frayère.

Distribution

La grande alose colonise la plupart des grands cours d'eau de la côte atlantique. Actuellement elle a totalement disparu du pourtour méditerranéen.

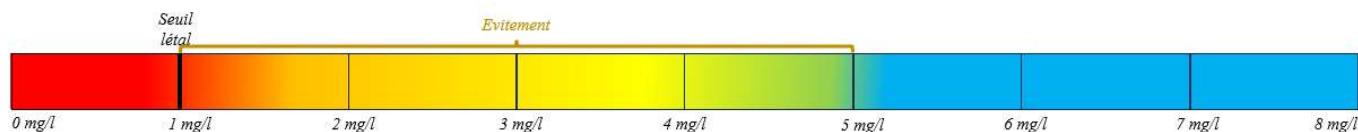


Distribution de la grande alose dans les fleuves français (Guirec et al., 2018)

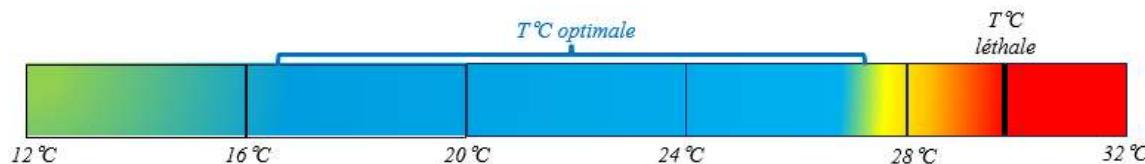
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce présentant des capacités physiologiques d'adaptation à la salinité notamment lors des passages en zones estuariennes soit pour le stade adulte soit pour le stade aloson dévalant.

Oxygène :



Température :



Principales périodes d'activité biologique

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | JUIL. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|-----------------------------------|-------|------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Montaison des géniteurs | | | Green | | | | | | | | | |
| Reproduction | | | Green | | | | | | | | | |
| Dévalaison des alosons en rivière | | | | Green | | | | | | | | |
| Séjour des alosons en estuaire | | | | | Green | | | | | | | |

Besoins migratoires

La grande alose a parfois besoin de traverser les marais littoraux pour accéder à ses zones de frayères (montaison des géniteurs), puis pour aller en mer (dévalaison des alosons). Les enjeux migratoires ne seront donc **FORTS** que si le marais est connecté à un réseau hydrographique de rivières en amont d'au moins 10 m de largeur présentant des faciès favorables à la reproduction. Dans les autres situations, les enjeux sont **TRES FAIBLES**.

Utilisation des zones de marais

Les marais littoraux ne constituent qu'une zone de passage pour la grande alose, aussi bien pour les géniteurs à la recherche de cours d'eau au courant vif et au substrat grossier pour se reproduire, que pour les alosons qui cherchent à rejoindre la mer. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc **TRES FAIBLES**.

Menaces identifiées en zone de marais

Rupture de la continuité écologique.

Capacités de franchissement

Les capacités de nage des géniteurs sont importantes, autour de 3.5-5 m/s. Ce n'est pas une espèce sauteuse, elle est donc sensible à tout ouvrage modifiant la ligne d'eau (seuil, digue, rampe, écluse...).

Lamproie marine – *Petromyzon marinus*

Espèce migratrice amphihaline anadrome

Statut UICN France : En danger

Protection : Convention OSPAR Annexe V (protection et conservation écosystèmes et diversité biologique de la zone maritime) ; Convention de Berne Annexe III (exploitation réglementée) ; Directive européenne « Habitats » Annexe II (espèce d'intérêt communautaire) ; Arrêté du 08/15/1988 (espèce protégée) et arrêté du 23/04/2008 (protection des zones de frayères, d'alimentation et de croissance).

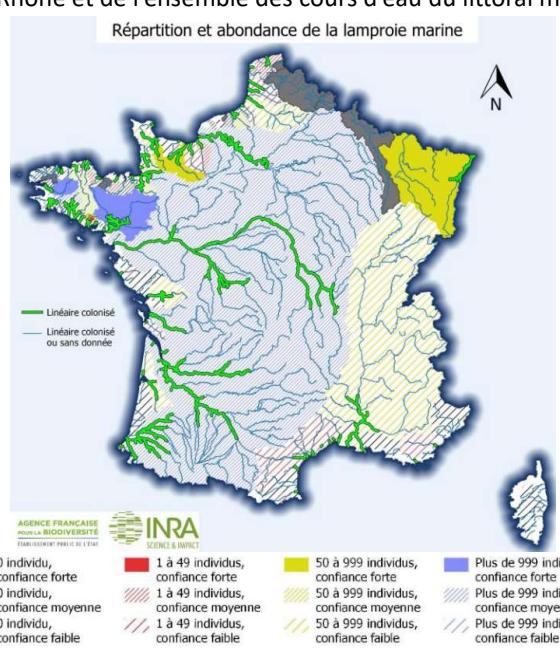
Cycle biologique et habitats

Le cycle biologique de la lamproie marine comporte 3 stades de vie :

- Le stade **larvaire**, avec les **ammocètes** qui colonisent des **sédiments fins (sable)** riches en matières organiques pour y rester de 4 à 6 ans en consommant par filtration de petites proies (algues, zooplancton).
- Le stade **subadulte** qui subit des **transformations physiologiques** (développement des yeux) et se laisse **emporter par le courant vers la mer (dévalaison)** d'octobre à février où elle va parasiter des poissons pélagiques et benthiques ainsi que des mammifères marins.
- Le stade **adulte** qui correspond :
 - A la phase de **croissance en mer** qui dure probablement de 1 à 2 années.
 - A la phase de **migration de reproduction en eau douce**. La migration de montaison a lieu de nuit entre décembre et juillet pour la lamproie marine. La lamproie marine est soumise au phénomène de « straying ». Elle n'est pas attirée par son cours d'eau de naissance, mais favorise ceux accueillant déjà des ammocètes, signes que la reproduction est possible et efficace sur ceux-ci.
 - A la **reproduction** qui peut se dérouler dans des parties très amont des cours d'eau pour la (plusieurs centaines de km de la mer) d'avril à juillet. **Les géniteurs construisent des nids** en déplaçant les galets dans lesquels les femelles vont enfouir leurs œufs. Les habitats de reproduction correspondent à des plages de galets aux interfaces des faciès plats courants et radier/rapide.

Distribution

La lamproie marine colonise la plupart des cours d'eau de la côte atlantique, et peut aller se reproduire parfois à plus de 500 km de l'estuaire. Elle a quasiment disparu du Rhône et de l'ensemble des cours d'eau du littoral méditerranéen français.



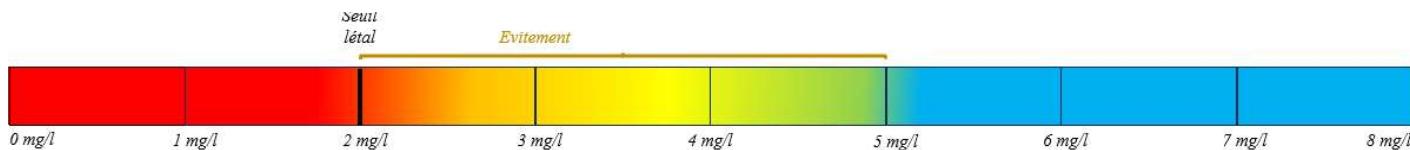
Distribution de la lamproie marine dans les fleuves français (Guirec et al., 2018)



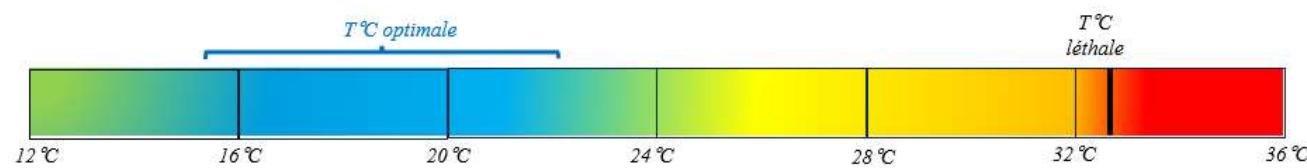
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce présentant des capacités physiologiques d'adaptation à la salinité notamment lors des passages en zones estuariennes soit pour le stade adulte soit pour le stade subadulte dévalant.

Oxygène :



Température :



Principales périodes d'activité biologique

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | JUIL. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|---------------------------|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Montaison des géniteurs | | | | | | | | | | | | |
| Reproduction | | | | | | | | | | | | |
| Dévalaison des subadultes | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

La lamproie marine a parfois besoin de traverser les marais littoraux pour accéder à ses zones de frayères (montaison des géniteurs) situées dans des cours d'eau, puis pour aller en mer (dévalaison des subadultes). Les enjeux migratoires ne seront donc **FORTS** que si le marais est connecté à un réseau hydrographique de rivières en amont d'au moins 5-10 m de largeur présentant des faciès favorables à la reproduction. Dans les autres situations, les enjeux sont **TRES FAIBLES**.

Utilisation des zones de marais

Les marais littoraux ne constituent qu'une zone de passage pour la lamproie marine, aussi bien pour les géniteurs à la recherche de cours d'eau au courant vif et au substrat grossier pour se reproduire, que pour les subadultes qui cherchent à rejoindre la mer. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc **TRES FAIBLES**.

Menaces identifiées en zone de marais

Rupture de la continuité écologique.

Capacités de franchissement

Les capacités de nage des géniteurs sont importantes, autours de 3-4.5 m/s. Elles n'ont pas de capacités de reptation mais peuvent utiliser leur ventouse pour se fixer sur un support et se reposer lors du franchissement de parois inclinées.

Lamproie fluviatile – *Lampetra fluviatilis*

Espèce migratrice amphihaline anadrome

Statut UICN France : **Vulnérable**

Protection : Convention de Berne Annexe III (exploitation réglementée) ; Directive européenne « Habitats » Annexe II et V (espèce d'intérêt communautaire, mesures de gestion prélèvement et exploitation) ; Arrêté du 08/15/1988 (espèce protégée) et arrêté du 23/04/2008 (protection des zones de frayères, d'alimentation et de croissance).



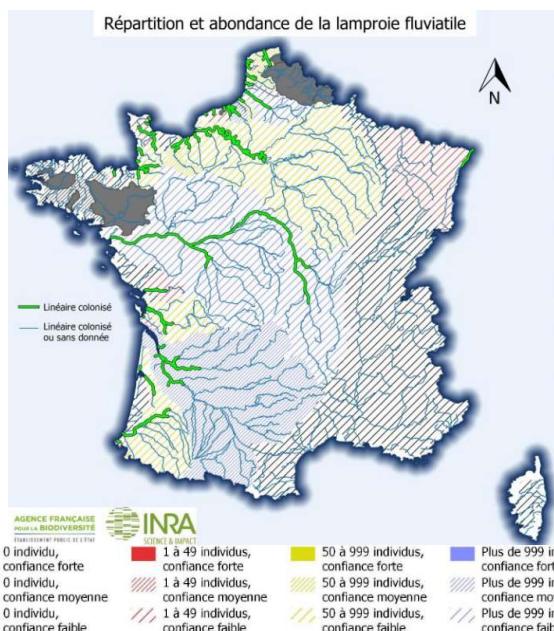
Cycle biologique et habitats

Le cycle biologique de la lamproie fluviatile comporte 3 stades de vie :

- Le stade **larvaire**, avec les **ammocètes** qui colonisent des **sédiments fins (sable)** riches en matières organiques pour y rester de 3 à 6 ans en consommant par filtration de petites proies (algues, zooplancton).
- Le stade **subadulte** qui subit des **transformations physiologiques** (développement des yeux) et se laisse **emporter par le courant vers la mer (dévalaison)** d'octobre à février où elle va parasiter des poissons pélagiques et benthiques ainsi que des mammifères marins.
- Le stade **adulte** qui correspond :
 - A la phase de **croissance en mer** qui dure probablement de 2.5 à 3 années.
 - A la phase de **migration de reproduction en eau douce**. La migration de montaison a lieu de nuit entre novembre et mai.
 - A la **reproduction** qui se déroule dans les parties aval des grandes rivières et sur leurs affluents, de mars à juin. **Les géniteurs construisent des nids** en déplaçant les petits galets, graviers et sables dans lesquels les femelles vont enfouir leurs œufs. Les habitats de reproduction correspondent à des plages de galets/graviers aux interfaces des faciès plats courants et radier/rapide.

Distribution

La lamproie fluviatile colonise la plupart des cours d'eau de la côte atlantique, en se cantonnant aux parties avales et médianes des grands cours d'eau et aux affluents. Elle a quasiment disparu du Rhône et de l'ensemble des cours d'eau du littoral méditerranéen français.

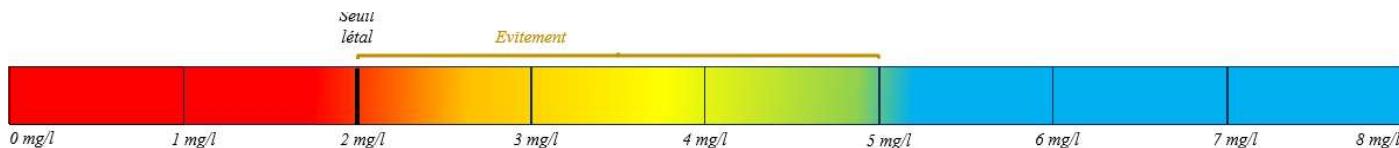


Distribution de la lamproie fluviatile dans les fleuves français (Guirec et al., 2018)

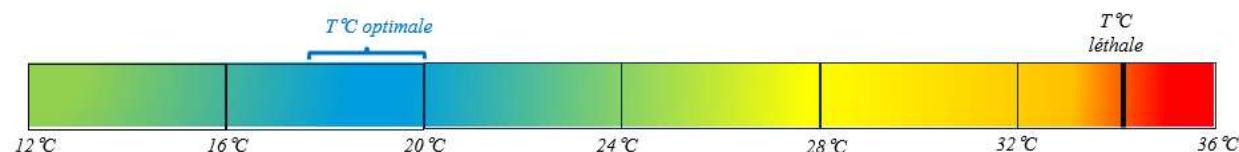
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce présentant des capacités physiologiques d'adaptation à la salinité notamment lors des passages en zones estuariennes soit pour le stade adulte soit pour le stade subadulte dévalant.

Oxygène :



Température :



Principales périodes d'activité biologique

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | JUIL. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|---------------------------|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Montaison des géniteurs | | | | | | | | | | | | |
| Reproduction | | | | | | | | | | | | |
| Dévalaison des subadultes | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires et capacité de franchissement

La lamproie fluviatile a parfois besoin de traverser les marais littoraux pour accéder à ses zones de frayères (montaison des géniteurs) situées dans des cours d'eau, puis pour aller en mer (dévalaison des subadultes). Les enjeux migratoires ne seront donc **FORTS** que si le marais est connecté à un réseau hydrographique de rivières en amont d'au moins 4-5 m de largeur. Dans les autres situations, les enjeux sont **TRES FAIBLES**.

Utilisation des zones de marais

Les marais littoraux ne constituent qu'une zone de passage pour la lamproie fluviatile, aussi bien pour les géniteurs à la recherche de cours d'eau au courant vif et au substrat grossier pour se reproduire, que pour les subadulte qui cherchent à rejoindre la mer. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc **TRES FAIBLES**.

Menaces identifiées en zone de marais

Rupture de la continuité écologique.

Capacités de franchissement

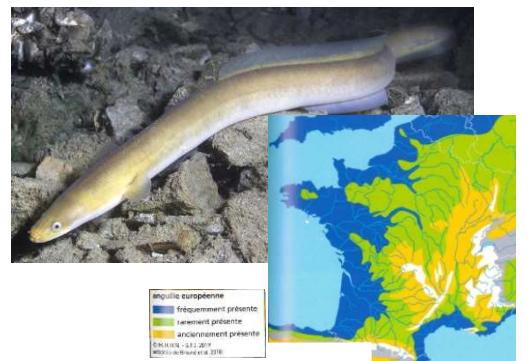
Les capacités de nage des géniteurs sont élevées, autour de 2-2.5 m/s. Elles n'ont pas de capacités de reptation mais peuvent utiliser leur ventouse pour se fixer sur un support et se reposer lors du franchissement de parois inclinées.

Anguille européenne – *Anguilla anguilla*

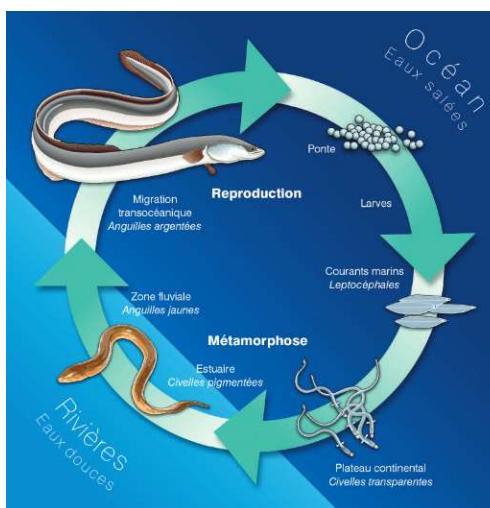
Espèce migratrice amphihaline catadrome

Statut IUCN France : **En danger critique**

Protection : Convention OSPAR Annexe V (protection et conservation écosystèmes et diversité biologique de la zone maritime) ; Règlement Européen CE 1100/2007 (reconstitution du stock d'anguilles).



Cycle biologique



Le cycle biologique de l'anguille se décompose en 4 phases :

- Une phase **larvaire marine** où les **leptocéphales** traversent **l'atlantique** portés par le Gulf Stream.
- Une phase de **civelle** qui correspond à l'**entrée sur le plateau continental et dans les estuaires**. Ces civelles vont pénétrer dans les terres en utilisant les courants de marée via le transport tidal sélectif (TTS) dans une première phase puis en nage active dans une seconde. Au cours de cette phase les civelles vont passer d'un statut de civelle transparente à civelles pigmentées.
- Une phase dite **anguille jaune** avec tout d'abord un stade **anguillette** (jusqu'à 30-35 cm) correspondant à **des individus qui migrent au printemps et en été pour gagner des habitats plus amont**. Toutes les anguillettes ne migrent pas vers de zones amont de cours d'eau. Un nombre important va rester à proximité des estuaires, dans les parties aval de cours d'eau et surtout dans les marais. La phase proprement dite **anguille jaune** correspond à la **croissance des individus dans les différents milieux colonisés**. Elles peuvent rester de 8 à 15 ans dans les milieux saumâtres et continentaux.
- Une phase **anguille argentée** qui correspond à la **dévalaison tout d'abord depuis les milieux continentaux, puis les estuaires et enfin l'océan pour regagner la mer des Sargasses**. Cette phase débute en générale en automne et se prolonge jusqu'au début

Distribution et habitats

Cette espèce aux fortes capacités d'adaptation peut coloniser de très nombreux milieux dont les marais salés, saumâtres et doux. Elle est présente sur tout le territoire national métropolitain, donc aussi bien dans les marais du littoral atlantique que méditerranéen.

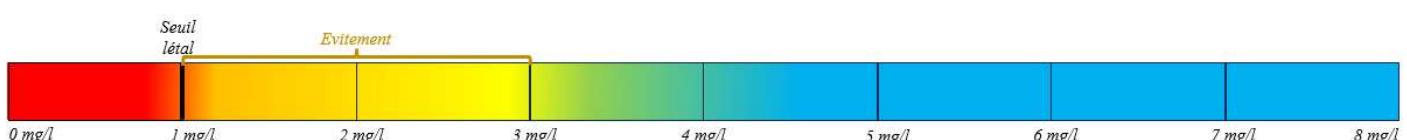
A l'échelle des bassins, on considère en général que les zones amont des cours d'eau produisent exclusivement des femelles de grande taille et les zones aval des mâles de petites tailles.

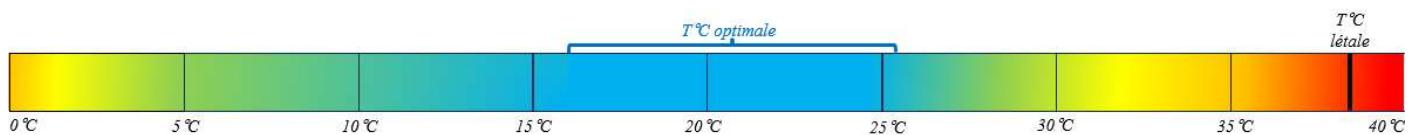
L'anguille est une espèce très ubiquiste en termes de conditions d'habitats. Toutefois, les abris, principalement minéraux pour les poissons de grande taille et végétaux pour les individus de moins de 35 cm, ont un rôle essentiel en tant que zone de refuge et de repos.

Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce présentant des capacités physiologiques d'adaptation à la salinité pour les juvéniles entrant dans les estuaires et les lagunes et pour les adultes dévalants vers la mer.

Oxygène :



Température :**Principales périodes de migration**

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | JUIL. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|------------------------------------|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Montaison des civelles | | | | | | | | | | | | |
| Montaison des anguillettes | | | | | | | | | | | | |
| Dévalaison des anguilles argentées | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires vers les zones de marais et à l'intérieur de ces milieux

Besoins migratoires **FORTS** en montaison vers les zones de marais et à l'intérieur de ces milieux ainsi qu'en dévalaison vers l'estuaire et la mer.

Utilisation des zones de marais

L'anguille est clairement l'espèce capable de coloniser les différents types de marais et au sein de ces marais différents types de milieux aquatiques (fossés, chenaux, plans d'eau...). Pour cette espèce, ils constituent des zones de croissance des juvéniles et des adultes avec une forte proportion de mâles.

Enjeux liés aux marais : FORTS**Menaces identifiées en zone de marais**

Connectivité hydraulique : Difficultés de franchissement des obstacles associés à la gestion des niveaux d'eau

Gestion hydraulique : Difficultés liées aux faibles échanges hydrauliques avec l'estuaire et entre les unités hydrauliques

Qualité des eaux : Forte résistance de l'espèce aux dégradations de la qualité des eaux

Diversité des habitats : Difficultés liées à l'absence d'abris notamment végétaux, à la faible diversité des berges et aux faibles profondeurs d'eau

Capacités de franchissement

Les capacités de nage de l'anguille sont limitées, allant de 0.15 m/s pour les civelles à 1.8 m/s pour les anguilles de plus de 35 cm. Elle n'a pas de comportement de saut mais elle a des capacités de reptation qui leur permet d'utiliser des appuis sur des supports pour franchir des parois inclinées principalement pour les jeunes stades notamment les civelles. Dans les zones estuariennes, les civelles présentent une activité migratoire durant les périodes de flot. Elles franchiront les obstacles en même temps que le flux d'eau venant de l'aval et pénétrant dans le marais.

Flet – *Platichthys flesus*

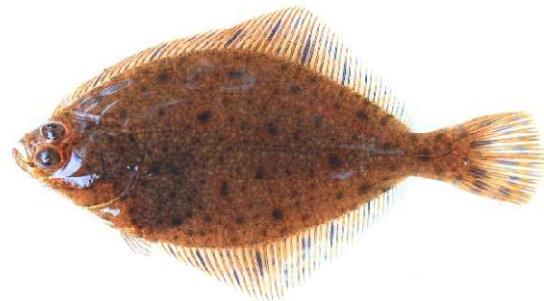
Espèce migratrice amphihaline catadrome

Statut IUCN France : Données insuffisantes

Protection : Espèce non réglementée

Cycle biologique et habitats

Le cycle biologique du flet se décompose en 4 stades :

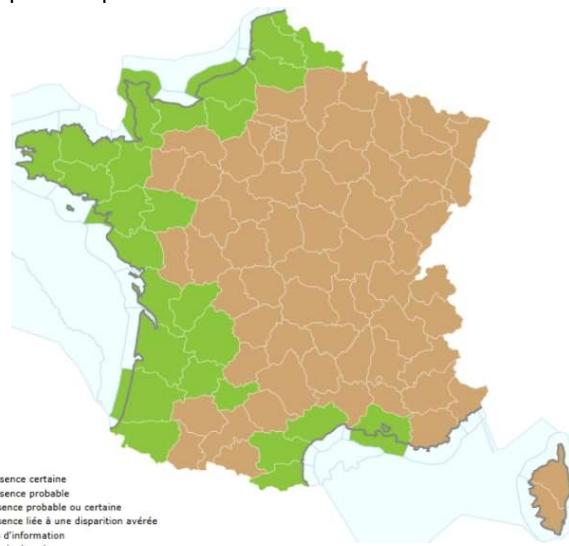


- Le stade **larvaire** durant lequel se déroule la **colonisation des estuaires**, à partir des zones de frayères de l'embouchure des estuaires, en mars-avril par l'intermédiaire du transport tidal sélectif. Ensuite les larves vont effectuer **des migrations actives, vers les parties les plus amont, en zone d'eau douce**, puis se métamorphoser et acquérir leur forme adulte et adopter un comportement benthique.
- Le stade **juvénile** a lieu avec la colonisation des **zones amont et médiane des estuaires ainsi que des zones latérales et des marais** (nourricerie) dès mai-juin. Le régime alimentaire est diversifié avec des crustacés, de petits poissons et des mollusques. Durant cette phase, les poissons peuvent être amenés à **effectuer des migrations**, en fonction des conditions climatiques et de leur état physique, entre les **parties aval des estuaires et les nurseries**.
- Le stade **adulte/généiteur** qui correspond aux poissons mûrs âgés de 2 à 3 ans et qui vont effectuer des **mouvements vers l'amont, vers les zones aval et médianes des bassins versants**, en été et redescendre, en hiver, en mer, à l'**embouchure des estuaires pour se reproduire**.

Distribution

Le flet se rencontre dans les estuaires, les zones intertidales et les parties aval et médianes des fleuves. Il y a une forte ségrégation spatio-temporelle des cohortes juvéniles et adultes.

Il est présent sur tout le littoral atlantique et la partie centrale du littoral méditerranéen.

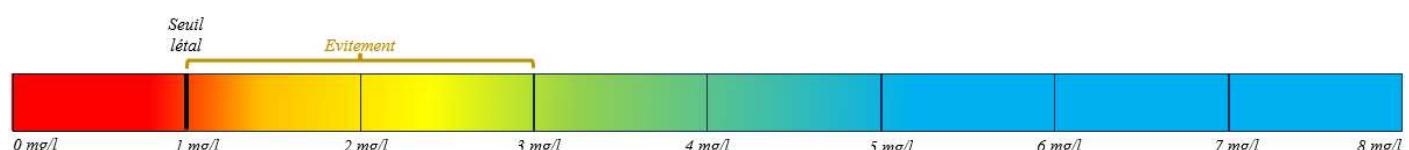


Distribution du flet sur les côtes françaises (données INPN-MHN)

Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce présentant des capacités physiologiques d'adaptation à la salinité

Oxygène :



Température :**Principales périodes d'activité biologique**

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|--|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Colonisation des estuaires par les larves | | | | | | | | | | | | |
| Colonisation et croissance des juvéniles (nurseries) | | | | | | | | | | | | |
| Migration de dévalaison des juvéniles | | | | | | | | | | | | |
| Migration trophique des adultes | | | | | | | | | | | | |
| Dévalaison et reproduction des adultes | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

Le flet a besoin de se déplacer pour accéder aux nurseries et effectuer des migrations entre les estuaires et les nourriceries au stade juvénile, effectuer des migrations trophiques dans les parties aval des fleuves (montaison) et de reproduction marine (dévalaison) au stade adulte. Les enjeux migratoires ne seront donc [FORTS](#).

Utilisation des zones de marais

Le flet a besoin des zones latérales estuariennes et des marais pour se développer dans des habitats d'eau douce dès le printemps de sa 1^{ère} année. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc [FORTS](#).

Menaces identifiées en zone de marais

Connectivité hydraulique : Difficultés de franchissement des obstacles associés à la gestion des niveaux d'eau

Gestion hydraulique : Difficultés liées aux faibles échanges hydrauliques avec l'estuaire et entre les unités hydrauliques

Qualité physico-chimique : Risques associés à des périodes d'anoxie au fond des chenaux et bassins

Diversité des habitats : Difficultés liées à la qualité des substrats de fond et au remaniement lors d'opérations de curage

Capacités de franchissement

Ses capacités de nage sont limitées pour les juvéniles (0.6-0.8 m/s) et pour les adultes (<1.5 m/s). Ce n'est pas une espèce sauteuse, il est donc sensible à tout ouvrage modifiant la ligne d'eau (seuil, digue, rampe, écluse...).

Mulet porc – *Chelon ramada*

Espèce migratrice amphihaline catadrome

Statut IUCN France : Préoccupation mineure

Protection : Espèce non réglementée**Cycle biologique et habitats**

Le cycle biologique du mulet porc se décompose en 4 stades :



- Le stade **larvaire** correspond à la **colonisation depuis la mer** où a lieu la reproduction. Les larves colonisent les **milieux littoraux et les estuaires** de novembre à avril et sont surtout zooplanctonophages.
- Le stade **juvénile**, qui peut durer 1 à 2 ans, se déroule **quasi exclusivement en estuaire**. Le régime alimentaire devient détritivore avec une forte proportion d'algues notamment filamentueuses.
- A partir du stade **adulte** les mulets porcs vont effectuer des **migrations trophiques vers les parties amont des bassins en printemps-été et dévaler en automne**.
- Les **géniteurs** qui quittent les zones littorales et estuariennes pour aller **se reproduire en mer** de l'automne à l'hiver.

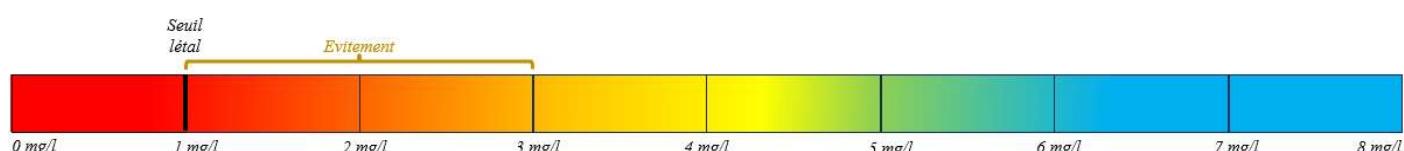
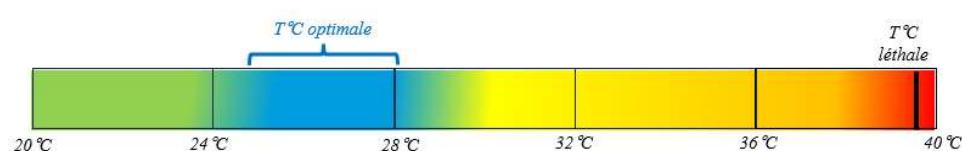
Distribution

Le mulet se rencontre dans les fleuves, les estuaires et les zones intertidales, il est très fréquent, surtout aux stades les plus jeunes dans les zones humides littorales (marais, lagunes).

Il est présent sur tout le littoral atlantique et méditerranéen.

Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce présentant des capacités physiologiques d'adaptation à la salinité pour les juvéniles entrant dans les estuaires et les lagunes et pour les adultes dévalants vers la mer.

Oxygène :Température :**Principales périodes d'activité biologique**

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|-------------------------------------|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Colonisation des larves | | | | | | | | | | | | |
| Croissance des juvéniles | | | | | | | | | | | | |
| Migration trophique (montaison) | | | | | | | | | | | | |
| Migration reproduction (dévalaison) | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

Le mulet porc a besoin de se déplacer pour accéder aux nourriceries au stade juvénile, effectuer ses migrations trophiques dans les milieux continentaux (montaison) et de reproduction marine (dévalaison) au stade adulte. Les enjeux migratoires ne seront donc FORTS.

Utilisation des zones de marais

Pour cette espèce, les marais jouent un rôle très important comme nourricerie des juvéniles. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc **FORTS**.

Menaces identifiées en zone de marais

Connectivité hydraulique : Difficultés de franchissement des obstacles associés à la gestion des niveaux d'eau

Qualité physico-chimique : Risques associés à des périodes d'anoxie au fond des chenaux et bassins

Capacités de franchissement

Ses capacités de nage sont limitées pour les juvéniles (0.8-1 m/s) et importantes pour les adultes (4-5.5 m/s). Le mullet est capable de faire des sauts pour franchir de petits obstacles hydrauliques.

Bar – *Dicentrarchus labrax*

Espèce marine migratrice

Statut IUCN Europe : Préoccupation mineure

Protection : Espèce non réglementée



Biologie et habitats

On distingue 4 phases au cours de son cycle biologique :

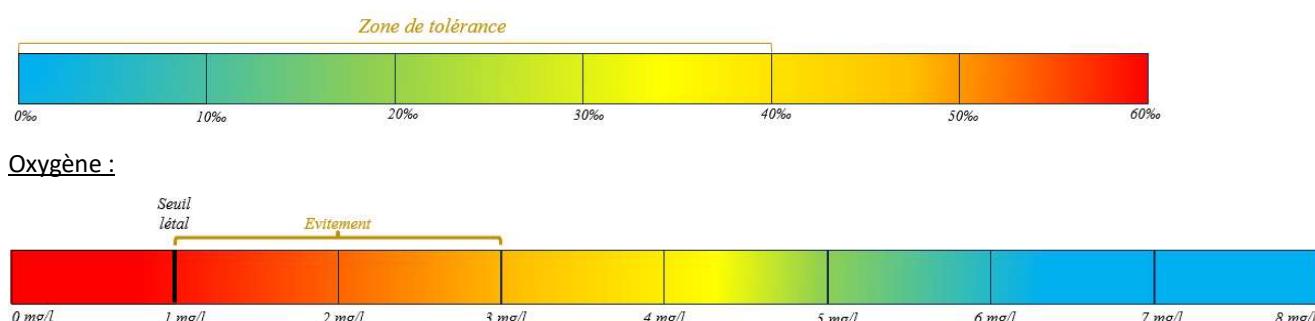
- Une phase de **reproduction hivernale près des zones côtières**.
- Une phase de développement larvaire au cours de laquelle **les larves dérivent avec les courants vers des milieux côtiers**. Les larves et juvéniles mènent une vie pélagique comme le plancton dont elles se nourrissent pendant quelques mois.
- Une phase **juvénile** avec des poissons de plus de 2 à 3 cm et jusqu'à 15 cm qui colonisent les estuaires et les zones côtières. Il est commun d'observer des juvéniles qui migrent activement dans des estuaires, parfois jusqu'à l'eau douce. Les jeunes bars vont rester plusieurs mois dans ces zones.
- Une phase **adulte** à partir de laquelle les poissons reviennent **en mer à proximité des côtes en faisant également des déplacements vers les estuaires**. A l'âge de 4 à 5 ans, les géniteurs vont retourner sur les zones de fraie pour la ponte.

Distribution française

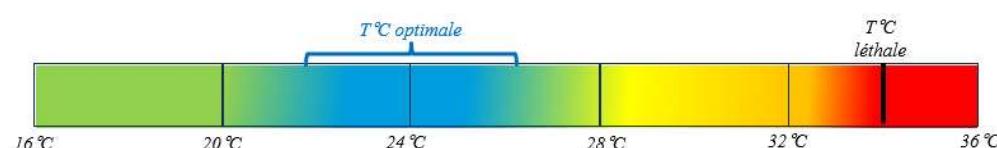
Le bar fréquente tout le littoral atlantique, méditerranéen et Corse. Il peut rester sur les côtes, aller dans les estuaires, les lagunes, les baies et les marais salés.

Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce euryhaline : [0.5-40]‰ – optimum juvéniles [10-20]‰, adultes [25-35]‰



Température :



Principales périodes d'activité biologique

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | JUIL. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|----------------------------------|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Colonisation des milieux côtiers | | | | | | | | | | | | |
| Retour en mer et reproduction | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

Les larves et juvéniles de bar effectuent des migrations dans les habitats latéraux des baies, des estuaires et dans les lagunes et marais littoraux. Les enjeux migratoires pour accéder à ces milieux sont **FORTS** dès l'instant où les capacités d'accueil sont fortes et correspondent aux exigences de l'espèce

Utilisation des zones de marais

Les marais peuvent remplir une fonction essentielle de zone de nourricerie pour les juvéniles. Leurs capacités d'accueil doivent correspondre aux exigences de l'espèce notamment au niveau du renouvellement de l'eau. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc **FORTS**.

Menaces identifiées en zone de marais

Connectivité hydraulique : Difficultés de franchissement des obstacles associés à la gestion des niveaux d'eau

Gestion hydraulique : Difficultés liées aux faibles échanges hydrauliques avec l'estuaire et entre les unités hydrauliques

Qualité physico-chimique : Risques associés à des périodes d'anoxie au fond des chenaux et bassins

Diversité des habitats : Difficultés liées à la qualité des habitats et leur diversité

Capacités de franchissement

Ses capacités de nage sont limitées au stade juvénile (1.5-2.2 m/s) et plus importantes au stade adulte. De plus ce n'est pas une espèce sauteuse, elle est donc sensible à tout ouvrage.

Sole – *Solea solea*

Espèce marine migratrice

Statut IUCN Europe : Préoccupation mineure

Protection : Espèce non réglementée



Biologie et habitats

Cette espèce présente un cycle de vie complexe qui se partage entre les zones côtières, les estuaires et les lagunes. Son cycle biologique peut être divisé en plusieurs phases

Une phase de **reproduction près des zones côtières et des estuaires**, qui se déroule de l'hiver en mer du Nord jusqu'au début du printemps dans le golfe de Gascogne et en Méditerranée.

Une phase **larvaire** qui dure environ 1 mois après l'éclosion au bout de laquelle la larve subit une métamorphose qui lui confère sa physionomie de juvénile et d'adulte. Elle passe alors d'une **vie pélagique** à une vie benthique.

Une phase **juvénile** qui correspond à une colonisation **des zones côtières, des estuaires et des lagunes au printemps**. Les jeunes soles se nourrissent de la faune benthique et épibenthique (polychètes, mollusques et crustacés). Durant cette phase, des **migrations peuvent avoir lieu notamment en hiver** pour gagner des zones plus profondes ou trouver des ressources alimentaires plus abondantes.

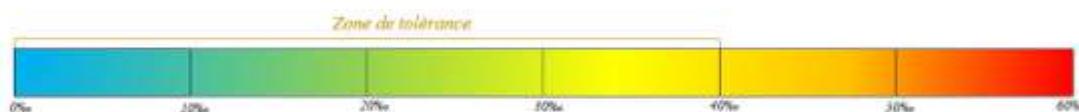
Une phase **adulte** qui peut avoir lieu **à la fois dans les estuaires, les lagunes mais également en mer**. A l'âge de 2 ou 3 ans, les géniteurs effectuent une migration pour se reproduire. Ensuite ils se rapprochent des côtes au printemps et migrent vers des eaux plus profondes en hiver.

Distribution française

La sole est une espèce constituée de stock bien individualisés. Sur le côtes française on distingue les stocks du golfe de Gascogne, de la Manche Est, de la mer du Nord et de la Méditerranée. Elle a une répartition plutôt côtière, surtout en été, et vit jusqu'à 150 m de profondeur en hiver. Elle vit sur le fond, avec une préférence pour les sables fins, les sables vaseux et les vases.

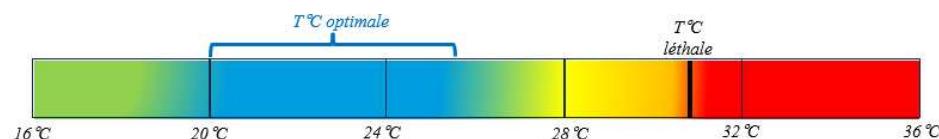
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce euryhaline : [0.5-40]‰ – optimum larves [20-40]‰, optimum juvéniles [10-25]‰, adultes [25-35]‰



Oxygène : pas de données

Température :



Principales périodes d'activité biologique

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|------------------------------------|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Reproduction | | | | | | | | | | | | |
| Colonisation des juvéniles | | | | | | | | | | | | |
| Migration vers milieux profonds | | | | | | | | | | | | |
| Migration vers les milieux côtiers | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

Les larves et juvéniles de sole effectuent des migrations dans les habitats latéraux des baies, des estuaires et dans les lagunes et marais littoraux. Les enjeux migratoires pour accéder à ces milieux sont **FORTS** dès l'instant où les capacités d'accueil sont fortes et correspondent aux exigences de l'espèce.

Utilisation des zones de marais

Les marais peuvent remplir une fonction essentielle de zone de nourricerie pour les juvéniles. Leurs capacités d'accueil doivent correspondre aux exigences de l'espèce notamment au niveau du renouvellement de l'eau. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc **FORTS**.

Menaces identifiées en zone de marais

Connectivité hydraulique : Difficultés de franchissement des obstacles associés à la gestion des niveaux d'eau

Gestion hydraulique : Difficultés liées aux faibles échanges hydrauliques avec l'estuaire et entre les unités hydrauliques

Qualité physico-chimique : Risques associés à des périodes d'anoxie au fond des chenaux et bassins

Diversité des habitats : Difficultés liées à la qualité des habitats et notamment la qualité des substrats fins

Capacités de franchissement

Ses capacités de nage sont assez faibles au stade juvénile (0.5-1.5 m/s) et plus importantes au stade adulte. De plus ce n'est pas une espèce sauteuse, elle est donc sensible à tout ouvrage modifiant la ligne d'eau (seuil, digue, rampe, écluse...).

Dorade royale – *Sparus aurata***Espèce marine migratrice**Statut IUCN Europe : **Préoccupation mineure**Protection : Espèce non réglementée

Cette espèce présente un cycle de vie complexe qui se partage entre les zones côtières, les estuaires et les lagunes. Son cycle biologique peut être divisé en plusieurs phases

Une phase de **reproduction près des zones côtières en mer**, qui se déroule d'octobre à décembre. C'est un poisson protandre : d'abord mâle, elle atteint sa maturité sexuelle entre 1 et 2 ans, puis devient femelle vers 3 ans.

Une phase **larvaire** avec une **migration assez rapide vers les zones côtières**, et une entrée dans les estuaires, les marais et surtout les lagunes.

Une phase **juvenile** qui correspond à une colonisation **des estuaires, des marais et des lagunes au printemps**, où ils trouvent nourriture et abris. **Ils effectuent des migrations entre la mer et les milieux côtiers voisins** sûrement liées à la recherche de refuge pendant les épisodes dystrophiques. Les juvéniles peuvent **retournent en mer dès l'automne**.

Une phase **adulte** qui peut avoir lieu **à la fois dans les estuaires, les lagunes et en mer**. Ils se rapprochent des côtes au printemps et migrent vers des eaux plus profondes en hiver.

Distribution française

La dorade est un poisson côtier qui fréquente la mer Méditerranée, la mer du Nord, la Manche et l'océan Atlantique. Elle affectionne les fonds sableux, et plus encore les fonds mixtes comprenant roches éparses et coursives de sable, ainsi que les bordures de secteurs rocheux.

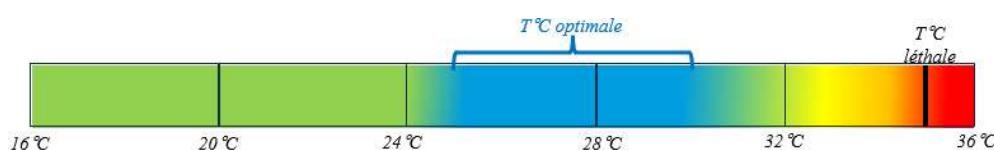
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce euryhaline : [0.5-40]‰ – optimum larves et juvéniles [15-25]‰, adultes [25-35]‰



Oxygène : pas de données

Température :

**Principales périodes d'activité biologique**

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|--|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Reproduction | | | | | | | | | | | | |
| Colonisation milieux côtiers et saumâtre des juvéniles | | | | | | | | | | | | |
| Migration vers milieux marin (juvéniles et adultes) | | | | | | | | | | | | |
| Migration vers les milieux côtiers et saumâtre des adultes | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

Les larves et juvéniles de dorade effectuent des migrations dans les habitats latéraux des baies, des estuaires et dans les lagunes et marais littoraux. Les enjeux migratoires pour accéder à ces milieux sont **FORTS** dès l'instant où les capacités d'accueil sont fortes et correspondent aux exigences de l'espèce.

Utilisation des zones de marais

Les marais peuvent remplir une fonction essentielle de zone de nourricerie pour les juvéniles. Leurs capacités d'accueil doivent correspondre aux exigences de l'espèce notamment au niveau du renouvellement de l'eau. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc **FORTS**.

Menaces identifiées en zone de marais

Connectivité hydraulique : Difficultés de franchissement des obstacles associés à la gestion des niveaux d'eau

Gestion hydraulique : Difficultés liées aux faibles échanges hydrauliques avec l'estuaire et entre les unités hydrauliques

Qualité physico-chimique : Risques associés à des périodes d'anoxie au fond des chenaux et bassins

Diversité des habitats : Difficultés liées à la diversité des habitats

Capacités de franchissement

Ses capacités de nage sont assez faibles au stade juvénile (0.3-1 m/s) et plus importantes au stade adulte. De plus ce n'est pas une espèce sauteuse, elle est donc sensible à tout ouvrage modifiant la ligne d'eau (seuil, digue, rampe, écluse...).

Maire – *Argyrosomus regius*

Espèce marine migratrice

Statut IUCN Europe : Préoccupation mineure

Protection : Espèce non réglementée

Biologie et habitats

On distingue 4 phases au cours de son cycle biologique :



Au printemps, les **adultes se regroupent dans les estuaires pour pondre**. Pendant la saison de ponte, les mâles produisent un bruit profond typique, en poussant leurs muscles abdominaux contre la vessie natatoire.

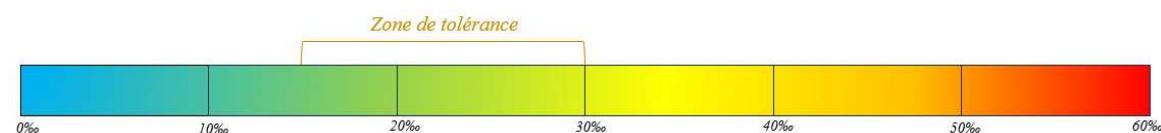
- La phase de **développement larvaires et alevins à lieu en estuaire** en période estivale. Quand ils atteignent 30-40 cm, ils se nourrissent sur des poissons pélagiques et des céphalopodes. Ils gagneront **ensuite la mer pour se mettre à l'abri des températures hivernales** et cesseront alors de s'alimenter.
- Les juvéniles restent à proximité des côtes et ils **reviennent dans les estuaires**, sur les aires de nourrissage, au printemps.
- Les adultes passent plusieurs années en mer avant de revenir pour la reproduction.

Distribution française

Le maigre fréquente tout le littoral atlantique, méditerranéen et Corse. Il peut rester sur les côtes, aller dans les estuaires, les lagunes et les baies. Toutefois il est principalement rencontré dans l'estuaire de la Gironde et de l'Adour ainsi que dans le bassin d'Arcachon.

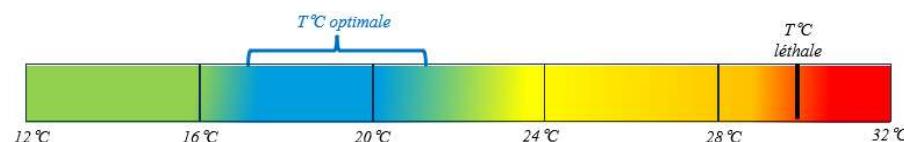
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce euryhaline : optimum [15-30]‰



Oxygène : pas de données

Température : optimum



Principales périodes d'activité biologique

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|--|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Reproduction en estuaire | | | | | | | | | | | | |
| Croissance en estuaire (alevin et juvéniles) | | | | | | | | | | | | |
| Dévalaison en mer (juvéniles) | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

Le maigre pond dans les estuaires. Les larves et juvéniles se développent dans les habitats de ces milieux et peuvent donc coloniser des marais. Les enjeux migratoires pour accéder à ces milieux sont **MOYENS** dès l'instant où les capacités d'accueil sont fortes et correspondent aux exigences de l'espèce.

Utilisation des zones de marais

Certains marais peuvent remplir une fonction essentielle de zone de nourricerie pour les juvéniles. Leurs capacités d'accueil doivent correspondre aux exigences de l'espèce notamment au niveau du renouvellement de l'eau. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc **FORTS**.

Menaces identifiées en zone de marais

Connectivité hydraulique : Difficultés de franchissement des obstacles associés à la gestion des niveaux d'eau
Gestion hydraulique : Difficultés liées aux faibles échanges hydrauliques avec l'estuaire et entre les unités hydrauliques
Qualité physico-chimique : Risques associés à des périodes d'anoxie au fond des chenaux et bassins
Diversité des habitats : Difficultés liées à la diversité des habitats

Capacités de franchissement

Ses capacités de nage sont limitées à ce stade (1.2-1.7 m/s). De plus ce n'est pas une espèce sauteuse, elle est donc sensible à tout ouvrage modifiant la ligne d'eau (seuil, digue, rampe, écluse...).

Mulet doré – *Chelon aurata*

Espèce marine migratrice

Statut IUCN France : Données insuffisantes

Protection : Espèce non réglementée

Cycle biologique et habitats

Le cycle biologique du mulet doré se décompose en 4 stades :



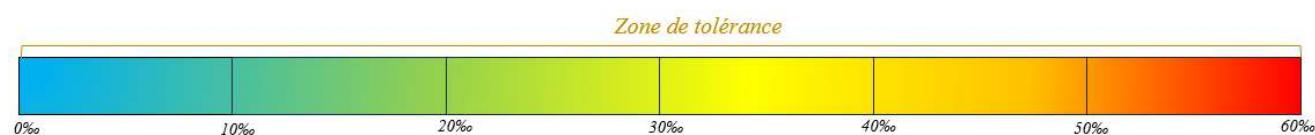
- Le stade **alevin** correspond à la **colonisation depuis la mer** où a lieu la reproduction. Les larves colonisent les **vasières littorales des lagunes, des baies saumâtres et salées**, à l'automne et jusqu'en été.
- Le stade **juvénile**, se déroule **dans les mêmes milieux que les alevins**. Plutôt planctonophage la première année, il devient ensuite benthophage et limnivore.
- Au stade **adulte**, du printemps à l'automne, les mulets dorés fréquentent **les baies et les golfes à fond vaseux et sableux ainsi que les estuaires sans toutefois remonter dans les eaux douces**. L'hiver, il se tient dans la zone océanique, au-delà du plateau continental.
- Les **géniteurs** qui quittent les zones littorales et estuariennes pour aller **se reproduire en mer** d'août à février.

Distribution française

Le mulet doré est présent sur tout le littoral atlantique et méditerranéen.

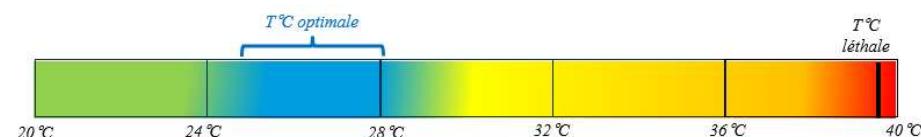
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce euryhaline : larves [4-50]‰ – juvéniles et adultes [0-100]‰



Oxygène : évitement <4 mg/l – peut prélever l'oxygène aérien pour survivre dans les environnements pauvres en oxygène.

Température :



Principales périodes d'activité biologique

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|--|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Colonisation des alevins | | | | | | | | | | | | |
| Croissance des juvéniles | | | | | | | | | | | | |
| Alimentation des adultes en zone littorale | | | | | | | | | | | | |
| Reproduction au large | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires et capacité de franchissement

Au stade larvaire et juvéniles, le mulet doré a besoin de se déplacer pour accéder aux nourriceries. Les enjeux migratoires pour accéder à ces milieux sont **FORTS**.

Utilisation des zones de marais

Pour cette espèce, les lagunes et baies saumâtres ont un rôle important de nourricerie. Cette espèce ne supporte pas un long séjour en eau douce. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc **FORTS**.

Menaces identifiées en zone de marais

Connectivité hydraulique : Difficultés de franchissement des obstacles associés à la gestion des niveaux d'eau

Qualité physico-chimique : Risques associés à des périodes d'anoxie au fond des chenaux et bassins

Capacités de franchissement

Au stade juvénile, ses capacités de nage sont limitées (0.8-1 m/s). Il est toutefois capable de faire des sauts pour franchir de petits obstacles hydrauliques.

Crevette blanche – *Palaemon longirostris*

Espèce marine occasionnelle

Statut UICN Monde : Non évalué

Protection : Espèce non réglementée



Biologie et habitats

La crevette blanche effectue la totalité de son cycle biologique dans les zones estuariennes et lagunaires. Les juvéniles et les adultes peuvent même évoluer durant de longues périodes en eau douce.

La reproduction a lieu entre mars et juillet et dépend fortement de la température de l'eau. Les géniteurs dévalent alors dans les eaux mésohalines. Dès l'éclosion il y a une phase planctonique de développement larvaire (stades protozoé, zoé et métazoé) puis une phase benthique.

Les individus restent dans les estuaires durant l'hiver et le printemps et peuvent remonter dans les parties basses des fleuves et les eaux douces durant l'été jusqu'aux crues d'automne.

Les juvéniles et les adultes sont des carnivores consommant des proies benthiques et notamment beaucoup de petits crustacés, ainsi que ponctuellement des chironomes et quelques déchets végétaux.

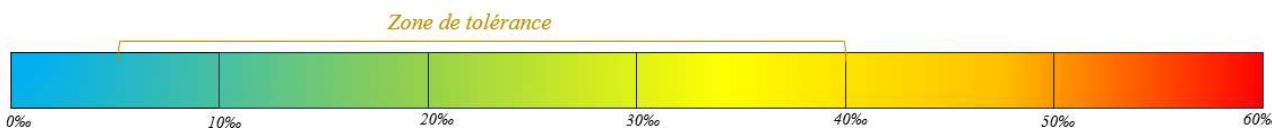
C'est une espèce écologiquement importante, en raison de sa place centrale dans le réseau alimentaire.

Distribution française

La crevette blanche n'est présente qu'à proximité des estuaires du littoral atlantique et de la Manche.

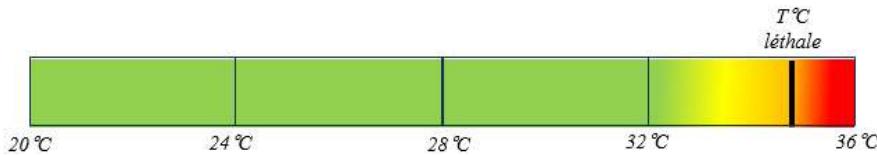
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce euryhaline : [5-40]‰



Oxygène : pas de données

Température :



Principales périodes d'activité biologique

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|-------------------|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Reproduction | | | | | | | | | | | | |
| Migration fleuves | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

Les crevettes blanches effectuent des déplacements entre les parties aval et amont des estuaires et même dans la zone fluviale. Elles peuvent ainsi coloniser les habitats de marais. Les enjeux migratoires sont donc **FORTS**.

Utilisation des zones de marais

L'intégralité du cycle biologique de la crevette blanche se déroule en estuaire et en zone de marais (lagune, marais). Les enjeux relatifs à la capacité d'accueil de ces milieux sont donc **FORTS**.

Menaces identifiées en zone de marais

La crevette blanche semble fortement dépendante de la qualité des habitats d'interface entre les eaux salées et douces et donc en partie de la fonctionnalité des zones de marais.

Capacités de franchissement

Les crevettes peuvent franchir des ouvrages en utilisant leur capacité nage mais également leur capacité de marche. Leur vitesse critique de nage varie de 0.3 à 0.5 m/s et leur vitesse maximale de 0.7 à 1 m/s. Les crevettes disposent de capacité d'accélération (>1.2-1.3 m/s) en utilisant un mécanisme de contraction-extension des segments de l'abdomen.

Athérine – *Atherina boyeri***Espèce lagunaire sédentaire****Statut UICN France : Préoccupation mineure****Protection :** Espèce non réglementée**Biologie et habitats**

L'athérine est souvent considérée comme sédentaire mais elle peut aussi faire migration vers des marais d'eau douce.

La **reproduction**, qui peut être très fragmentée, a lieu de mars et juillet, dans des **habitats peu profonds des chenaux et des plans d'eau à faible vitesse d'écoulement, sur des supports végétaux**. Les larves se développent à proximité des zones de pontes. Le régime alimentaire des juvéniles et des adultes est variable selon les saisons avec de **fortes activités au printemps et en automne**. Elle a un comportement alimentaire opportuniste avec toutefois des préférences marquées pour les petits crustacés. Les contenus stomacaux ont aussi révélé que, bien que l'athérine soit benthivore dans les endroits où la couverture végétale est importante, elle est capable d'orienter son régime vers le zooplancton. C'est une **espèce grégaire** qui vit en petits bancs.

Distribution française

L'athérine fréquente surtout les lagunes côtières, mais est capable de migrer entre mer, lagune ou marais côtiers. Elle est présente sur tout le littoral méditerranéen et en Corse. Sur la côte atlantique elle est présente du sud de la Bretagne au pays basque.



Distribution de l'athérine sur les côtes françaises (données INPN-MHN)

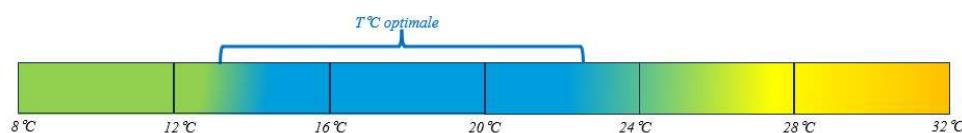
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce euryhaline : [0-60]‰ – optimum [0-40]‰



Oxygène : pas de données

Température :

**Principales périodes d'activité biologique**

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | JUIL. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|--------------|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Reproduction | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

L'athérine peut effectuer des migrations en eau douce pour se reproduire ou bien migrer entre mer, lagunes ou marais côtiers. Les enjeux migratoires sont qualifiés de **MOYENS** pour cette espèce.

Utilisation des zones de marais

Les marais constituent un habitat favorable au cycle de vie de l'athérine, et peuvent aussi servir de zone de frayère et de nourricerie pour les populations qui se déplacent. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc **FORTS**.

Menaces identifiées en zone de marais

Les principales menaces pour cette espèce concernent la qualité et la diversité des habitats ainsi que la disponibilité trophique.

Capacités de franchissement

Ses capacités de nage sont limitées (1-2 m/s). De plus ce n'est pas une espèce sauteuse, elle est donc sensible à tout ouvrage modifiant la ligne d'eau (seuil, digue, rampe, écluse...).

Epinoche – *Gasterosteus aculeatus*

Espèce holobiotique continentale

Statut IUCN France : Préoccupation mineure

Protection : Espèce non réglementée



Biologie et habitats

L'épinoche est considérée comme une espèce holobiotique. Etant très plastique, elle peut effectuer tout son cycle de vie en lagune ou estuaire. Il existe des **populations migratrices et d'autres séidentaires**. Les migratrices passent l'hiver dans la mer, migrent en eau douce au printemps pour frayer et redescendent en mer en été. Dans les deux cas son cycle biologique est identique. L'épinoche **se reproduit de mars à juillet** selon la région. Elle peut se reproduire deux fois dans l'année. **Le mâle construit un nid en forme de tunnel avec des matières végétales agglomérées par du mucus**, dans de faibles profondeurs avec des écoulements faibles à nuls. Il attire successivement plusieurs femelles attirées par la livrée vive du mâle vers son nid où se déroule la ponte. Le mâle assure la garde du nid et les soins parentaux (ventilation des œufs, éliminations des œufs morts...) jusqu'à l'élosion. **Les juvéniles se dispersent ensuite dans la végétation**. Ils peuvent se déplacer autour d'algues dérivantes ou d'objets couverts d'algues à la dérive, et ainsi coloniser de nouveaux milieux. L'épinoche **vit souvent en bancs**.

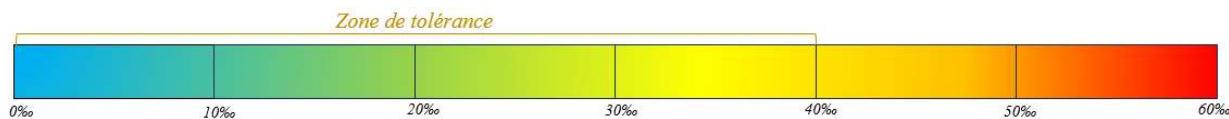
Le régime alimentaire des juvéniles et des adultes est constitué de zooplancton, de micro-invertébrés, de petits crustacés et de chironomes.

Distribution française

L'épinoche peut vivre dans la mer, les lagunes, les estuaires, les étangs, les lacs ou encore les rivières. Elle se rencontre surtout en plaine et est absente des zones montagneuses (sauf introduction). On peut la retrouver sur une grande partie du littoral atlantique et méditerranéen, et sur l'est de la Corse (population proche de l'extinction).

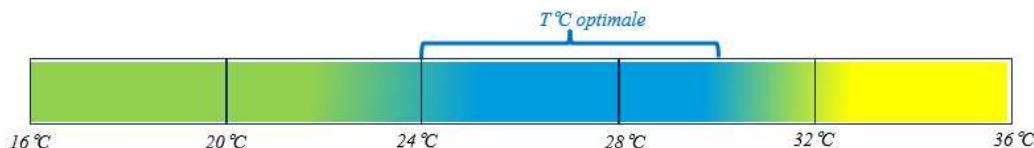
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce euryhaline : [0-40]‰



Oxygène : pas de données

Température :



Principales périodes d'activité biologique

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|--|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Migration reproduction (populations migratrices) | | | | | | | | | | | | |
| Reproduction | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires et capacité de franchissement

L'épinoche peut effectuer des mouvements de montaison lors de la reproduction puis de dévalaison pour les populations migratrices. Les enjeux migratoires sont qualifiés de **MOYENS** pour cette espèce.

Utilisation des zones de marais

Les marais constituent un habitat favorable au cycle de vie de l'épinoche, et peuvent aussi servir de zone de frayère et de nourricerie pour les populations migratrices. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc [FORTS](#).

Menaces identifiées en zone de marais

Les principales menaces pour cette espèce concernent la qualité et la diversité des habitats ainsi que la disponibilité trophique.

Capacités de franchissement

L'épinoche peut effectuer des mouvements de montaison lors de la reproduction puis de dévalaison pour les populations migratrices. Ses capacités de nage sont limitées (1-1.5m/s). De plus ce n'est pas une espèce sauteuse, elle est donc sensible à tout ouvrage modifiant la ligne d'eau (seuil, digue, rampe, écluse...).

Crevette grise – *Crangon crangon*

Espèce lagunaire migratrice (crevette grise)

Statut IUCN Monde : Non évalué

Protection : Espèce non réglementée



Biologie et habitats

La reproduction peut avoir lieu au printemps ou en automne, dans les zones aval des estuaires ou à proximité des côtes. Dès l'éclosion il y a une phase planctonique de développement larvaires (stades protozoé, zoé et métazoé) puis une phase benthique. La ponte de printemps produit des juvéniles qui vont pénétrer dans les zones intertidales, dans les marais et les lagunes pour s'y développer. Les pontes d'automne produisent, elles, des juvéniles qui vont d'abord migrer vers le large en hiver avant de remonter en estuaire au printemps suivant. Il y a une migration saisonnière, vers les eaux littorales plus profondes, à l'automne et un retour sur les côtes au printemps.

Ce sont des prédateurs épibenthiques avec un large éventail d'organismes, tels que les vers, les amphipodes, les schizopodes, les escargots, les jeunes moules, des algues et même des poissons juvéniles. Aux stades juvéniles et adultes ces espèces sont inféodées aux fonds meubles sableux et vaseux, des baies et estuaires.

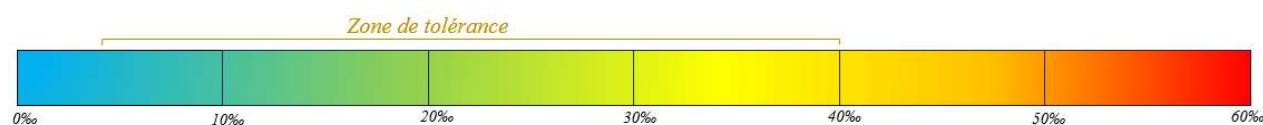
C'est une espèce écologiquement importante, en raison de sa place centrale dans le réseau alimentaire : en tant qu'organisme proie de nombreuses espèces marines et d'oiseaux.

Distribution française

Elle fréquente les eaux saumâtres et marines de faible profondeur (<50 m) sur tout le littoral atlantique et méditerranéen ainsi qu'en Corse.

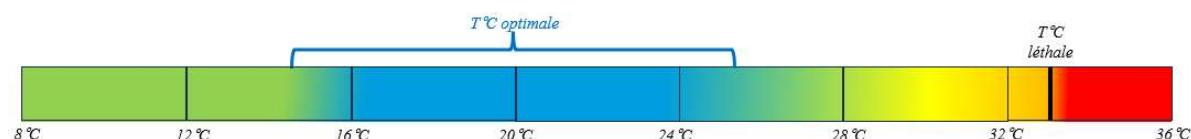
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce euryhaline : [5-40]‰



Oxygène : pas de données

Température :



Principales périodes d'activité biologique

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|--|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Reproduction | | | | | | | | | | | | |
| Colonisation milieux côtiers et saumâtre des juvéniles | | | | | | | | | | | | |
| Migration vers milieux marin (juvéniles et adultes) | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

Les crevettes grises vont coloniser les eaux saumâtres (lagune, estuaire, marais) dès le stade juvénile et peuvent y demeurer jusqu'au stade adulte, ou bien faire des aller/retour en mer. Les enjeux migratoires sont **FORTS**.

Utilisation des zones de marais

Les marais remplissent une fonction de zone de nourricerie mais peuvent également être utilisés par les adultes. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc **FORTS**.

Menaces identifiées en zone de marais

Connectivité hydraulique : Difficultés de franchissement des obstacles associés à la gestion des niveaux d'eau

Qualité et diversité des habitats

Abondance trophique

Capacités de franchissement

Elles peuvent franchir des ouvrages en utilisant leur capacité nage mais également leur capacité de marche. Leur vitesse critique de nage varie de 0.3 à 0.5 m/s et leur vitesse maximale de 0.7 à 1 m/s. Les crevettes disposent de capacité d'accélération (>1.2-1.3 m/s) en utilisant un mécanisme de contraction-extension des segments de l'abdomen.

Crabe vert – *Carcinus maenas***Crabe vert de Méditerranée – *Carcinus aestuarii*****Espèce lagunaire migratrice**

Statut IUCN Monde : Non évalué

Protection : Espèce non réglementée**Biologie et habitats**

Les deux espèces (crabe vert atlantique et méditerranéen) présentent des cycles biologiques assez proches. Elles peuvent coloniser alternativement les zones côtières, les lagunes et les marais.

Une ou deux pontes ont lieu chaque année. L'accouplement ne peut avoir lieu qu'entre la mue de la femelle et le durcissement de sa carapace. Les larves (quatre stades zoés et un stade mégalope) se développent sur une période pouvant atteindre 50 à 80 jours dans les eaux côtières. Au stade mégalope, elles peuvent utiliser certains courants de marée comme moyen de transport pour remonter vers les eaux côtières et les estuaires afin de s'établir et de se métamorphoser en crabes juvéniles.

Pendant l'hiver, en Europe du nord, le crabe vert s'éloigne du rivage vers le large où il s'enfouit dans le sable.

Les juvéniles et les adultes ont une alimentation très variée : coquillages, vers, crustacés, mollusques, algues, poissons... Il est également nécrophage.

Distribution française

Le crabe vert colonise des habitats situés dans des zones côtières et estuariennes abritées ainsi que le long de côtes rocheuses partiellement exposées. Il est principalement présent sur le littoral atlantique, mais fréquente aussi le littoral méditerranéen.

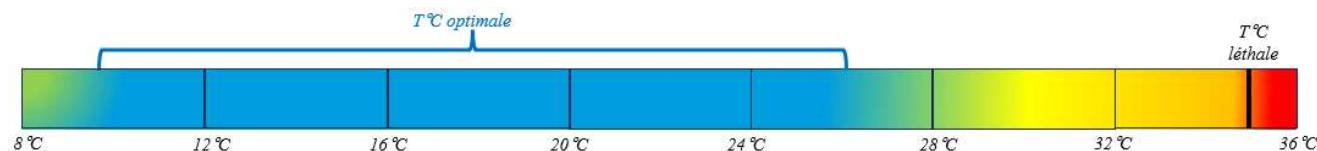
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce euryhaline : [4-52]‰ – optimal [10-30]‰



Oxygène : Il peut vivre hors de l'eau une quinzaine de jours, à condition de rester dans un endroit frais et humide.

Température :

**Principales périodes d'activité biologique**

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Jul. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|------------------------------|-------|------|------|-------|-----|------|------|------|-------|------|------|------|
| Reproduction | | | | | | | | | | | | |
| Colonisation zones de marais | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

Les jeunes stades larvaires utilisent le transport tidal sélectif pour remonter dans les vasières des estuaires, les lagunes et les marais. Les enjeux migratoires sont donc **FORTS** dès l'instant où les habitats sont favorables en amont aux exigences de cette espèce.

Utilisation des zones de marais

Le crabe vert peut coloniser les zones de marais au stade juvénile et adulte. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc **FORTS**.

Menaces identifiées en zone de marais

Connectivité hydraulique : Difficultés de franchissement des obstacles associés à la gestion des niveaux d'eau
Qualité et diversité des habitats

Abondance trophique

Besoins migratoires et capacité de franchissement

Le crabe vert peut franchir des ouvrages en utilisant leur capacité nage mais également leur capacité de marche.

Bouquet des marais – *Palaemon varians*

Espèce lagunaire sédentaire

Statut IUCN Monde : Non évalué

Protection : Espèce non réglementée



Biologie et habitats

La reproduction peut avoir lieu de mai à septembre, dans les zones estuariennes et les marais richement végétalisés. Dès l'éclosion il y a une phase planctonique de développement larvaires (stades protozoé, zoé et métazoé) puis une phase benthique. Les larves peuvent quitter les zones estuariennes et les marais pour gagner la mer et revenir ensuite vers ces mêmes habitats. L'espèce est omnivore. Elle se nourrit de larves d'insectes, de plantes ou de petits animaux en décomposition. Les femelles portent des œufs de mai à septembre. Elle affectionne les eaux très turbides, avec de grandes variations saisonnières de la salinité et de la température.

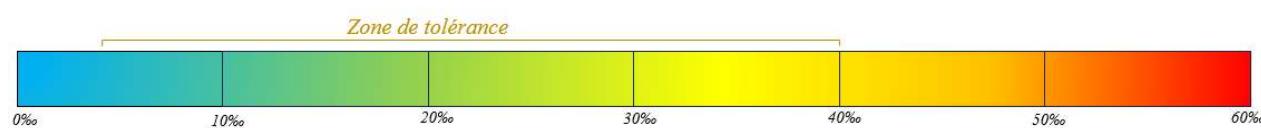
Sa durée de vie maximale est proche de 24 mois avec une période de reproduction s'étendant (Laurent-Bizot-Espiard 1984).

Distribution française

Elle fréquente les eaux saumâtres de faible profondeur sur tout le littoral Ouest.

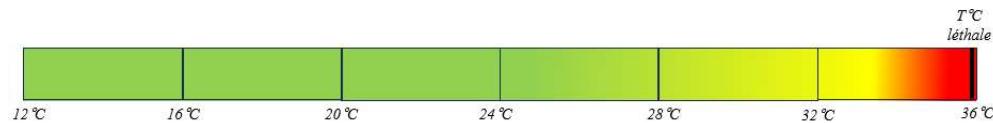
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce euryhaline : [5-40]‰



Oxygène : pas de données

Température :



Principales périodes d'activité biologique

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|--|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Reproduction | | | | | | | | | | | | |
| Colonisation milieux côtiers et saumâtre des juvéniles | | | | | | | | | | | | |
| Migration vers milieux marin larves | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

Les larves peuvent migrer vers la mer obligeant les juvéniles à migrer vers les estuaires et les marais. Toutefois, l'espèce peut effectuer tout son cycle dans les habitats saumâtres et doux. Les enjeux migratoires sont MOYENS.

Utilisation des zones de marais

Les marais remplissent une fonction de zone de développement sur l'ensemble du cycle biologique. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont donc FORTS.

Menaces identifiées en zone de marais

Connectivité hydraulique : Difficultés de franchissement des obstacles associés à la gestion des niveaux d'eau

Qualité et diversité des habitats

Abondance trophique

Capacités de franchissement

Elles peuvent franchir des ouvrages en utilisant leur capacité nage mais également leur capacité de marche. Leur vitesse critique de nage varie de 0.3 à 0.5 m/s et leur vitesse maximale de 0.7 à 1 m/s. Les crevettes disposent de capacité d'accélération (>1.2-1.3 m/s) en utilisant un mécanisme de contraction-extension des segments de l'abdomen.

Brochet commun – *Esox lucius***Brochet aquitain – *Esox Aquitanicus*****Espèce holobiotique continentale**Statut UICN France : **Vulnérable**

Protection : Arrêté du 08/15/1988 (espèce protégée) et arrêté du 23/04/2008 (protection des zones de frayères, d'alimentation et de croissance).

**Biologie et habitats**

Le cycle biologique du brochet comprend 4 phases principales :

- La reproduction : en fin d'hiver-début de printemps. Les géniteurs peuvent effectuer des migrations de plusieurs kilomètres pour rejoindre les **zones de frayère** qui correspondent à une **plaine inondable** ou des **annexes fluviales**. Les ovules sont déposés, à faible profondeur, sur la **végétation herbacée des rives et des plaines d'inondation**. Ceci nécessite la mise en eau de ces surfaces enherbée (crue).
- La phase larvaire : se déroule **dans les zones de frayère**. Les larves restent d'abord fixées sur le support végétal après éclosion, puis deviennent nageantes. Les larves sont d'abord planctonophages, puis entomophage et enfin ichtyophages à la taille d'environ 50 mm.
- Les juvéniles : ils **quittent les zones de frayère à la fin du printemps** pour regagner les **zones peu profondes et riches en herbier** (et en proies) des rivières, lacs et marais. Il chasse essentiellement de jour, à l'affût, préférant **les milieux peu turbides et calmes**.
- Les adultes : ils colonisent des **habitats plus profonds avec également une forte couverture végétale**, mais utilisent aussi les zones de faible profondeur pour s'alimenter. En début d'hiver les géniteurs partent à la rechercher des habitats de fraie.

Distribution

Le brochet est capable de vivre dans de nombreux types de milieux dulçaquicoles, mais également saumâtre. Il colonise aussi bien les cours d'eau à truite en plaine que les eaux saumâtres des estuaires ou encore les lacs de montagne en dessous de 1500 m d'altitude. Il est présent sur tout le territoire national métropolitain, donc aussi bien dans les marais du littoral atlantique que méditerranéen.

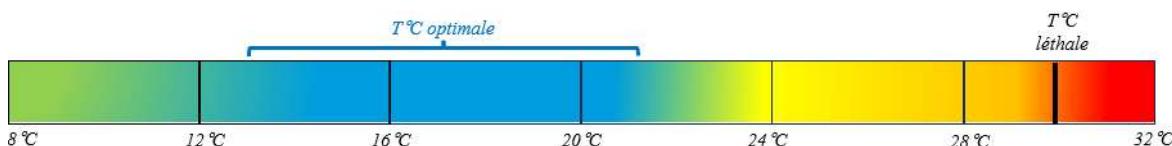
Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce sténohaline : Larves [0-7]‰ – Juvéniles [0-12]‰ – Adultes [0-18]‰



Oxygène : supporte jusqu'à 0.3 mg/l durant l'hiver

Température :

**Principales périodes d'activité biologique**

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|-------------------------------|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Migration géniteurs | | | | | | | | | | | | |
| Reproduction | | | | | | | | | | | | |
| Déplacement alevins/juvéniles | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

Le brochet a besoin de se déplacer, parfois sur de grandes distances, pour trouver des zones de frayères. Les suivis ont montré qu'il se déplace plutôt vers l'amont. Les enjeux migratoires sont [FORTS](#).

Utilisation des zones de marais

Les marais peuvent constituer un habitat favorable au cycle de vie du brochet notamment en termes de zones de frayères. Ils doivent bénéficier d'une inondabilité durable. La réalisation de la totalité du cycle de vie en marais réclame de disposer d'un espace aquatique de grande dimension avec une bonne connectivité. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont [FORTS](#).

Menaces identifiées en zone de marais

La principale menace identifie en zone de marais est le dénoiement des zones de frayère après la ponte et jusqu'à la résorption de la vésicule vitelline (larve fixée au support de ponte).

Capacité de franchissement

Ce n'est pas une espèce sauteuse, il est donc sensible à tout ouvrage modifiant la ligne d'eau (seuil, digue, rampe, écluse...). Par contre, il a des capacités de nage importantes, de l'ordre de 3-5 m/s pour un adulte lorsque les conditions thermiques sont favorables.

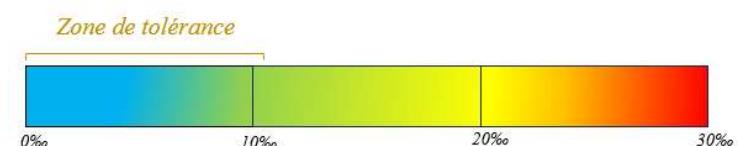
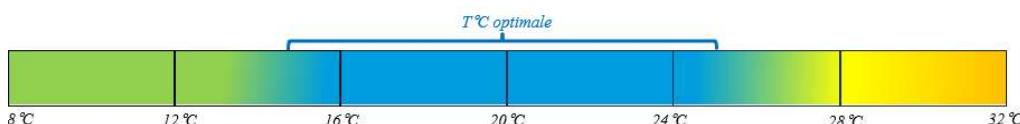
Brème commune – *Abramis brama***Brème bordelière – *Blicca bjoerkna*****Espèce holobiotique continentale**Statut IUCN France : **Préoccupation mineure**Protection : Espèce non réglementée

Les deux espèces de brèmes sont souvent considérées comme des espèces holobiotiques. Toutefois, elles présentent des capacités d'osmorégulation lui permettant d'évoluer dans des eaux légèrement salées. On peut distinguer 4 phases biologiques :

- La **reproduction** se déroule au printemps, principalement de mai à juin. Les **œufs sont déposés près de la rive (<1m de profondeur) sur des supports végétaux divers, voire minéraux, dans des vitesses faibles.**
- Après éclosion, **les larves se fixent aux plantes et restent immobiles.**
- Le stade **juvénile** commence après la résorption de la vésicule vitelline. Elles **se regroupent et déplacent en petit bancs** et vont se nourrir d'abord de plancton puis vont devenir zoobenthophage.
- Les **adultes** colonisent surtout des **habitats lenticques et assez profonds avec des fonds de sédiments fins** favorables à leur alimentation. L'hivernage a lieu en grand nombre dans les zones profondes. Au printemps les adultes peuvent effectuer une **migration de reproduction vers l'amont des fleuves et rivière** pour trouver des sites de ponte favorables.

Distribution

Les brèmes colonisent les parties aval des cours d'eau, les lacs et les marais dulçaquicoles. Elle est présente dans la quasi-totalité du territoire national métropolitain, et est absente de la Corse.

Relations aux caractéristiques physicochimiquesSalinité : espèce sténohaline : [0-10]‰Oxygène : seuil léthal : 0.1-0.3 mg/lTempérature :**Principales périodes d'activité biologique**

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|----------------------------|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Hivernage en zone profonde | | | | | | | | | | | | |
| Migration de reproduction | | | | | | | | | | | | |
| Reproduction | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

Les brèmes ont besoin de se déplacer, vers l'amont pour trouver des zones de frayères et vers l'aval pour hiverner. Les enjeux migratoires sont **MOYENS**.

Utilisation des zones de marais

Les marais peuvent constituer un habitat favorable au cycle de vie des brèmes notamment en termes de zones de frayères. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont **MOYENS**.

Menaces identifiées en zone de marais

Les habitats peuvent être sensibles aux opérations de fau cardage et de curage.

Carpe commune – *Cyprinus carpio*

Espèce holobiotique continentale

Statut UICN France : Préoccupation mineure

Protection : Espèce non réglementée



Biologie et habitats

La carpe est souvent considérée comme une espèce holobiotique. Toutefois, elle présente des capacités d'osmorégulation lui permettant d'évoluer dans des eaux légèrement salées. On peut distinguer 4 phases biologiques :

- La **reproduction** se déroule au printemps et en début d'été lorsque les températures dépassent 17-18°C. Les **œufs sont déposés sur des supports végétaux divers (<1m de profondeur) dans des vitesses faibles.**
- Après éclosion, **les larves se fixent aux plantes et restent immobiles.**
- Le stade **juvénile** commence après la résorption de la vésicule vitelline. Elles se maintiennent ensuite dans les zones végétalisées et se nourrissent de zooplankton et de micro-algues.
- Les **adultes** deviennent benthophages et omnivores avec un comportement fouisseur très marqué. Ce comportement participe à la remise en suspension des sédiments du fond et à une augmentation de la turbidité des eaux.

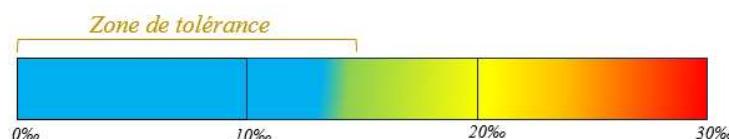
Au-delà de la migration de reproduction, les carpes adultes effectuent également des déplacements en automne et début d'hiver pour gagner des zones plus profondes (García-Berthou, 2001).

Distribution

La carpe colonise les parties aval des cours d'eau, les lacs et les marais dulçaquicoles. Elle est présente dans la quasi-totalité du territoire national métropolitain.

Relations aux caractéristiques physicochimiques

Salinité : espèce sténohaline : [0-10]‰



Oxygène : elle peut supporter de courtes périodes d'anoxie

Température :



Principales périodes d'activité biologique

| Stade | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juil. | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. |
|----------------------------|-------|------|------|-------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Hivernage en zone profonde | | | | | | | | | | | | |
| Migration de reproduction | | | | | | | | | | | | |
| Reproduction | | | | | | | | | | | | |

Besoins migratoires

La carpe ont besoin de se déplacer pour trouver des zones de frayères sur des supports végétaux et parfois vers l'aval pour hiverner. Les enjeux migratoires sont **MOYENS**.

Utilisation des zones de marais

Les marais peuvent constituer un habitat favorable au cycle de vie de la carpe notamment en termes de zones de frayères. Les enjeux en termes de capacité d'accueil sont MOYENS.

Menaces identifiées en zone de marais

Les habitats peuvent être sensibles aux opérations de fau cardage et de curage.

Capacités de franchissement

La carpe n'est pas une espèce sauteuse. Elle possède des capacités de nage soutenues de 3-5 m/s pour un adulte, qui lui permettent de franchir certains obstacles en nageant.