



*Etude de la connectivité hydrobiologique
entre le milieu marin et le complexe lagunaire du
Vaccarès via les étangs et les marais des salins de
Camargue*

- Suivis ichthyologiques d'octobre 2016 à mai 2019 -

Contrat de delta Camargue : Action MA9



Capêchade posée dans l'étang de Beauduc non loin de la connexion avec l'étang de Sainte Anne ©DNS

en partenariat avec :



**Conservatoire
du littoral**



avec le soutien financier de :



**RÉGION
SUD**
PROVENCE
ALPES
CÔTE D'AZUR



Etude de la connectivité hydrobiologique entre le milieu marin et le complexe lagunaire du Vaccarès via les étangs et les marais des salins de Camargue

- Suivis ichtyologiques d'octobre 2016 à mai 2019 -

Contrat de delta Camargue : Action MA9

Maître d'ouvrage :



Plan de financement :

Le suivi d'Octobre 2016 à Juin 2017 a été financé à 80% par le WWF et la fédération française des Jeux et à 20% par la Tour du Valat. Le suivi d'Octobre 2017 à Mai 2019 a été financé à 50% par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse, à 30% par la Région Sud Provence Alpes Côte d'Azur et à 20% par la Tour du Valat.



Propriétaire du site des étangs et marais des salins de Camargue :



Co-gestionnaires du site :



SOMMAIRE

RESUME	3
CONTEXTE	4
INTRODUCTION	4
MATERIEL & METHODES	7
Plan d'échantillonnage	7
La station de Beauduc	8
La station du Vaisseau	10
La station Galabert 1-2	11
La station Galabert et la station du Tampan	12
Les stations du chenal de la Comtesse, du Versadou et de la Gaze du Marteau	15
Suivi des paramètres environnementaux	18
Données hydrologiques et physico-chimiques	18
Données météorologiques	19
Préparation des variables environnementales	19
Caractérisation des entrées de mer intermittentes via l'étang des Batayolles	21
Effet de la lune	23
Exploration et pré-sélection des variables explicatives	23
Traitement des captures	24
Traitement des anguilles	24
Stade civelle	25
Stades anguilllette, jaune et argenté	26
Traitement des crustacés décapodes	26
Caractérisation de la diversité taxinomique et fonctionnelle	26
Calcul des métriques biologiques	27
Evaluation du degré de connectivité hydrobiologique	28
Description des 3 taxons ciblés	28
Etude du franchissement de 3 ouvrages de connexion	31
Test de l'influence de paramètres abiotiques sur la présence et l'abondance de taxons présélectionnés	33
RESULTATS & DISCUSSION	34
Variabilité interannuelle et saisonnière des conditions météorologiques	34

Variabilité spatio-temporelle des conditions hydrologiques et physico-chimiques	35
Niveaux d'eau et salinité des étangs	35
Mesures continues sur les 3 ouvrages de connexion ciblés	37
Exploration des variables explicatives abiotiques continues	39
Effort de pêche	40
Comparaison en termes d'abondance du peuplement piscicole et du peuplement carcinologique	41
Diversités spécifique et fonctionnelle	42
L'athérine des lagunes, espèce euryhaline	47
Présence et abondance spatio-temporelles	47
Franchissement des 3 ouvrages de connexion suivis	48
Influence de paramètres environnementaux	50
Les juvéniles de sole commune, espèce marine migratrice	55
Présence et abondance spatio-temporelles	55
Franchissement des 3 ouvrages de connexion suivis	59
Influence de paramètres environnementaux	60
Recrutement des civelles	64
Présence et abondance spatio-temporelles	64
Franchissement des 3 ouvrages de connexion suivis	68
Influence de paramètres environnementaux	69
CONCLUSIONS & PERSPECTIVES	73
REMERCIEMENTS	74
REFERENCES	75
Annexe 1 : Planning des pêches scientifiques réalisées dans les EMSC et liste des participants	80
Annexe 2 : Nouvel ouvrage de connexion entre les étangs du Galabert et du Tampan	86
Annexe 3 : Carte représentant l'ensemble des ouvrages et instruments des EMSC	87
Annexe 4 : Figures supplémentaires relatives à l'exploration des données environnementales	88
Annexe 5 : Liste des taxons identifiés lors des campagnes de pêche dans les EMSC	92
Annexe 6 : Résultats des modèles GLM à une variable explicative	95

Résumé

Les étangs et marais des salins de Camargue (EMSC), acquis par le Conservatoire du Littoral entre 2008 et 2012, constituent une nouvelle voie de migration potentielle pour la faune aquatique entre la mer et l'hydrosystème du Vaccarès. Pendant 3 années consécutives, d'octobre 2016 à mai 2019, la Tour du Valat a conduit un suivi ichtyologique mensuel, d'octobre à juin, en différents points du site, afin d'évaluer le degré de connexion de cette nouvelle voie de migration. En parallèle, l'évolution des conditions hydrologiques et physico-chimiques ont été suivies grâce à un réseau d'enregistreurs continus et de relèves manuelles maintenu par les 3 co-gestionnaires du site : le Parc Naturel Régional de Camargue, la Société Nationale de Protection de la Nature et la Tour du Valat.

Au total, une cinquantaine d'espèces piscicoles ont été recensées. Une structuration du peuplement piscicole transparaît entre les différentes stations d'échantillonnage, marquées au Sud par l'influence proche de la mer, et au Nord, par l'apport saisonnier d'eau douce depuis le canal du Versadou. À toutes les stations, ont été observées des espèces lagunaires telles que les athérines ou le gobie tacheté, des espèces marines migratrices, telles que les muges, la sole commune ou la dorade royale, ou encore l'anguille européenne, une espèce migratrice amphihaline. Ces résultats indiquent que des échanges biologiques avec la mer s'effectuent et qu'une partie du territoire (au moins l'étang de Beauduc) peut à nouveau jouer un rôle de nourricerie pour des espèces migratrices d'origine marine.

Pour trois taxons présélectionnés, les athérines, les juvéniles de sole commune et les civelles, le degré de connexion de la voie de migration des EMSC est plus précisément examinée à partir de i) la description des patrons de distribution obtenu au travers des différentes stations d'échantillonnage, ii) l'évaluation théorique du franchissement de 3 ouvrages de connexion, et iii) les résultats de modèles statistiques utilisés pour tester l'influence de facteurs abiotiques sur leur présence et leur abondance (CPUE).

Soumises à un climat méditerranéen, les conditions de circulation dans les EMSC sont peu propices à la circulation de la macrofaune aquatique entre la mer et l'hydrosystème du Vaccarès durant la période estivale. En effet, les périodes de sécheresse prolongée engendrent, notamment dans les étangs peu profonds et éloignés de la mer, des niveaux d'eau très faibles, voire des assècs, avec des températures et des salinités très élevées, souvent incompatibles avec la survie de la plupart des espèces aquatiques. Ces conditions peuvent perdurer jusqu'à la saison hivernale, comme ce fut le cas pour l'étang du Galabert en 2017, soit une année exceptionnellement sèche avec très peu de précipitations durant l'automne.

Les mesures hydrologiques réalisées en continu témoignent du fort hydrodynamisme des EMSC. Le plus souvent, les conditions de circulation apparaissent favorables aux espèces euryhalines, du moins aux athérines qui tolèrent des conditions d'hypersalinité jusqu'à 70g/L. Pendant leur période de recrutement, de février à juin, les juvéniles de soles semblent éviter les zones hypersalines et apparaissent plus souvent présentes lorsque de forts débits, majoritairement sortants, se maintiennent plusieurs jours d'affilés. Les civelles, qui ont une capacité de nage limitée, sont significativement moins présentes et abondantes lorsque les vitesses de courant sortant sont élevées. Les civelles sont également moins présentes lorsque les températures de l'eau sont inférieures à 6°C, du fait du ralentissement de leur métabolisme.

Au cours des 4 dernières années, les brèches dans les digues du front de mer situées au sud du site se sont accentuées et les entrées de mer intermittentes se sont multipliées, favorisant les échanges hydrobiologiques avec la mer. Certaines connexions intermittentes peuvent court-circuiter le cheminement jusqu'aux étangs de la Réserve naturelle nationale de Camargue, en créant des connexions plus directes avec la mer, notamment au niveau de l'étang des Batayolles, à l'Ouest de l'étang du Tampan.

Contexte

Les étangs et marais des salins de Camargue (EMSC) constituent depuis quelques années une nouvelle voie de connexion entre la mer et les étangs inférieurs de l'île de Camargue (Figure 1). Ce vaste territoire de plus de 6000 ha a été acquis entre 2008 et 2012 à l'issue de plusieurs actes de vente par le Conservatoire du Littoral et il est depuis cogéré par 3 structures : le Parc Naturel Régional de Camargue, la Société Nationale de Protection de la Nature et la Fondation Tour du Valat. Différents programmes y sont déployés depuis 2011 afin de rétablir un fonctionnement hydro-écologique plus naturel. Voués à la production de sel depuis les années 1960-70, ces étangs au départ très cloisonnés font désormais l'objet d'une renaturation. Côté mer, la restauration se fait de manière non interventionniste : au fil des tempêtes, de nouvelles brèches s'ouvrent dans les digues, et les dynamiques d'érosion et de sédimentation redessinent peu à peu le trait de côte. Plus vers l'intérieur des terres, un chemin de connexion entre la mer et l'étang du Vaccarès a été facilité par des travaux de chenalisation et la création de nouveaux ouvrages. Successivement, ce chemin emprunte les étangs de Beauduc, du Vaisseau, du Grand Rascaillan, du Galabert, du Tampan, de la Gaze du Marteau, et enfin du Lion ou de la Dame. Cette renaturation du système renforce l'accessibilité d'un vaste territoire à la faune aquatique migratrice. L'objet de la présente étude vise à évaluer le succès de cette reconnexion d'un point de vue ichtyologique.

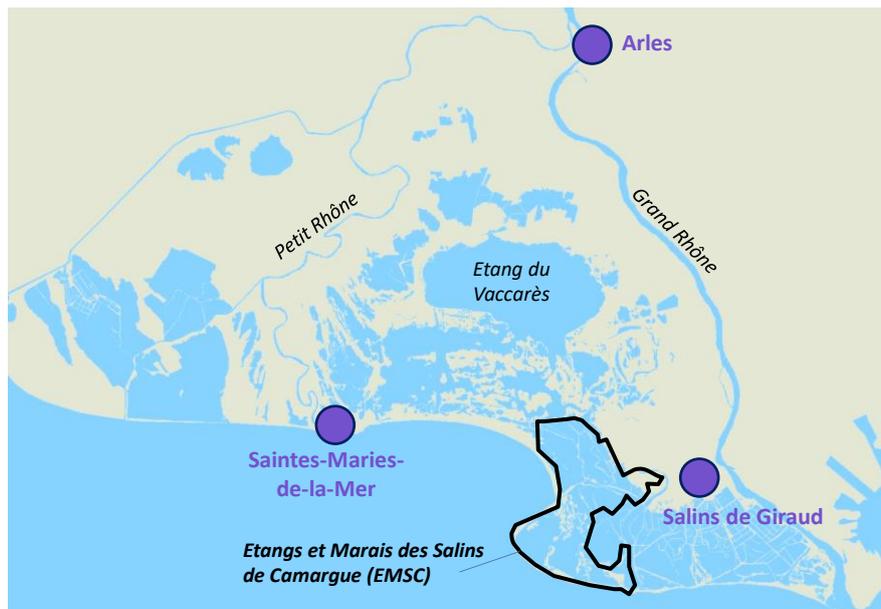


Figure 1 : Localisation des étangs et marais des salins de Camargue à l'intérieur du delta du Rhône.

Introduction

À la jonction entre terre et mer, les lagunes sont des habitats littoraux peu profonds, ayant généralement une à plusieurs connexions étroites à la mer, pouvant temporairement ou en permanence être alimentées par des apports d'eau douce. Selon leurs caractéristiques hydrologiques, morphologiques et physico-chimiques, les lagunes hébergent différents types de peuplements aquatiques, qui peuvent être tantôt dominés par des espèces dulçaquicoles, des espèces saumâtres ou des espèces marines. La composition des peuplements lagunaires, en termes de présence et d'abondance, varie essentiellement au fil des saisons, en fonction de la phénologie

des espèces et de leur succès de reproduction, des conditions hydrologiques, courantologiques et physico-chimiques de la lagune et ses hydrosystèmes adjacents, ainsi que de l'importance et de la durée des connexions entre la mer et les étangs.

Les lagunes saumâtres sont avant tout l'habitat de résidence des espèces lagunaires qui y effectuent l'ensemble de leur cycle de vie, y trouvant toutes les ressources adéquates pour leur reproduction, leur croissance et leur survie. Ces espèces peuvent s'adapter à de grandes variations environnementales, notamment en termes de salinité et de température. Typiquement, les espèces résidentes en milieu saumâtre sont en faible nombre mais présentent de fortes abondances. Dans l'hydrosystème lagunaire du Vaccarès, les principales espèces de poissons saumâtres sont l'athérine (*Atherina boyeri*), les gobies (*Pomatoschistus microps* et potentiellement *P. marmoratus*), l'épinoche (*Gasterosteus aculeatus*) et le syngnathe des lagunes (*Syngnathus abaster*) (Alain J. Crivelli, 1981; Agnès Gelin, 2001; Pampoulie et al., 2001; Gilles Poizat et al., 2004).

Les espèces marines migratrices se reproduisent en mer et vont grandir au stade juvénile en milieu côtier. En tant qu'habitats côtiers abrités, les lagunes constituent des habitats de nourricerie pour de nombreuses espèces de poissons marins migrants. Cette fonction de nourricerie est un rôle clé pour le renouvellement et la pérennité de nombreux stocks halieutiques en mer. Selon les espèces, des habitats plus ou moins spécifiques assurent cette fonction de nourricerie. Un habitat est considéré nourricerie pour une espèce uniquement lorsqu'il assure à la fois un taux de croissance, un taux de survie et une production de futurs géniteurs, pouvant aisément rejoindre leur habitat d'origine, significativement plus élevés que d'autres habitats (Beck et al., 2001). Dans le système du Vaccarès, les post-larves ou juvéniles de plusieurs espèces marines migratrices y sont régulièrement observées : sole commune (*Solea solea*), dorade royale (*Sparus aurata*), muges (*Chelon ramada*, *Chelon aurata*, *Chelon saliens*, *Mugil cephalus*), loup (*Dicentrarchus labrax*). Des espèces carcinologiques telles que le crabe vert de méditerranée (*Carcinus aesturii*) et la crevette grise (*Crangon crangon*), y effectuent également des migrations entre la mer et les étangs au cours de leur cycle de vie, notamment les femelles pour faire éclore leurs œufs en mer (A. Gelin et al., 2000).

Les lagunes méditerranéennes sont des habitats très attractifs pour l'anguille européenne, une espèce migratrice amphihaline catadrome, en danger critique d'extinction d'après l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature). L'anguille européenne se reproduit dans l'Océan Atlantique, dans la mer des Sargasses. Après avoir traversé l'océan et approché le plateau continental européen, les larves nommées leptocéphales se métamorphosent en civelles, stades juvéniles de l'anguille. Les civelles colonisent l'ensemble des façades Atlantique européenne et méditerranéenne pour trouver un habitat de croissance marin, saumâtre ou d'eau douce, et devenir des anguilles jaunes. Au bout de 2 à 20 ans, les anguilles jaunes se métamorphosent à nouveau pour devenir argenté et repartir en mer pour aller se reproduire. Les lagunes méditerranéennes font partis des milieux les plus productifs en anguilles argentés (*Plan de gestion anguille de la France. Rapport de mise en oeuvre - juin 2015. Article 9 du R (CE) n°1100/2007, 2015*). Les anguilles sont d'ailleurs largement exploitées dans la plupart des lagunes méditerranéennes françaises, dont l'hydrosystème du Vaccarès.

Le delta de Camargue est principalement relié à la mer par le pertuis de la Fourcade situé sur la commune des Saintes Maries de la Mer, au Sud-Ouest du delta. Ce pertuis est équipé d'un ouvrage composé de 13 martelières dont les ouvertures sont totalement contrôlées et gérées par un comité d'acteurs, la Commission Exécutive De l'Eau (CEDE), qui se réunit régulièrement pour prendre des

décisions collégiales. L'étang du Vaccarès ayant une altitude légèrement inférieure au niveau de la mer, l'une des priorités de ce comité est d'assurer l'évacuation des eaux du système afin d'éviter les inondations et l'hypersalinisation qui nuiraient, respectivement, aux habitations et aux activités agricoles. Par temps de mistral (vent de secteur Nord), les martelières sont donc le plus souvent ouvertes de manière à assurer la vidange du système. Néanmoins, cette vidange s'accompagne de forts courants qui sont incompatibles avec la migration active, à contre-courant, de la plupart des espèces piscicoles d'origine marine. En cas de forts vents de secteur Sud, qui s'accompagnent généralement de tempêtes de la mer, les vannes sont fermées pour limiter les entrées d'eaux salées. Le reste du temps, ce sont le plus souvent 3 à 4 martelières sur les 13 qui restent ouvertes en permanence pour assurer les échanges hydrobiologiques (Rosecchi et al., 1998).

Au Sud-Est du delta, depuis une dizaine d'années, une nouvelle voie de migration entre la mer et l'hydrosystème du Vaccarès est restaurée *via* les étangs et marais des Salins de Camargue (EMSC). En tant que secteur à nouveau ouvert sur la mer et reconnecté aux étangs intérieurs, les EMSC offrent un territoire de 6 000 ha potentiellement colonisables par les espèces aquatiques, qu'elles soient résidentes, migratrices ou de passage. En particulier, pour l'anguille européenne, il peut s'agir d'une nouvelle voie de migration intéressante pour rejoindre des habitats de croissance à la montaison (stade civelle) ou repartir en mer à la dévalaison (stade argenté).

Suite à une phase de travaux préliminaires visant à décroiser les étangs et favoriser un chemin de reconnexion par voie gravitaire, la gestion du site cherche à être le moins interventionniste possible et à retrouver un fonctionnement le plus naturel possible. La connexion à l'intérieur des EMSC est ainsi fortement conditionnée par les conditions météorologiques. Dans la partie nord du site qui est la plus éloignée des connexions avec la mer, les niveaux d'eau dans les étangs diminuent fortement pendant la période estivale, conséquence des taux d'évaporation très élevés. Ces étangs peuvent même partiellement s'assécher et, en plusieurs points, la connexion peut être rompue. La diminution des niveaux s'accompagne de hausses de la température et de la salinité de l'eau qui peuvent conduire à des conditions non favorables à la survie de la plupart des espèces piscicoles. A partir de l'automne, suite aux premiers épisodes de précipitations et à la remontée des eaux, la faune aquatique est susceptible, en fonction des conditions hydrologiques (force et direction du courant) et physico-chimiques (salinité, température, dioxygène), de circuler à nouveau.

La présente étude vise à décrire et mieux comprendre le fonctionnement hydrobiologique des EMSC et à évaluer le degré de connexion de cette nouvelle voie de migration pour les poissons entre la mer et l'hydrosystème du Vaccarès. Un suivi ichtyologique et carcinologique a ainsi été mis en place en différents points du système, d'octobre à juin pendant 3 années consécutives (depuis octobre 2016). Dans un premier temps, les variabilités spatio-temporelles des conditions abiotiques et de la structure du peuplement sont explorées. Le degré de connexion de la voie de migration des EMSC est ensuite évalué pour une pré-sélection de trois taxons en utilisant 3 approches différentes : i) la description des patrons de distribution en termes de présence-absence et de densités obtenus à travers les différentes stations d'échantillonnage, ii) une évaluation théorique du franchissement de 3 ouvrages de connexion à partir des mesures hydrologiques et physico-chimiques réalisées en continu et d'informations biologiques issues de la littérature, iii) l'identification des principaux facteurs abiotiques limitant ou favorisant la présence et/ou l'abondance et la quantification de leurs effets à l'aide d'outils de modélisation statistique.

Matériel & Méthodes

Plan d'échantillonnage

Tous les mois d'octobre à juin, 6 stations positionnées le long du chemin de connexion entre la mer et l'hydrosystème du Vaccarès sont échantillonnées en simultanément (Figure 2). Ces pêches scientifiques font l'objet d'une autorisation auprès des affaires maritimes.

A chaque station, deux types d'engins passifs, en configuration verveux ou capêchade, sont utilisés, l'un de 4 mm de maille visant les individus de toutes tailles (dénommé 'filet DCE¹'), et l'autre de 1.5 mm de maille ciblant spécifiquement les civelles (dénommé 'filet à civelles'). A l'entrée des filets à civelles, une grille de 2 cm de maille a été placée afin d'empêcher le passage des gros individus (d'anguille et de crabe notamment). Chaque campagne de pêche dure entre 4 et 5 jours : les filets sont posés le matin du premier jour et sont relevés à peu près toutes les 24h pendant 3 jours consécutifs. En cas de pépin (filet arraché, pluies torrentielles, etc.), une relève supplémentaire est assurée le cinquième jour. Les semaines suivies se rapprochent au mieux de la lune noire si possible, période qui peut positivement influencer la montaison ou la dévalaison des anguilles (Bru et al., 2009; Bruijs & Durif, 2009; Harrison et al., 2014; Okamura, 2002). Les dates du suivi et le personnel impliqué sont indiqués en Annexe 1. Les heures de pose et de relève de chaque filet sont notées afin de calculer les efforts de pêche. Ci-après sont décrites la disposition des filets à chacune des stations.

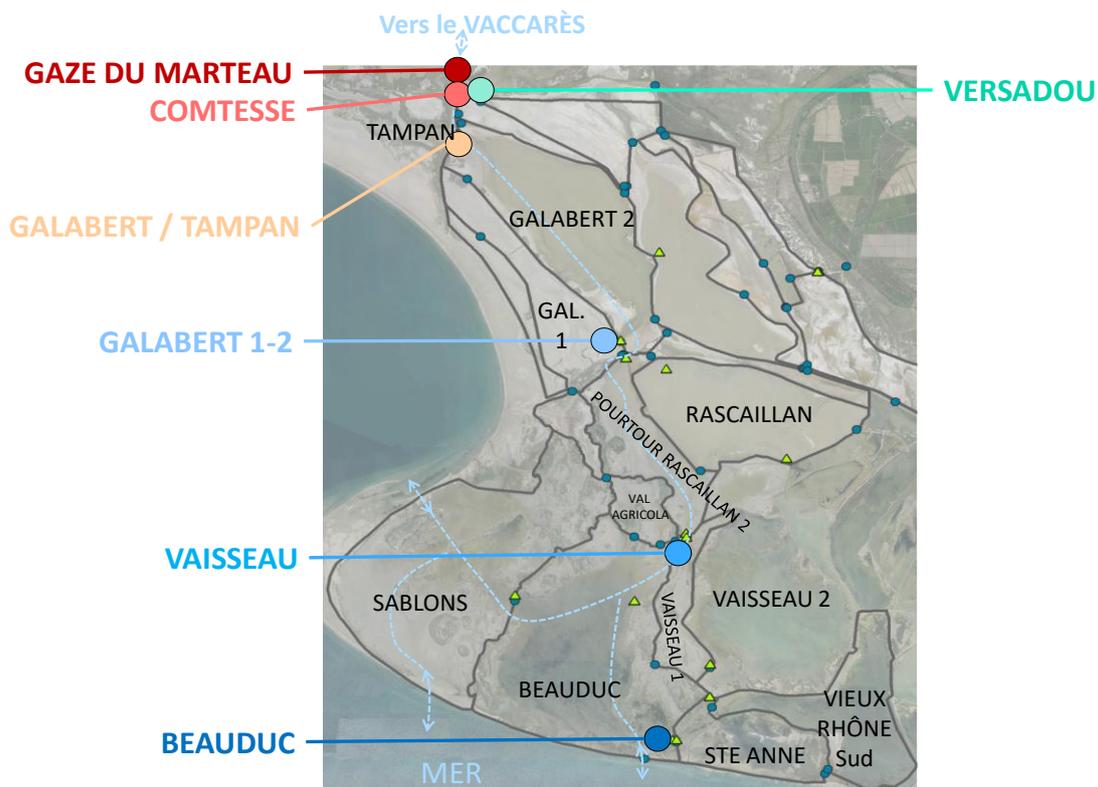


Figure 2 : Carte représentant la localisation des stations d'échantillonnage de la macrofaune aquatique le long du chemin de connexion théorique entre la mer et l'étang du Vaccarès via les EMSC. Les petits ronds bleus symbolisent les ouvrages de connexion et les petits triangles jaunes la localisation des instruments de mesure en continu.

¹ Ce filet fut l'engin de pêche utilisé dans le cadre de la Directive-Cadre européenne sur l'Eau lors de la première tentative pour développer un indicateur Poissons en lagunes méditerranéennes (~2006-2012).

La station de Beauduc

La station de Beauduc est située à l'Est de l'étang de Beauduc, à proximité de la digue le séparant de l'étang de Sainte Anne. L'étang de Beauduc est connecté directement à la mer par plusieurs brèches plus ou moins permanentes. Il communique avec l'étang de Sainte Anne *via* une martelière quasiment ouverte en permanence. L'étang de Sainte Anne est également connecté avec la mer par des brèches temporaires et il est relié à l'étang du Vieux Rhône Sud par trois points de connexion : une martelière fréquemment ouverte, une martelière rarement ouverte et une brèche permanente (Figure 2). Le Vieux Rhône Sud est principalement alimenté en eau de mer par le groupe SALINS DU MIDI à partir du canal de l'Epave qui prend l'eau de mer au niveau du grau de la dent. De 2016 à 2017, un pêcheur professionnel conventionné auprès du conservatoire du Littoral exploitait ce secteur, notamment à l'automne pour les anguilles et les muges.

La station de Beauduc n'est pas directement placée sur la voie de connexion entre la mer et l'hydrosystème du Vaccarès. Fortement influencée par les entrées de mer, elle est utilisée en tant que référentiel des espèces d'origine marine qui peuvent potentiellement pénétrer dans le système. À noter que les individus d'origine marine capturés au niveau de l'étang de Beauduc peuvent provenir directement de la mer ou avoir déjà évolué dans un large réseau irrigué par l'eau de mer.

Depuis la formation de brèches dans la digue du front de mer, l'étang de Beauduc est soumis à un très fort ensablement. Depuis le démarrage du suivi en octobre 2016, les filets ont dû être décalés de plusieurs mètres en direction du chenal de connexion avec Sainte Anne afin de regagner de la profondeur (Figure 3). Les filets sont positionnés en configuration capétchade : une paradière part perpendiculairement du bord et un verveux DCE est placé à son extrémité. En arrière du verveux DCE, un paradière de fine maille continue dans la même direction que la première paradière et un filet à civelles est placé à son extrémité (Figure 3 et Figure 4).



Figure 3 : Plan du dispositif de pêche à la Station de Beauduc. Les deux images permettent de constater le fort ensablement entre octobre 2016, en haut (source Géoportail, image remontée dans le temps 2011) et dès l'hiver 2017, en bas (source Géoportail, IGN 2017). Les connexions permanentes (trait continu) et temporaires (trait pointillé) avec la mer sont indiquées par les flèches bleues. Les verveux avec leur paradière respective sont schématisés en bleu clair pour le filet DCE et en vert pour le filet à civelles.



Figure 4 : Photographie de la pose des filets à la station de Beauduc : le filet DCE est en premier plan, le filet à civelles en arrière-plan. ©DNS

La station du Vaisseau

La station du Vaisseau a une position stratégique le long du cheminement entre la mer et l'hydrosystème du Vaccarès puisqu'il s'agit de l'unique passage depuis l'aval du système des EMSC pour remonter vers les étangs intérieurs. Néanmoins cette station pose des problèmes d'accessibilité dès que les conditions sont pluvieuses (l'état de certaines digues, composées d'argile, ne permet plus le passage de véhicules). La pose des filets y est également très compliquée en raison des très forts courants qui s'y opèrent à chaque bascule de vent. En effet, sous l'influence du vent, ce sont de très grandes superficies d'eau qui sont mises en mouvement et qui passent par des points de connexion très étroits. La station était initialement prévue au niveau de la connexion équipée de part et d'autre par des sondes mesurant en continu les niveaux d'eau (Figure 5). Après plusieurs essais de configuration, nous avons finalement opté à partir de décembre 2016 pour une position de la station un peu plus au Sud, au niveau de la connexion avec l'étang de Beauduc. Les filets sont placés en mode verveux (Figure 6). Un deuxième filet à civelles a été rajouté pour capturer l'éventuel passage des civelles ou d'autres individus *via* l'itinéraire bis possible à cet endroit (Figure 5). Les filets sont ouverts en direction du Sud pour capturer les individus qui cherchent à remonter le système depuis la mer.

La deuxième année de suivi (2017-2018), cette station s'est révélée encore très peu accessible : 6 semaines sur les 9 prévues ont dû être annulées. Depuis l'hiver 2018, la station n'est plus du tout accessible en véhicules motorisés en raison d'une forte dégradation de l'état de la digue. Par conséquent, afin de remplacer cette station clé, une nouvelle station a été ajoutée au Sud de l'étang du Galabert, à partir du mois d'avril 2018.

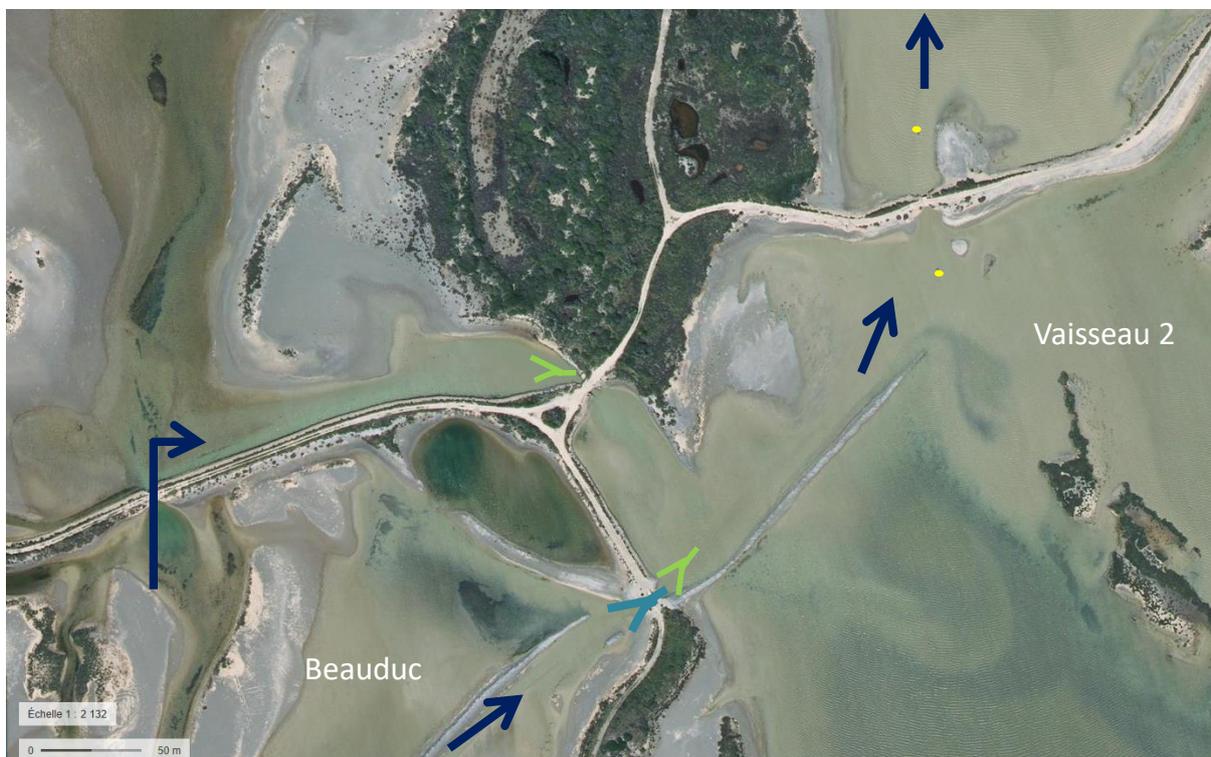


Figure 5 : Plan du dispositif de pêche à la station du Vaisseau. Les flèches bleues marines indiquent le cheminement pour remonter le système en direction de l'étang du Vaccarès. Les points jaunes symbolisent le positionnement des sondes d'enregistrement des niveaux d'eau. Le filet DCE est schématisé en bleu clair et les filets à civelles en vert. Photo satellite de Géoportail © IGN 2017



Figure 6 : Photographie de la mise en place du filet DCE à la station du Vaisseau. 17/11/2016 ©DNS

La station Galabert 1-2

La station Galabert 1-2 est située au point de connexion entre les étangs du Galabert 1 et du Galabert 2. Elle est utilisée à la place de la station du Vaisseau depuis avril 2018. Un filet DCE et un filet à civelles y sont positionnés avec leur ouverture en direction de la mer (Figure 7). Les courants à cette station peuvent également s'avérer problématiques pour le maintien des filets. Les ouvrages de connexion situés à proximité ont toujours été ouverts pendant toute la durée du suivi.



Figure 7 : Plan du dispositif de pêche à l'ouvrage de connexion entre les étangs 1 et 2 du Galabert. Les flèches bleues marines en trait continu indiquent le cheminement pour remonter le système depuis la mer en direction de l'étang du Vaccarès. Le point jaune symbolise le positionnement des sondes d'enregistrement des niveaux d'eau. Le filet DCE est schématisé en bleu clair et le filet à civelles en vert. Photo satellite de Géoportail © IGN



Figure 8 : Photographie de la relève des filets à la station de Galabert 1-2. 05/2019 ©C. Podda

La station Galabert et la station du Tampan

Les stations du Galabert et du Tampan se positionnent au niveau de l'ouvrage de connexion entre l'étang du Galabert et l'étang du Tampan. Pour la première année de suivi (octobre 2016-juin 2017), un filet DCE et un filet à civelles ont été positionnés avec leur ouverture en direction de l'Est (et donc du chemin de connexion depuis la mer *via* les EMSC, Figure 9). Lorsque les niveaux d'eau (trop faibles) n'ont pas permis la pose du filet DCE (Figure 10), le filet à civelles a été positionné sans la grille de 2 cm à son entrée et traité comme un filet DCE. Des paradières sont placées de chaque côté de ce filet à civelles afin de mieux barrer la connexion. La deuxième année de suivi, le filet DCE du Galabert a été définitivement ôté, en raison du manque d'eau fréquent, et le filet à civelles a été depuis traité en permanence comme un filet DCE.

Dans l'étang du Tampan, un autre filet à civelles est placé. Les civelles capturées dans ce filet peuvent théoriquement provenir de l'étang du Galabert, de l'étang des Batayolles, situé à l'Ouest de l'étang du Tampan, ou directement depuis la mer. En effet, en conditions dépressionnaires avec un fort vent de secteur Sud, les plages au Sud de l'étang du Tampan sont inondées et il peut y avoir plusieurs connexions plus directes avec la mer. Ces connexions intermittentes peuvent ainsi court-circuiter le cheminement *via* les EMSC. Afin de mieux comprendre les dynamiques de colonisation en provenance de la mer, le filet DCE disponible (celui initialement prévu pour le Galabert) a été placé dans l'étang du Tampan, un peu plus au Sud du point de connexion (Figure 11).

L'ouvrage du Galabert/Tampan est en permanence ouvert. En octobre 2017, aucun filet n'a été posé à cette station en raison de l'absence d'eau. En juin 2019, ont démarré les travaux pour l'installation d'un nouvel ouvrage de plus grande envergure (voir Annexe 2). De ce fait, la zone a été artificiellement asséchée et le suivi ichtyologique a dû être annulé pour le mois de juin 2019.

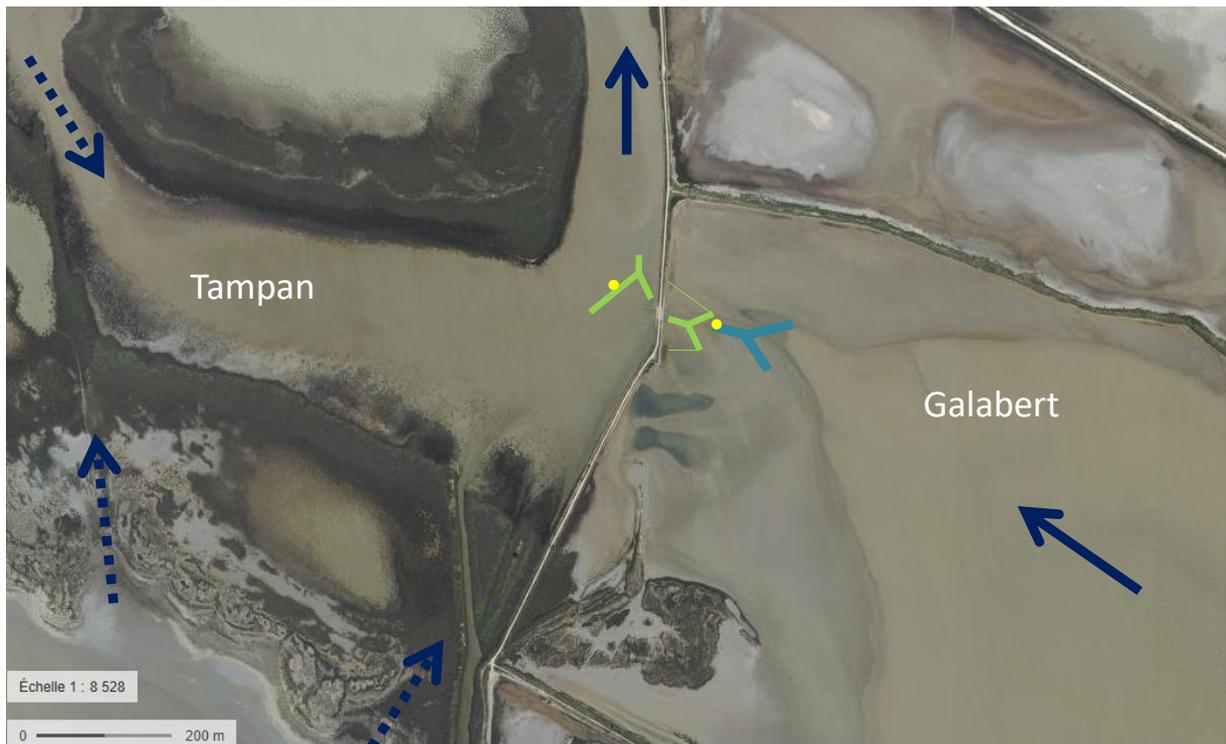


Figure 9 : Plan du dispositif de pêche à l'ouvrage de connexion entre les étangs du Galabert 2 et du Tampan pour le suivi d'octobre 2016 à Juin 2017. Les flèches bleues marines en trait continu indiquent le cheminement pour remonter le système en direction de l'étang du Vaccarès. Les flèches en trait discontinu illustrent les connexions possibles avec la mer en cas d'avis de grand frais de secteur Sud. Les points jaunes symbolisent le positionnement des sondes d'enregistrement des niveaux d'eau. Le filet DCE est schématisé en bleu clair et les filets à civelles en vert. Photo satellite de Géoportail © IGN 2017



Figure 10 : Photographie du filet DCE posé dans l'étang du Galabert, derrière l'infrastructure de la sonde mesurant le niveau d'eau et la température en continu. Le niveau d'eau permet alors tout juste la connexion du piège. 17/10/2016 © DNS

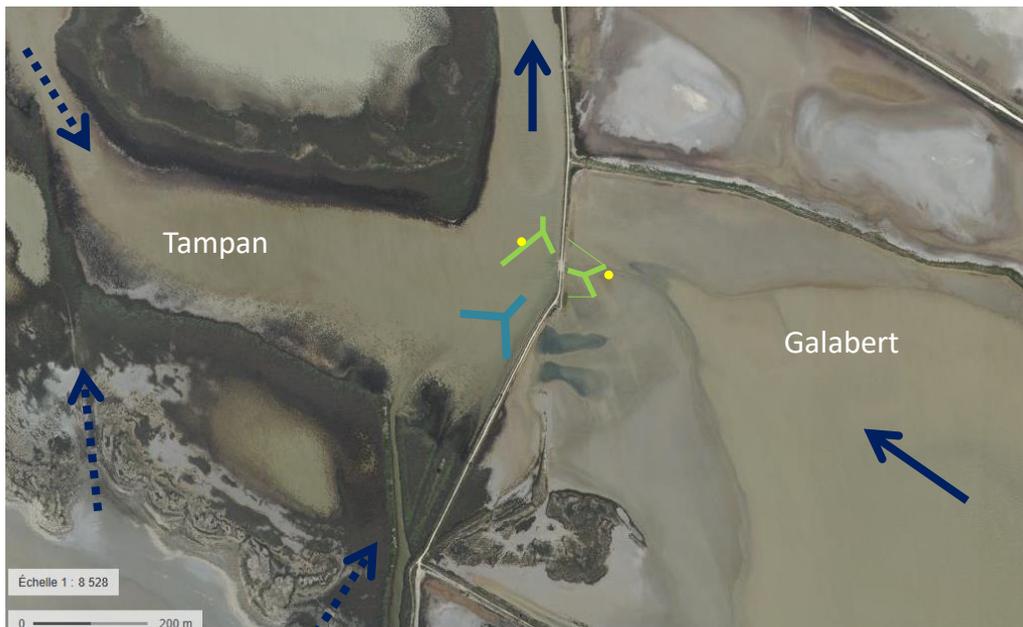


Figure 11 : Plan du dispositif de pêche à l'ouvrage de connexion entre les étangs du Galabert 2 et du Tampan pour le suivi d'octobre 2017 à Juin 2018. Les flèches bleues marines en trait continu indiquent le cheminement pour remonter le système en direction de l'étang du Vaccarès. Les flèches en trait discontinu illustrent les connexions possibles avec la mer en cas d'avis de grand frais de secteur Sud. Les points jaunes symbolisent le positionnement des sondes d'enregistrement des niveaux d'eau. Le filet DCE est schématisé en bleu clair et les filets à civelles en vert. Photo satellite de Géoportail © IGN 2017



Figure 12 : Photographie de la pose du filet à civelles à la station du Galabert. 06/02/2019©A.-S. Hervy



Figure 13 : Photographie du filet DCE posé dans l'étang du Tampan. 10/2018©DNS



Figure 14 : Photographie du filet à civelles posé dans l'étang du Tampan. 10/2018©DNS

Les stations du chenal de la Comtesse, du Versadou et de la Gaze du Marteau

La station du chenal de la Comtesse est la dernière station qui suit la remontée des espèces depuis la mer vers l'étang du Vaccarès. Un filet DCE et un filet à civelles sont positionnés avec l'ouverture en direction du Sud (et de la mer, Figure 15). Cette station est séparée de l'étang du Tampan par l'ouvrage de la Comtesse² qui reste normalement en permanence ouvert (au moins pour une de ses martelières).

La station du chenal de la Comtesse est également sous l'influence du canal du Versadou, un canal de drainage qui évacue des eaux douces à faiblement saumâtres issues de la partie ouest du sous-bassin versant du Japon. Ces eaux de drainage (auxquelles peuvent se mélanger des eaux d'irrigation – les deux réseaux n'étant pas bien séparés dans la partie aval du sous-bassin versant du Japon) sont relevées par la pompe du Pèbre pour être envoyées dans le canal du Versadou. L'embouchure de ce canal est barrée par une martelière dont l'ouverture est gérée par l'ASCO du Japon. Elle permet en quasi permanence le passage de poissons. Les eaux du canal peuvent percoler et ainsi alimenter l'étang des Enfores de la Vignolle (au Sud de canal du Versadou). Mais les eaux sont pour l'essentiel évacuées à l'embouchure du canal dans l'étang du Tampan et en fonction des courants, peuvent directement rejoindre le canal de la Comtesse. Potentiellement, les poissons qui remontent, et notamment les civelles, peuvent être attirés par les rejets d'eau douce du canal du

² L'ouvrage de la Comtesse sera réhabilité en 2019/2020.

Versadou. Afin de mieux évaluer la proportion d'alevins ou de civelles qui remontent dans le canal du Versadou, un filet à civelles est placé à son extrémité.

Dans le but d'étudier la dévalaison des poissons et des anguilles plus particulièrement, deux verveux DCE sont positionnés : l'un est placé à l'embouchure du canal de la Comtesse, ouvert en direction de l'étang du Vaccarès et de la Gaze du Marteau (station nommée Gaze du Marteau) ; l'autre est posé en travers du canal du Versadou, avec son ouverture en direction de l'amont. Le filet de la Gaze du marteau permet d'observer en quelle mesure les anguilles argentées du système du Vaccarès peuvent chercher à dévaler *via* les EMSC. Le filet placé dans le canal du Versadou permet d'avoir des premiers indices de sa production en anguilles argentées. Les données relatives à la dévalaison des anguilles ne sont pas présentées dans le présent rapport.



Figure 15 : Plan du dispositif de pêche sur le secteur de la Comtesse. Les flèches bleues marines en trait continu indiquent le cheminement pour remonter le système en direction de l'étang du Vaccarès. Les filets DCE sont schématisés en bleu clair et les filets à civelles en vert. Les points jaunes symbolisent le positionnement des sondes d'enregistrement des niveaux d'eau. Photo satellite de Géoportail © IGN 2017



Figure 16 : Photographie du dispositif de pêche dans le chenal de la Comtesse. 16/01/2018 ©DNS



Figure 17 : Photographie du filet DCE posé à l'extrémité du chenal de la Comtesse, station Gaze du marteau. 02/04/2019©L. Marre-Cast



Figure 18 : Photographie du dispositif de pêche dans le canal du Versadou. 13/12/2016 © DNS

Suivi des paramètres environnementaux

Données hydrologiques et physico-chimiques

La plupart des stations se trouvent à proximité d'ouvrages de connexion qui sont équipés, de part et d'autre, avec des sondes qui mesurent le niveau d'eau en continu, tous les quarts d'heure ou toutes les heures (Figure 19, ensemble des instruments présents dans les EMSC représentés en Annexe 3, Figure A3-55). A partir de ces mesures et de lois d'ouvrages hydrauliques, sont calculés le débit, la vitesse et le sens du courant, ainsi que la hauteur d'eau au sein de l'ouvrage tous les pas de temps. Seule une sonde sur les deux associées à un ouvrage est multiparamétrique et mesure également la température et la conductivité. Les mesures continues sont ramenées au pas de temps horaire, en effectuant au besoin une moyenne des valeurs disponibles.



Figure 19 : Photographie représentant la position des sondes de mesures de part et d'autre de l'ouvrage de connexion Galabert/Tampan, ici symbolisé par le rectangle en pointillés. Les sondes sont disposées à l'intérieur de tubes PVC solidement amarrés à des structures en bois. 21/10/2019 © DNS

Tous les jours de pêche scientifique, la température et la conductivité sont de plus manuellement relevées à chaque station d'échantillonnage. Ces données sont complétées par les relevés effectués en différents points du système par le PNRC, sur les EMSC, et la SNPN, sur la Réserve Naturelle Nationale de Camargue, une fois par mois.

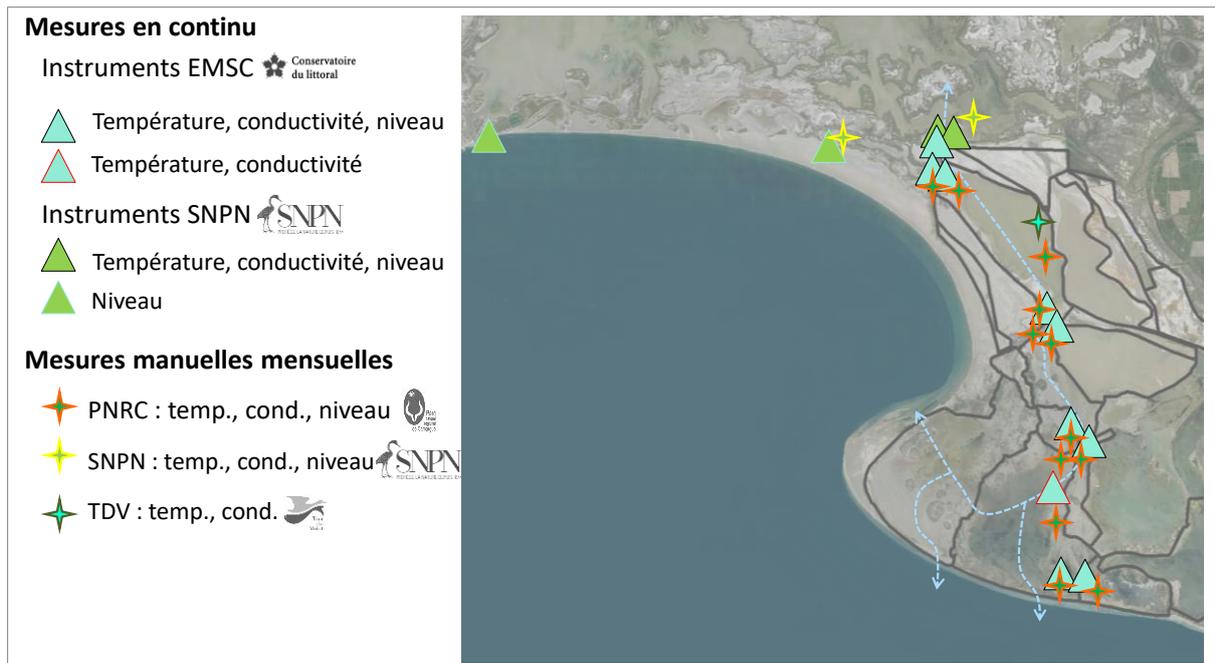


Figure 20 : Localisation et source des relevés de niveaux d'eau, de température et de conductivité mesurés en continu ou manuellement, qui sont considérés dans la présente étude.

Données météorologiques

La température de l'air et les précipitations sont relevées toutes les heures par la station météorologique de la Tour du Valat. La vitesse et la durée de vent par secteur pendant l'heure écoulée sont également fournies par heure. A partir de ces deux variables, la distance parcourue par secteur de vent et par heure est calculée :

$$\text{Distance (m)} = \text{Vitesse (m/s)} \times \text{Durée (s)}$$

Deux secteurs de vent qui ont une influence majeure sur le fonctionnement hydrodynamique du système sont en particulier considérés :

- le vent de secteur Nord (mistral) qui inclut tous les enregistrements de vent de secteur NE (45°) à NO (315°).
- le vent de secteur Sud qui inclut tous les enregistrements de vent de secteur SE (135°) à SO (225°).

La pression atmosphérique est relevée aux stations météorologiques d'Istres et de St Gilles toutes les 12h. Ces deux stations sont localisées à environ 26km de part et d'autre de la station de la Tour du Valat. Une valeur moyenne de ces deux relevés est calculée.

Préparation des variables environnementales

Les données environnementales, récupérées sous format excel, ont été traitées sous le logiciel R (R Development Core Team, 2005). L'ensemble des variables environnementales explorées et/ou utilisées dans cette étude sont présentées dans le Tableau 1.

A partir des données physico-chimiques et hydrologiques mesurées en continu, les valeurs des paramètres mesurés pendant une période donnée (par ex. chaque mois ou pendant le temps de pose des filets) sont moyennées par station. Pour limiter le manque de données, notamment

pendant les temps de pose de filets, de nouvelles variables sont construites : elles reprennent les données continues et sont complétées avec les relevés manuels effectués à chaque visite des filets. Si des données sont à nouveau manquantes, les mesures manuelles mensuelles disponibles au plus proche dans le temps et l'espace sont utilisées pour combler au mieux les manques.

De plus, lorsque les données mesurées en continu sont disponibles, les paramètres relatifs à l'hydrologie sont calculés sur une période cumulée de 24h, 48h, 72h, 96h et 120h avant la date de relèves de pêche pour tester d'éventuels effets à retardement.

Pour la vitesse du courant et le débit, les flux sortants (en direction de la mer) sont dissociés des flux entrants (de la mer vers l'intérieur des terres).

Tableau 1 : Liste des variables explicatives disponibles

Abréviation	Unités	Description
Variations interannuelles		
YearSurvey		Variable facteur: année d'échantillonnage (2016-2017; 2017-2018 ; 2018-2019)
Variations intra-annuelles		
Saison		Variable facteur: saison d'échantillonnage (automne; hiver; printemps)
Mois		Variable facteur: mois d'échantillonnage (10; 11; 12; 1; 2; 3; 4; 5; 6)
Spatialisation		
Station		Variable facteur: stations d'échantillonnage (Beauduc, Vaisseau, Galabert1-2, Galabert, Tampan, Comtesse, Versadou, Gaze du Marteau)
DistSea	km	Distance entre la station d'échantillonnage et la mer
DistSeaCM	km	Distance entre la station d'échantillonnage et la mer, en tenant compte des connexions intermittentes
Physico-chimie		
Temp	°C	Valeur moyenne de température de l'eau obtenue à partir des mesures réalisées en continu
Cond	mS/cm	Valeur moyenne de conductivité obtenue à partir des mesures réalisées en continu
Sal	g/L	Valeur moyenne de salinité obtenue à partir des mesures réalisées en continu
Temp_Man	°C	Valeur moyenne de température de l'eau obtenue à partir des mesures réalisées en continu et complétées par les relevés manuels
Temp_Man_Fac		Variable facteur: <=6°C: "below6"; >6 & <=12°C: "betw6and12"; >12:"Sup12"
Cond_Man	mS/cm	Valeur moyenne de conductivité obtenue à partir des mesures réalisées en continu et complétées par les relevés manuels
Sal_Man	g/L	Valeur moyenne de salinité obtenue à partir des mesures réalisées en continu et complétées par les relevés manuels
Sal_Man_Fac		Variable facteur: <=5 : "oligohalin"; >5 & <=18 : "mesohalin" ; >18 & <=35 : "polyhalin" ; >35 & <=45 : "mixohalin"; >45 : "hyperhalin".
Hydrologie		
Niv	mNGF	Valeur moyenne du niveau d'eau obtenue à partir des mesures réalisées en continu
Niv_Man	mNGF	Valeur moyenne du niveau d'eau obtenue à partir des mesures réalisées en continu et complétées par les relevés manuels
Niv_Man_Fac	mNGF	Variable facteur: <=10: "low"; >10 & <=40: "medium"; >40: "high"
Niv_Man_Fac2	mNGF	Variable facteur: <=10: "low"; >10 & <=30: "medium"; >30 & <=50: "high"; >50: "very high"

Vit_entr	m/s	Valeur moyenne de vitesse du courant entrant, du sens de la mer vers l'intérieur des terres, obtenues à partir des mesures réalisées en continu
Vit_sort	m/s	Valeur moyenne de la vitesse du courant sortant, en direction de la mer, obtenues à partir des mesures réalisées en continu
Deb_entr	m3/s	Valeur moyenne du débit entrant, du sens de la mer vers l'intérieur des terres, obtenues à partir des mesures réalisées en continu
Deb_sort	m3/s	Valeur moyenne du débit sortant, en direction de la mer, obtenues à partir des mesures réalisées en continu
Haut	m	Valeur moyenne de la hauteur d'eau au sein d'un ouvrage de connexion, calculé à partir d'une loi d'ouvrage spécifique, obtenues à partir des mesures réalisées en continu
CM		Variable caractérisant les entrées de mer intermittentes.
Météorologie		
Temp_Air	°C	Valeur moyenne de la température de l'air
Precip	mm	Somme cumulée des précipitations
Dist_S	m	Distance parcourue par le vent de secteur Sud pour une durée donnée
Dist_N	m	Distance parcourue par le vent de secteur Nord par une durée donnée
Patm	Pa	Valeur moyenne de la pression atmosphérique
Effet de la lune		
Moon		Phases lunaires: 0= nouvelle lune; $\pi/2$ = premier quartier; π = pleine lune ; $3\pi/2$ = dernier quartier.
Moon_Fac		Variable facteur: 0 - 0,785:"new" ; 0,785 - 2,355:"first" ; 2,355 -3,925:"full" ; 3,925-5,495:"last"
Moon_Sem		Variable semi-quantitative: "New"=0; "first" or "last"=0.5; "full"=1.

Caractérisation des entrées de mer intermittentes via l'étang des Batayolles

Les entrées de mer intermittentes qui s'opèrent *via* l'étang des Batayolles et puis l'étang du Tampan, court-circuitent le cheminement de connexion entre la mer et l'étang du Vaccarès *via* les EMSC (Figure 21).

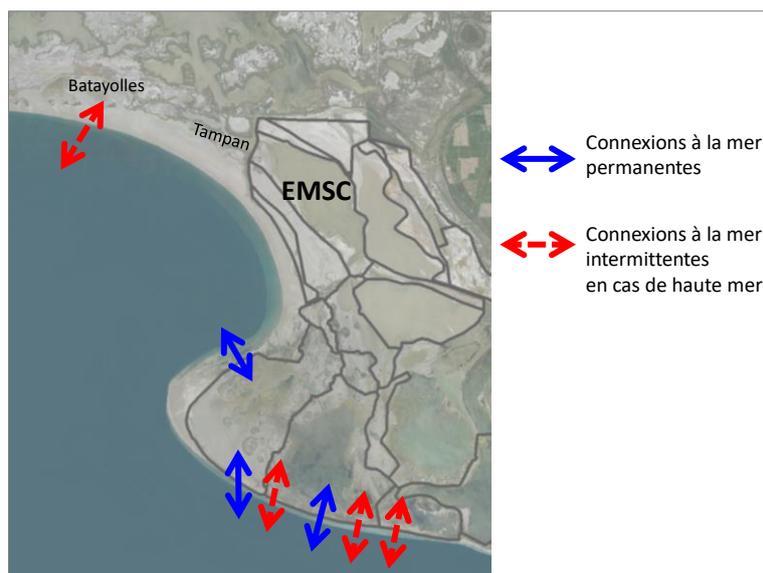


Figure 21 : Localisations des principales connexions à la mer permanentes et intermittentes en cas de haute mer.

Les « coups de mer » résultent le plus souvent d'une situation dépressionnaire (faible pression atmosphérique) associé à des vents de secteur Sud-Est à Sud-Ouest. Néanmoins, la prise en compte de la force et de la direction du vent ainsi que de la pression atmosphérique n'a pas permis d'identifier une règle simple (par exemple : $P_{atm} < 1030 \text{ Pa}$ et $Dist_S > 550 \text{ m}$) pour caractériser sans erreurs ces entrées de mer intermittentes. L'étude graphique des variations des niveaux d'eau mesurées en continu permet de visualiser clairement des hausses de niveaux soudaines dans l'étang du Tampan qui corroborent avec celles observées au niveau de la plage des douanes (Figure 22). Les séries temporelles de niveaux d'eau mesurées au pertuis de la Fourcade et au niveau de l'ouvrage de Beauduc-Ste Anne sont les séries de données les plus complètes. Cependant, l'utilisation de ces deux séries permet d'identifier davantage de connexions intermittentes qu'il en paraît au niveau de l'étang des Batayolles. Etant donné que la série de la plage des douanes est incomplète, la série de niveaux d'eau de l'étang du Tampan est utilisée. Le seuil de 0.55mNGF observé dans cet étang a été choisi comme proxy pour déterminer une entrée de mer intermittente *via* l'étang des Batayolles (Figure 22).

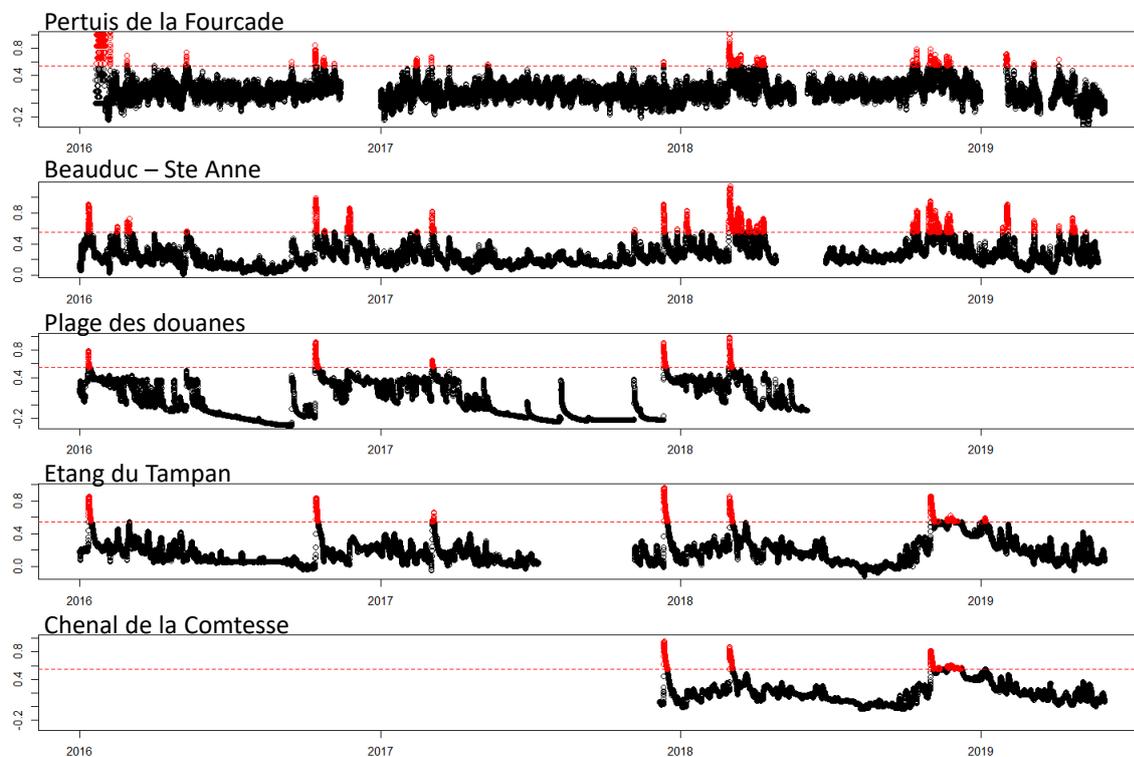


Figure 22 : Variations du niveau d'eau (mNGF) mesurées en continu en différents points du delta. Les niveaux supérieurs à 0.55mNGF sont indiqués en rouge. Source des données : SNPN/PNRC/TDV.

A partir des dates et heures où le niveau d'eau du Tampan dépasse le seuil de 0.55mNGF, la durée (h) et le niveau d'eau maximal (m) de chaque coup de mer ont été calculés. Ces deux variables sont positivement corrélées ($r_{\text{pears}}=0.88$, $p\text{-value}<0.05$). Afin de caractériser l'influence d'une entrée massive d'eau de mer sur les captures de pêche, une variable *CM* (Tableau 1) a été construite en se basant sur les postulats suivants :

- Les captures de pêche (relèves toutes les 24h) peuvent être influencées par un coup de mer jusqu'à 6 jours maximum après sa date de parution.
- L'influence d'un coup de mer sur les captures est plus forte le jour de parution et diminue de jour en jour.

- L'influence d'un coup de mer dépend de sa durée.
- Plusieurs coups de mer d'affilés peuvent davantage influencer les captures.

L'influence de chaque coup de mer sur une relève de pêche est calculée de la manière qui suit (Figure 23) : Si une relève a été réalisée pendant un coup de mer, la valeur correspondant à la durée de ce coup de mer multipliée par 5 lui est attribuée. Si une relève a été réalisée entre 0 et 24h après la date de fin d'un coup de mer, la durée multipliée par 4 lui est attribuée. Et ainsi de suite, jusqu'à la durée multipliée par 1 pour une relève réalisée entre 48 et 96h après un coup de mer et par 0.5 pour une relève réalisée jusqu'à 120h après. Si une relève est influencée par plusieurs coups de mer, les valeurs calculées pour les différents coups de mer sont additionnées.

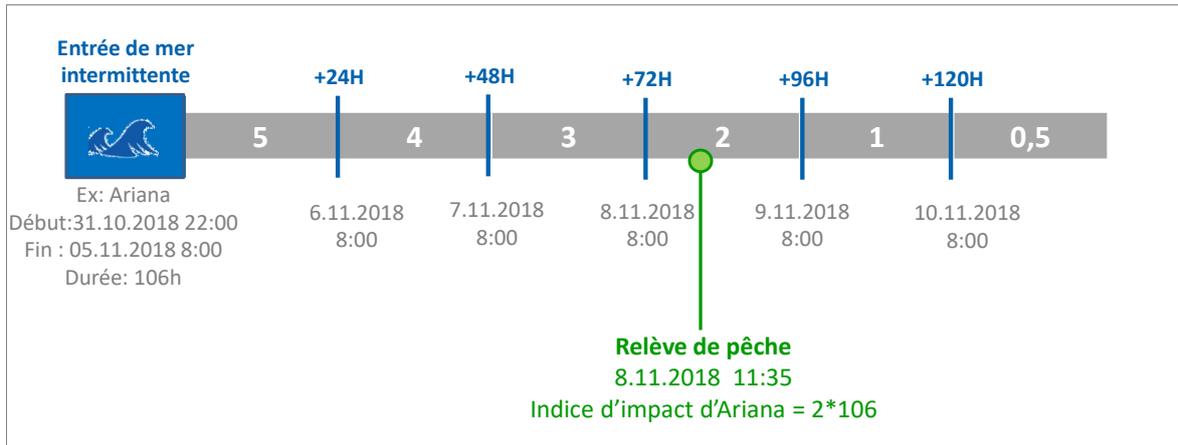


Figure 23 : Illustration explicative du calcul de la variable permettant de caractériser l'influence potentielle des entrées de mer intermittentes au niveau de l'étang des Batayolles

La distance à la mer de chacune des stations d'échantillonnage a été grossièrement mesurée sous *Google.Earth* en tenant compte uniquement des connexions permanentes au Sud des EMSC (variable *DistSea*, Tableau 1). Afin de tenir compte des entrées intermittentes, une nouvelle variable (*DistSeaCM*, Tableau 1) a été créée : Lorsque la variable *CM* est supérieure à zéro, les distances à la mer *via* la localisation des connexions intermittentes les plus proches sont attribuées aux stations d'échantillonnage.

Effet de la lune

Les phases lunaires ont été estimées à partir de la fonction *lunar.phase{lunar}* sous R. Deux facteurs sont construits de manière à caractériser, pour l'un, 4 phases de la lune (lune nouvelle, lune montante, pleine lune et lune descendante), et pour l'autre, 3 phases (lune nouvelle, quartiers de lune, pleine lune, Tableau 1).

Exploration et pré-sélection des variables explicatives

Une analyse exploratoire des variables environnementales est effectuée afin d'identifier les variables qui sont limitantes du fait du manque de données. Une analyse des corrélations est effectuée avec le coefficient de Pearson. Si deux variables sont corrélées ($r \geq |0.7|$), la plus pertinente d'un point de vue écologique est retenue. Des analyses en composantes principales normées sont appliquées afin d'explorer la structure des données.

Traitement des captures

Les captures sont traitées sur place afin de limiter la mortalité par pêche. Pour les filets DCE, les prises sont triées, identifiées jusqu'à l'espèce dans la mesure du possible, dénombrées, mesurées et pesées. Pour les filets à civelles, les prises sont traitées seulement en présence-absence, à part les captures d'intérêt telles que les civelles ou les alevins d'espèces marines migratrices qui sont également au moins identifiées, mesurées et dénombrées. Entre chaque jour de pêche, les captures sont relâchées à des sites spécifiques de manière à éviter la recapture de mêmes individus.

La taille correspond à la longueur à la fourche et est mesurée au millimètre près. Le poids est mesuré au 0,1 g près. Les mesures de taille et de poids individuelles sont relevées pour au moins 30 individus par taxon, et par classe de taille au besoin, une fois par station et par jour de pêche. Pour les petits individus (inférieurs à 100 mm), les mesures individuelles sont réalisées une seule fois par station et par semaine de suivi. Si les individus sont inférieurs à 30 mm, les poids deviennent trop imprécis et ne sont donc pas systématiquement pris. Tous les jours de relève, 30 mesures de taille par taxon (et par classe de taille au besoin) sont réalisées par station de pêche. En cas de grandes densités, 3 lots d'environ 30 individus sont dénombrés et pesés afin de calculer un poids individuel moyen. Le reste des individus est pesé et à partir du poids moyen, le nombre total d'individus capturé est estimé. À chaque fois, les mesures de taille ou les pesées de lots sont réalisées à partir d'un échantillon qui cherche à représenter au mieux le spectre de taille en présence.

En cas de fortes densités de petits individus (et de plusieurs espèces), un « scan » est réalisé sur l'ensemble des prises afin de vérifier qu'aucun signal intéressant a été manqué (capture d'un alevin d'origine marine par exemple) et de séparer les taxons les moins abondants. L'ensemble des prises « scannées » est ensuite pesé, puis seul un lot représentatif (une moitié, un quart, un tiers, etc. selon la densité) est à nouveau pesé puis traité comme précédemment expliqué. Un facteur multiplicatif est par la suite appliqué afin d'estimer les abondances et les poids totaux capturés.

Les captures non identifiées sont soit photographiées et remises à l'eau, soit, si les individus sont morts, conservés au frais pour être identifiés plus tard au laboratoire. Pour les juvéniles de muges et les gobies, des échantillons ont été prélevés les deux premières années d'échantillonnage tous les mois pour être génétiquement analysés à l'Institut des Sciences de l'Evolution de Montpellier (ISEM). Les résultats des analyses génétiques ne sont pas présentés dans ce rapport.

Traitement des anguilles

L'encadré n°1 rappelle le cycle de vie de l'anguille européenne et ses différents stades de vie rencontrés en milieu lagunaire. En fonction du stade de vie, différentes mesures sont effectuées.

ENCADRÉ n°1 : CYCLE DE VIE DE L'ANGUILLE EUROPÉENNE

Après avoir parcouru plus de 6000 km depuis la zone de reproduction dans l'océan Atlantique, l'anguille européenne, au stade civelle (Figure 24), remonte les réseaux hydrographiques continentaux à la recherche d'un territoire pour s'établir et y grandir plusieurs années. Une majorité d'individus opteront pour les systèmes les plus côtiers tels que les lagunes et les estuaires, mais l'anguille peut s'installer dans une grande diversité de milieux aquatiques (rivière, marais, canaux, lacs, etc.), et ce jusqu'à plus de 1000m d'altitude en cas d'absence d'obstacles à sa migration. Munies d'un odorat très sensible, les civelles sont attirées depuis la mer par les panaches fluviaux ou tous autres déversements d'eau douce. Les civelles fraîchement arrivées de la mer sont complètement

transparentes. Alors qu'elles commencent à se nourrir en milieu continental, elles se pigmentent plus ou moins rapidement en fonction de la température de l'eau, jusqu'à devenir anguilette.

Les anguillettes devenues anguilles jaunes restent grandir plusieurs années en milieu continental afin d'emmagasiner un maximum d'énergie pour repartir et aller se reproduire dans l'océan Atlantique. Lorsqu'elles sont prêtes, les anguilles jaunes se métamorphosent en anguilles argentées, le dernier stade qui annonce l'imminence de leur retour en mer. Dans le système du Vaccarès, cette période de croissance dure en moyenne 2 à 3 ans pour les mâles, avec des individus qui mesurent en moyenne 387 ± 30 mm pour une masse de 107 ± 29 g, et 4 à 5 ans pour les femelles, avec des individus de 618 ± 75 mm pour une masse de 504 ± 220 g en moyenne (Acou et al., 2003; Bevacqua et al., 2006).

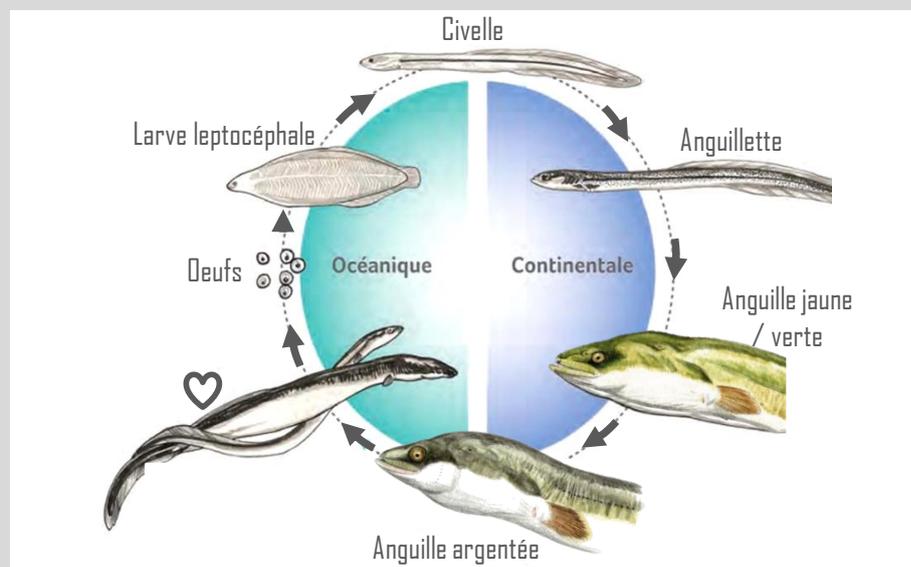


Figure 24 : Illustration du cycle de vie de l'anguille européenne. Source : Tour du Valat / Dessins : C. Girard

Stades de l'anguille européenne en milieu continental :

- **Civelle** : stade juvénile des anguilles non ou partiellement pigmentée
- **Anguilette** : stade juvénile des anguilles entièrement pigmenté et inférieur à 300mm
- **Anguille jaune ou verte** : individus supérieurs à 300 mm et non migrants. Le sexe des anguilles jaunes ne peut être déterminé avec certitude que par dissection.
- **Anguille argentée** : individus supérieurs à 300 mm et migrants.
 - ♂ Les anguilles argentées inférieures à 450 mm sont des mâles.
 - ♀ Les anguilles argentées supérieures à 550 mm sont des femelles.

Stade civelle

Par semaine de suivi, 50 civelles maximum par filet à civelles sont conservées vivantes au frais dans une glacière pour être ramenée au laboratoire et déterminer leur stade de pigmentation sous la loupe binoculaire. La vitesse de pigmentation dépend en partie de la température et de la salinité

du milieu (C. Briand et al., 2005; Cédric Briand et al., 2004). L'identification des stades pigmentaires est ainsi une donnée importante pour estimer l'âge pigmentaire des civelles, les conditions environnementales qu'elles ont rencontré et donc renseigner la dynamique du recrutement. La première année, ce travail a été réalisé par l'association MRM. A partir de la deuxième année, l'association MRM a formé le personnel de la Tour du Valat pour effectuer cette détermination. Chaque civelle est endormie avec une solution anesthésiante à base d'isoeugénol. Elle est mesurée au millimètre près et pesée à 0,001g près avec une balance de haute précision. Si les prises sont supérieures à 50 individus, 6 lots de 30 civelles sont pesées afin de calculer un poids moyen par civelle et d'en déduire le nombre total pour le reste globalement pesé.

Stades anguillote, jaune et argenté

Pour faciliter la manipulation des anguilles, les individus sont endormis avec un anesthésiant à l'eugénol. Après manipulation, ils sont placés dans un bac de réveil équipé d'un aérateur et sont relâchés une fois réveillés.

Au moins 30 individus inférieurs à 300 mm sont mesurés et pesés individuellement par jour de relève. Pour les individus supérieurs à 300 mm, les mesures permettant de calculer l'indice Eelrep (Beaulaton, L. & Pénil, C., 2009) sont prises : la longueur totale, les diamètres horizontaux et verticaux des deux yeux et la longueur de la nageoire pectorale. Le poids est également relevé. La présence de la ligne latérale et d'un fort contraste de couleur latéral, permettant de confirmer l'argenture d'un individu, sont notés. L'état sanitaire extérieur de chaque anguille argenté est renseigné (Pénil, C. et al., 2011).

En cas de captures très élevées d'anguilles, lors de pics de dévalaison notamment, les mesures sont relevées pour au moins 30 individus par classe de taille (300-350 mm, 350-400 mm, 400-450 mm, > 450mm). Les anguilles sont ensuite triées par classe de taille et pesées en sous-lots dénombrés.

Traitement des crustacés décapodes

Pour les crevettes grises (*Crangon crangon*) et les crabes, les mesures de taille et de poids sont également réalisées pour 30 individus une fois par station et par semaine de suivi, avec un minimum de 30 mesures de taille réalisées chaque jour. Chez les crevettes grises, la taille est mesurée de la pointe de la tête jusqu'à la pointe de la queue depuis janvier 2017. Les juvéniles de crevettes grises (≤ 25 mm de longueur) sont distingués des adultes et la proportion des crevettes grises grainées est notée. Chez les crabes, la largeur céphalothoracique est mesurée au niveau des épines latérales, et le sexe et la présence d'œufs sont à chaque fois relevés.

Les crevettes blanches, de la famille des Palaemonidés, sont identifiées jusqu'à l'espèce pour les 3 lots de 30 individus maximum. Sur chacun de ces lots, il est noté le nombre de crevettes blanches avec le rostre cassé, déformé ou atypique (nombre de pointes anormales) ou/et avec des œufs.

Caractérisation de la diversité taxinomique et fonctionnelle

La diversité taxinomique entre chaque station est comparée à partir du nombre de taxons observés globalement et par groupe fonctionnel relatif à leur cycle de vie (Tableau 2). Pour ces métriques de diversité, certains regroupements taxinomiques ont été réalisés afin d'éviter les biais liés aux erreurs d'identification. Les espèces de gobies *Pomatoschistus minutus*, *P. microps* et *P.*

marmoratus sont regroupés en « Gobiidés ». Seule l'analyse génétique permet de différencier les espèces *P. microps* et *P. marmoratus* (Berrebi et al., 2005). Les espèces de muges, *Chelon ramada*, *C. aurata*, *C. saliens* et *Mugil cephalus*, qui sont très compliquées à différencier au stade juvénile, sont regroupés en « Mugilidés ».

Tableau 2 : Définitions des groupes fonctionnels relatifs au cycle de vie des espèces utilisés. (Adapté de Elliott et al., 2007; Franco et al., 2008; Nicolas, 2010).

Abréviation	Description
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'éclosion 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>).

Calcul des métriques biologiques

Une fois stockées dans une base Access, les données de pêche sont analysées sous R.

Les taxons sont tout d'abord traités en termes de présence-absence par station d'échantillonnage et par jour de relève de filets. Les captures totales en termes d'abondance et de biomasse, par taxon et globalement, par filet et par jour de relève sont ramenées à 24h d'effort de pêche et sont dénommées CPUE et BPUE respectivement :

CPUE = Nombre total d'individus capturés*24h/Temps de pose du filet (h)

BPUE = Biomasse totale (g) * 24h/Temps de pose du filet (h)

La présence et les variations mensuelles des CPUE et BPUE, par taxon et globalement, sont étudiées à l'aide de boîtes à moustache (*boxplot*). Afin de diminuer l'influence des quelques captures extrêmes en termes de densité ou de biomasse, une log-transformation ($\text{Log}(x+1)$) est appliquée aux CPUE et aux BPUE. Une analyse des variances suivie d'un test de comparaison multiple par la méthode de Tukey *{package multcomp}* sont appliqués afin de tester la significativité des différences observées entre les stations (ou les mois). A l'année, ce sont les CPUE et les BPUE moyennées par mois qui sont représentées. Une analyse factorielle des correspondances (AFC) est appliquée aux captures exprimées en CPUE log-transformées et moyennées par mois afin de comparer la structuration des peuplements entre les stations.

Les spectres de taille par taxon peuvent être explorés graphiquement, à l'aide d'histogrammes ou de boxplots pour faciliter les comparaisons entre stations et mois. Les relations taille/poids sont vérifiées graphiquement, ce qui permet de corriger d'éventuels poids ou tailles anormaux.

L'index de condition de Fulton (K) peut être utilisé pour comparer la condition des individus entre les stations :

$$K = 1000 * \text{Poids individuel (mg)} / (\text{Longueur (mm)})^3$$

Evaluation du degré de connectivité hydrobiologique

Le degré de connectivité à l'intérieur des EMSC est évalué dans le temps et l'espace à partir des patrons de distribution de 3 taxons présélectionnés (l'athérine, la sole commune et l'anguille européenne) en termes de présence et d'abondance. Afin de valoriser les mesures en continues disponibles, une étude du franchissement est réalisée au niveau de trois ouvrages de connexion clés. Enfin, l'influence des facteurs environnementaux sur certains indices de pêche est testée à l'aide de modèles statistiques.

Description des 3 taxons ciblés

- L'athérine (*Atherina boyeri/lagunae*) est une espèce euryhaline qui peut réaliser l'ensemble de son cycle de vie à l'intérieur des lagunes. Cette espèce est classée espèce résidente, bien qu'elle soit en réalité semi-sédentaire, pouvant également s'aventurer en mer (Kara & Quignard, 2018) ou en milieu d'eau douce (Rosecchi & Crivelli, 1995). La classification taxinomique des athérines est encore aujourd'hui source de débats entre spécialistes et il est possible que les individus correspondent à une ou plusieurs espèce (voir encadré n°2, Kara & Quignard, 2018a; Louisy, 2005). Dans tous les cas, les athérines ont une grande plasticité adaptative leur permettant de survivre dans des milieux très instables. Elles sont notamment capables de supporter de grandes variations de salinité (de 0 à 70g/L). Dans le cadre de notre étude, cette espèce est considérée sentinelle vis-à-vis des conditions de fortes salinités qui peuvent être rencontrées dans les EMSC. L'athérine est une espèce pélagique, s'orientant à la vue et ayant donc un comportement essentiellement diurne. Le sens des courants semble peu déterminant pour les déplacements de cette espèce qui a une bonne capacité de nage (Bardin & Pont, 2002). L'athérine est considérée apte à se déplacer dans des courants ayant une vitesse allant jusqu'à 1.5m/s, sachant qu'elle peut chercher à exploiter les courants à proximité des berges qui sont plus faibles.
- Les juvéniles de l'année (*Young of the Year, YOY*) de sole commune (*Solea solea*), espèce migratrice d'origine marine, colonisent les habitats côtiers (dont les lagunes) à partir de

février-mars. Ces jeunes stades affectionnent particulièrement les fonds sablo-vaseux. La remontée dans le système de ces juvéniles peut être considérée comme un bon indicateur de connectivité hydroécologique. Seuls les individus de moins de 15 cm, considéré être arrivé dans le système entre février et juin, sont pris en compte dans nos analyses. Pour en savoir plus sur le cycle de vie de la sole commune, voir l'encadré n°3 ci-dessous. Les juvéniles de soles exploitent probablement le sens du courant (notamment en zone tidale) pour migrer en zone côtière et remonter les réseaux hydrographiques, en alternant transport passif, lorsque le courant est rentrant, et enfouissement dans le sable ou transport actif, lorsque le courant est sortant.

- Les civelles (*Anguilla anguilla*), juvéniles de l'anguille européenne, espèce migratrice amphihaline d'origine marine, remontent les habitats côtiers et continentaux surtout d'avril à octobre avec des pics de recrutement en février et mars. Tout comme les juvéniles de soles, les civelles sont surtout actives la nuit. Elles ne sont pas *a priori* attirées par les milieux hypersalins. Une surface juste humide (et faiblement inclinée) peut permettre leur passage. Les civelles cherchent en général à remonter le courant. Ayant une capacité de nage restreinte (0.5m.s-1), la progression des civelles est limitée par les forts courants (Elie & Rochard, 1994; Harrison et al., 2014). Plus d'informations sur le cycle de vie de l'anguille Européenne sont disponibles dans l'encadré n°1 et sur ses voies de recrutement dans le delta de Camargue dans l'encadré n°4.

Encadré n°2 : Le complexe *Atherina boyeri/lagunae* en Camargue

En Méditerranée, la présence de 4 espèces d'athérines est actuellement admise : *A. boyeri*, *A. punctata*, *A. lagunae*, *A. hepsetus*, et peut-être même *A. presbyter* (Kara & Quignard, 2018a). Les espèces *A. boyeri* et *A. punctata* sont considérées comme espèces marines et *A. lagunae* comme espèce lagunaire, bien qu'une population insulaire des îles Kerkennah en Tunisie se rapproche plus d'*A. lagunae* que des deux autres. Dans le cadre de notre étude, nous considérerons le cas de l'athérine comme le complexe *A. boyeri/lagunae*.

En Camargue, les athérines sont présentes toute l'année et se reproduisent de manière fragmentée (multiple) entre mars et juillet dans les eaux saumâtres de l'étang du Vaccarès ou entre avril et juin dans les eaux douces de canaux de drainage ou de marais temporaires (G. Poizat & Crivelli, 1997; Rosecchi & Crivelli, 1992, 1995). Pendant l'été la plupart des athérines quittent les milieux d'eau douce pour rejoindre l'étang du Vaccarès (Rosecchi & Crivelli, 1992). Les athérines mâles et femelles, matures dès la première année, vivent le plus souvent 2 années mais peuvent atteindre un âge maximal de 4 ans (Rosecchi & Crivelli, 1992).

ENCADRÉ n°3 : CYCLE DE VIE DE LA SOLE COMMUNE

La sole commune (*Solea solea*) est une espèce démersale côtière de fond sablo-vaseux, présente depuis le rivage jusqu'à 200 m de profondeur. Elle fréquente également les milieux saumâtres (estuaires, lagunes) et les juvéniles peuvent remonter jusqu'à la limite des eaux douces. Sa répartition dans le Golfe du Lion est certainement influencée par les apports rhodaniens, ses densités s'élevant à proximité de l'embouchure du fleuve (Gaertner et al., 1998; Sartor et al., 2002).

La sole commune se reproduit au large, entre décembre à mars dans le golfe du Lion, dans des zones de frayères (Figure 25). Les œufs pélagiques éclosent après 5 à 11 jours d'incubation en larves. Les larves pélagiques migrent de manière passive et active en direction de la côte. A proximité de la côte (au bout de 20 à 46 jours en Atlantique), les larves subissent une métamorphose et deviennent des alevins qui adoptent une vie benthique. Ces postlarves, inférieurs à 5 cm de longueur, colonisent les zones côtières de faibles profondeurs, les embouchures de fleuves et les lagunes côtières. Les juvéniles occupent ces nourriceries pendant toute la période estivale, jusqu'au mois d'août ou même jusqu'aux mois d'octobre-novembre avant de regagner la mer et les zones plus profondes. Les individus les plus grands migrent en premiers alors que les plus petits ne repartent qu'au moment des tempêtes automnales et/ou des premiers froids (Kara & Quignard, 2018b). Les juvéniles de l'année ont alors une taille d'environ 20 à 25 cm. Au bout de 3 à 5 ans, ils rejoignent le stock reproducteur.

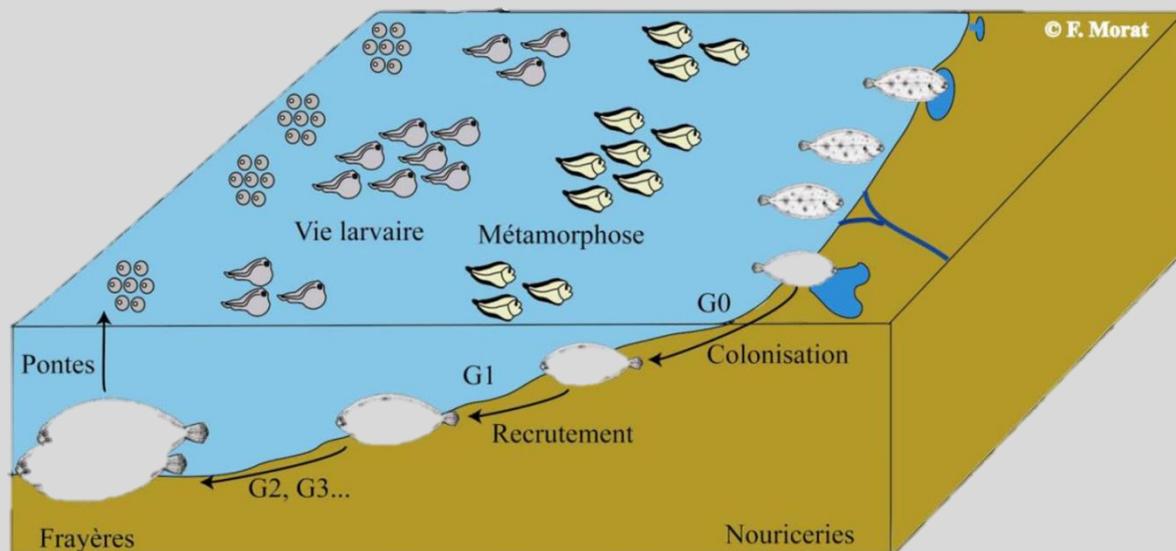


Figure 25 : Schéma illustrant le cycle de vie de la sole commune, *Solea solea*. (Morat, 2011a)

ENCADRÉ n°4 : Voies de migration de l'anguille européenne dans le delta de Camargue

Les civelles peuvent emprunter différentes voies de migration pour recruter dans l'hydrosystème du Vaccarès :

- à l'Ouest du delta au niveau de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer *via* le pertuis de la Fourcade, où le déversement des eaux de drainage et d'épuration de la station de l'éolienne crée un appel d'eau douce stimulant pour les civelles (A. J. Crivelli et al., 2008; Lefebvre et al., 2003). A cet endroit, une station piège à civelles est installée depuis 2004 afin de suivre d'octobre à avril le recrutement des civelles dans le système. Ce suivi est assuré par l'association MRM (Migrateurs Rhône-Méditerranée). Les résultats obtenus à cette station constituent un référentiel pour les captures réalisées dans les EMSC.

- Plus à l'Est du delta *via* les différentes brèches dans les digues du front de mer qui se créent désormais au gré des tempêtes et les connexions temporaires occasionnées lors des coups de mer. Les civelles qui pénètrent la partie du système à l'Est du grau de la Comtesse (une connexion à la mer

autrefois quasi permanente) peuvent chercher à rejoindre l'étang du Vaccarès en remontant les EMSC.

- D'autres voies de passage existent *via* les systèmes de pompage qui sont positionnés tout le long des deux bras endigués du Rhône (A. J. Crivelli & Poizat, 2001; G. Poizat et al., 1999).

La dévalaison des anguilles s'effectue pour la majorité des individus à l'automne, plus particulièrement lors des crues ou, en milieu lacustre ou lagunaire, lors d'épisodes météorologiques qui entraînent une augmentation des niveaux d'eau (Trancart et al., 2017). Pour les anguilles argentées du delta de Camargue, deux voies de sortie s'offrent à elles : *via* le pertuis de la Fourcade ou *via* le pertuis de la Comtesse et les EMSC.

Etude du franchissement de 3 ouvrages de connexion

Le franchissement d'un ouvrage pour un taxon donné est stipulé ici dépendre de la température de l'eau, de la salinité, de la hauteur d'eau au sein de l'ouvrage, de la vitesse et du sens du courant. Par taxon, des seuils pour chacun de ces paramètres sont déterminés en se basant sur les informations trouvées dans la littérature (Tableau 3). En fonction de la biologie du taxon considéré, différentes périodes de l'année et les heures de jour et/ou de nuit sont ciblées.

Notons que cette étude de franchissement est montrée à titre indicatif et reste tout à fait théorique. En effet, la vitesse de nage des individus est très dépendante de leur taille, mais peut également varier en fonction de la température et de la condition de l'individu. Les vitesses de courant utilisées dans cette approche représentent des valeurs moyennes pour la totalité de la colonne d'eau. Or, en fonction de la rugosité du substrat de fond et de la configuration des berges, les vitesses de courant au plus près des bords peuvent être fortement diminuées. Par conséquent, pour un fort courant donné, il est possible que certains individus continuent à se déplacer en exploitant les couches d'eau les plus limitrophes. Enfin, les seuils de tolérance utilisés pour les taxons qui ont été recherchés dans la littérature, en tentant de se rapprocher au mieux des stades de vie juvéniles, restent difficiles à trouver. Ce sont donc des approximations générales qui ont été le plus souvent appliquées, notamment pour les gammes de tolérance à la salinité et à la température, ainsi que pour la hauteur d'eau.

Tableau 3 : Seuils utilisés pour déterminer le franchissement des ouvrages pour les 3 taxons présélectionnés déterminés à partir des informations trouvées dans la littérature (Bardin & Pont, 2002; A. Crivelli, 2001; Kara & Quignard, 2018a).

	Athérines	Juvéniles de sole commune	Civelles
Salinité (g/L)	0-70	3-50	0-40
Température (°C)	5-30	5-30	5-30
Hauteur (cm)	2	2	0.1
Vitesse du courant sortant (m/s)	0-1.5	0-1.5	0-0.7
Vitesse du courant rentrant (m/s)	0-1.5	non limitant	non limitant
Jour/Nuit	Jour	Jour-Nuit	Nuit
Période de l'année	Toute l'année	Février - Juillet	Octobre - Avril

Le franchissement est caractérisé d'un point de vue théorique de janvier 2016 à Mai 2019 pour les 3 ouvrages de connexion suivants (Figure 26) :

- Le pertuis de la Comtesse (Comt), un ouvrage composé de plusieurs martelières ;

- l'ouvrage entre les étangs du Galabert et du Tampan (Ga-Tamp), constitué de deux buses accolées et d'une martelière ; et
- l'ouvrage entre les étangs du Vaisseau et du Pourtour du Rascaillan 2 (BDC-VSN-PRT2), qui correspond à une martelière.

Ces 3 ouvrages ont été sélectionnés car ils se situent sur la voie de cheminement entre la mer et l'étang du Vaccarès. De plus, tous les 3 sont équipés de sondes de mesures qui enregistrent en continu le niveau d'eau, la température et la salinité. A partir des variations de niveaux d'eau et d'une loi d'ouvrage, les débits, les vitesses de courant et la hauteur d'eau au sein de l'ouvrage peuvent être estimées (voir § Données hydrologiques et physico-chimiques).

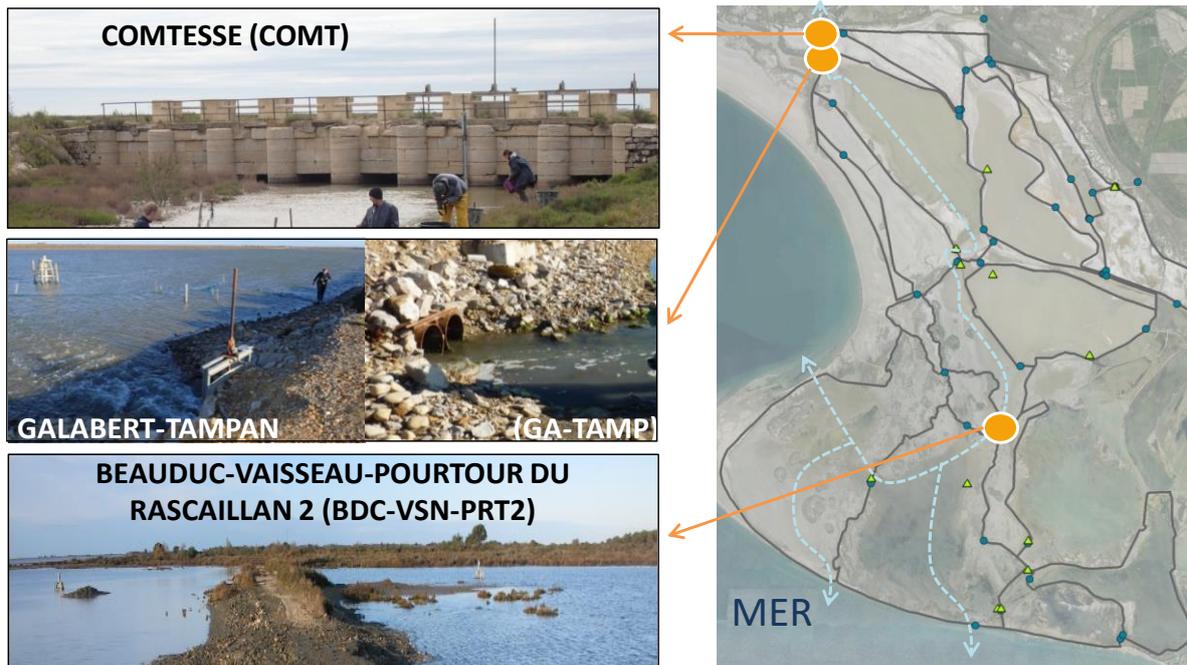


Figure 26 : Localisation et illustrations des 3 ouvrages de connexions pris en considération dans l'étude du franchissement. Photographies © DNS, G. Wasse.

Par pas de temps horaire, le franchissement d'un ouvrage pour un taxon donné est déterminé de la façon qui suit (Figure 27) :

- Le franchissement est estimé favorable lorsque tous les paramètres mesurés sont compris dans les intervalles de valeurs favorables à la survie et au déplacement des individus
- Si une condition n'est pas remplie, alors le franchissement est jugé impossible.
- Si une valeur est manquante, le franchissement reste indéterminé, puisqu'il ne peut pas être évalué.

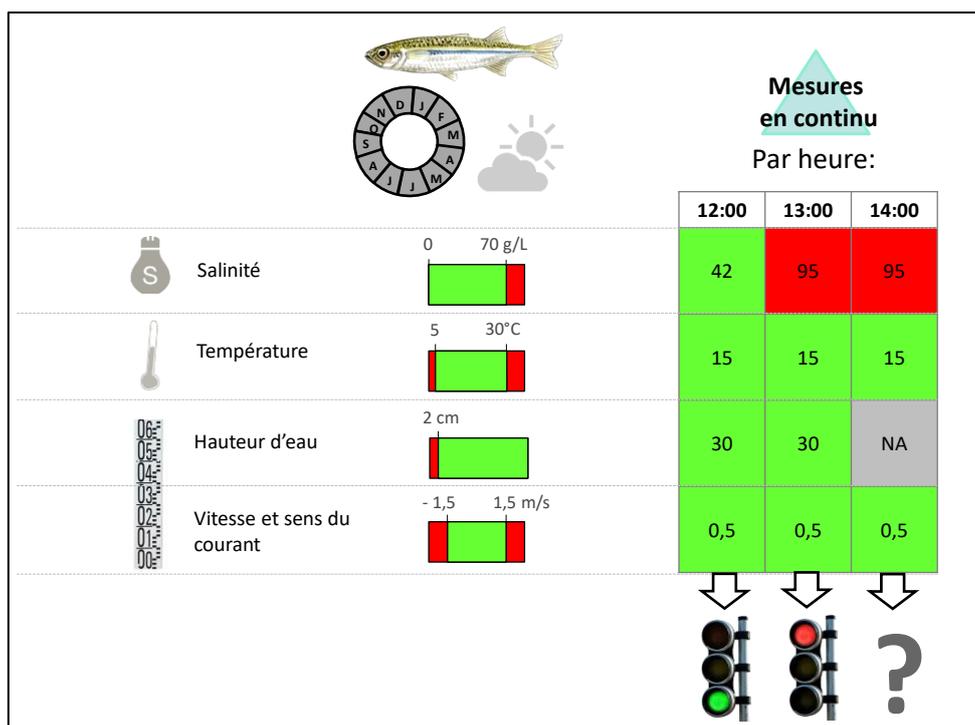


Figure 27 : Illustration explicative de la méthode de caractérisation pour le franchissement d'un ouvrage à partir de mesures hydrologiques et physico-chimiques continues. Ici l'exemple des athérines est utilisé.

Afin d'identifier les paramètres qui sont les plus limitants, la proportion relative du nombre de fois où un paramètre est favorable ou non au franchissement du taxon ciblé est calculé par mois, en tenant compte uniquement des périodes où l'ensemble des données sont disponibles. Lorsque la hauteur d'eau est nulle, une vérification des données est effectuée afin de savoir s'il s'agit d'une fermeture d'ouvrage ou d'un assèchement de la zone.

Test de l'influence de paramètres abiotiques sur la présence et l'abondance de taxons présélectionnés

L'influence de paramètres environnementaux sur les taxons présélectionnés, en termes de présence-absence et de densité, est testée à l'aide de modèles linéaires généralisés (*glm*) sous le logiciel R. Les variables dépendantes de présence-absence sont modélisées à l'aide de modèles binomiaux (avec une fonction lien de type logit). Des tests graphiques préliminaires sur la distribution des données de densités montrent que la loi Gamma, applicable qu'aux données positives, est la mieux adaptée pour modéliser les CPUE log-transformées ($\log(CPUE+1)$). Ainsi, les CPUE positives ($CPUE^+$), sans tenir compte des valeurs nulles, sont modélisées avec des modèles Gamma utilisant la fonction de lien Log.

Dans les modèles sont testés des variables relatives au protocole d'échantillonnage, telles que la station d'échantillonnage, le mois ou l'année de suivi, afin d'évaluer les variabilités spatiales et temporelles. Si d'autres variables relatives à la physico-chimie ou à l'hydrologie sont significatives et permettent d'expliquer, au moins en partie, ces mêmes variabilités spatiales et/ou temporelles, elles sont sélectionnées en priorité dans les modèles. Les modèles développés peuvent s'écrire ainsi :

$$\text{Indices biotiques} = X_1 + \dots + X_i + \dots + X_n$$

Où X_i correspond aux covariables ou facteurs abiotiques testés et sélectionnés.

Chaque descripteur est dans un premier temps testé individuellement dans les modèles. La meilleure combinaison de descripteurs proposée est sélectionnée à partir d'analyses de variance (test du Chi2 dans le cas des modèles binomiaux et test de Fisher dans le cas des modèles Gamma, au seuil de probabilité de 5%), du critère d'information d'Akaike (AIC), de la part de déviance expliquée, de la pertinence écologique et de l'analyse graphique des résidus. L'effet des variables explicatives continues sur les indices biotiques testés sont caractérisés à l'aide des coefficients de pente correspondants. Uniquement dans le cas des modèles des indices de CPUE+, la fonction *poly()* est appliquée aux variables continues afin de tester des relations non linéaires au deuxième degré. Dans le cas des variables facteurs, les modalités sont ordonnées en fonction de leur coefficient et les différences entre les modalités sont vérifiées à l'aide d'un test de *Student* (au seuil de 5%).

Résultats & Discussion

Variabilité interannuelle et saisonnière des conditions météorologiques

Les EMSC bénéficient d'un climat méditerranéen, avec une période estivale chaude et très sèche. Les autres saisons sont plus humides avec notamment des précipitations qui se concentrent pendant l'automne (Figure 28). De janvier 2016 à mai 2019, des contrastes forts s'observent notamment en termes de précipitations (Figure 29). Les années 2016, 2017 et 2019 ont été des années sèches, marquées par des précipitations très faibles. La répétition de ces années accentue les déficits hydriques.

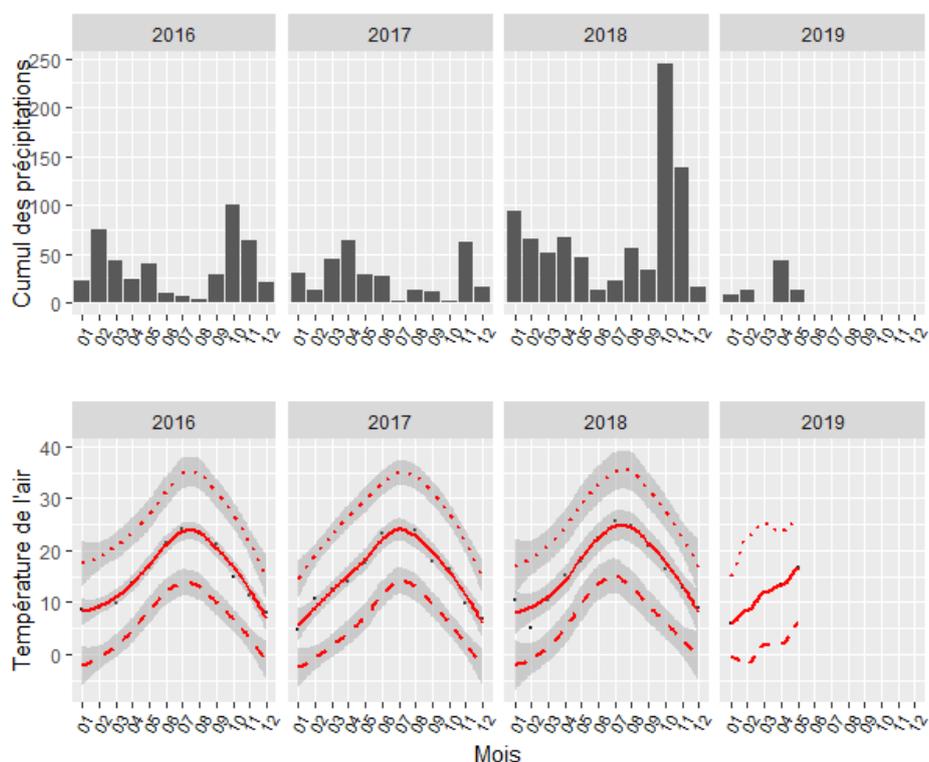


Figure 28 : Cumul des précipitations (mm), en haut, et température de l'air, en bas. En rouge, la ligne continue correspond à la moyenne mensuelle, en pointillés au maximum mensuel et en tirés au minimum. Source des données : station météorologique de la Tour du Valat.

Nous noterons en particulier que l'automne 2017 fut caractérisé par des températures fraîches et un déficit hydrique marqué par rapport aux automnes 2016 et 2018 (Figure 29). Les plus faibles températures observées pendant l'automne 2017 s'expliquent par un vent de mistral qui fut plus marqué que les autres années à cette saison (Annexe 4, Figure A4-56).

L'automne 2018 fut au contraire bien plus chaud et humide. Le début de l'année 2019 a été marqué par de faibles précipitations par rapport aux autres années.

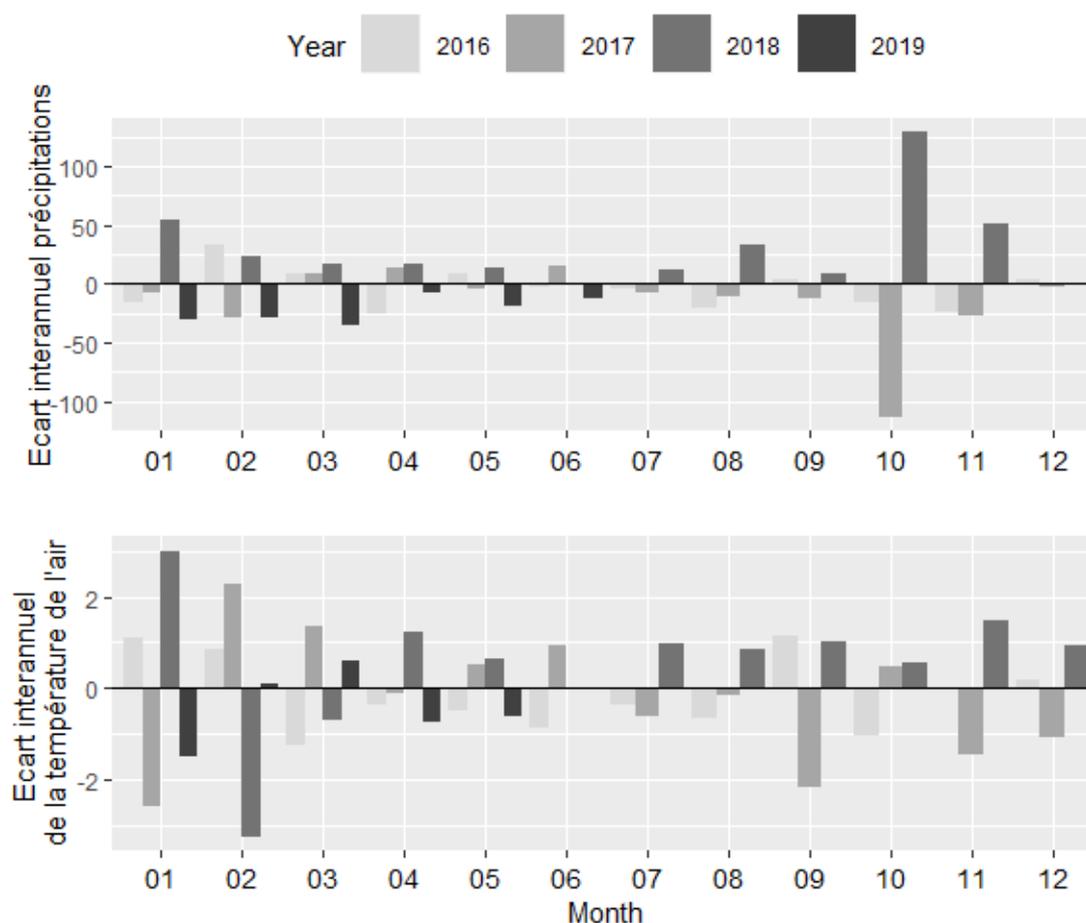


Figure 29 : Différences entre les moyennes mensuelles et les moyennes interannuelles par mois des précipitations cumulées, en haut, et de la température de l'air, en bas, pour la période de Janvier 2016 à Mai 2019.

Variabilité spatio-temporelle des conditions hydrologiques et physico-chimiques

Niveaux d'eau et salinité des étangs

Pendant la période estivale, les EMSC, qui sont peu profonds, sont soumis à un déficit hydrique marqué et présentent ainsi les plus faibles niveaux d'eau de l'année (Figure 30). Tandis que les étangs les plus au Sud (Beauduc, Ste Anne, Vaisseau) maintiennent un niveau d'eau respectable, du moins dans leurs chenaux, les étangs les plus au Nord (Galabert, Tampan, Dame) présentent des niveaux très faibles ou sont complètement asséchés. Le déficit hydrique de l'automne 2017 se ressent plus particulièrement aux étangs du Galabert et du Tampan. Lors des périodes de sécheresse, les étangs présentent également de fortes salinités, voire de l'hypersalinité, notamment au niveau de l'étang du Galabert (Figure 31).

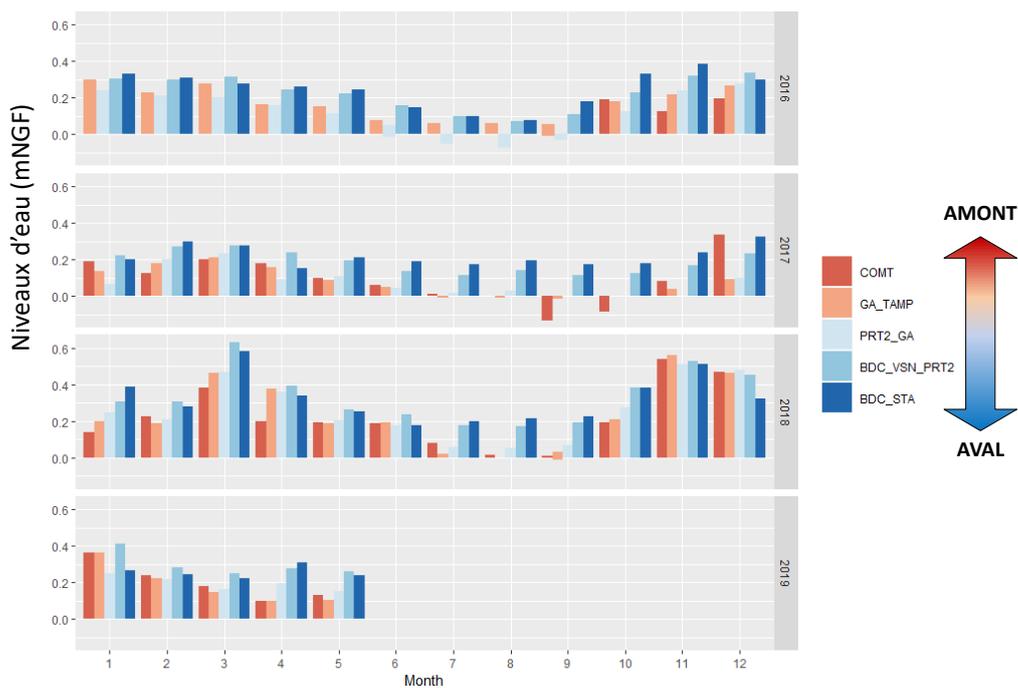


Figure 30 : Moyennes mensuelles des niveaux d'eau mesurés en continu ou manuellement en différents points du système. Les données pour l'ouvrage de la Comtesse sont disponibles qu'à partir d'Octobre 2016.

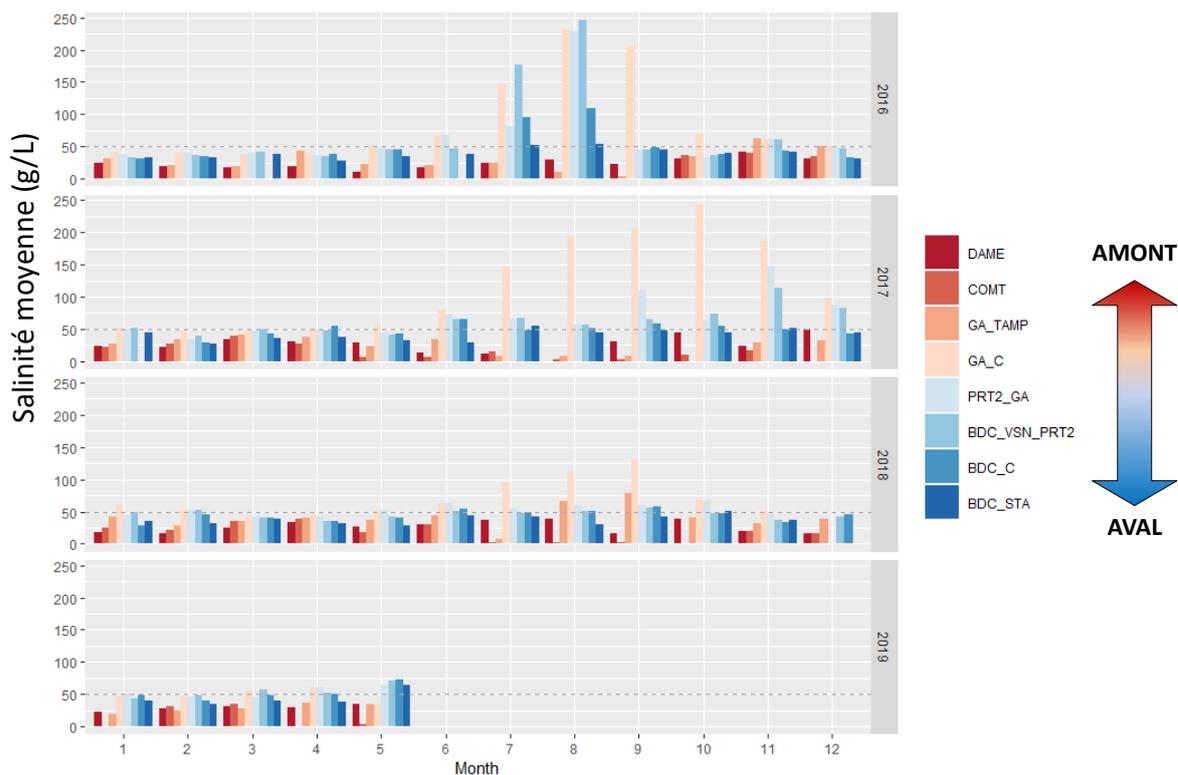


Figure 31 : Moyennes mensuelles des salinités mesurées en continu ou manuellement en différents points du système. Dame=étang de la Dame (RNNC/SNPN) ; COMT = chenal de la Comtesse ; GA_TAMP = connexion entre les étangs du Tampan et du Galabert 2 ; GA_C = Centre Nord de l'étang du Galabert 2 ; PRT2_GA = connexion entre le Pourtour du Rascaillan et l'étang du Galabert 2 ; BDC_VSN_PRT2 = Connexion entre les étangs de Beauduc, Vaisseau et Pourtour du Rascaillan ; BDC_C = Centre de l'étang de Beauduc ; BDC_STA = connexion entre les étangs de Beauduc et de Ste Anne.

Mesures continues sur les 3 ouvrages de connexion ciblés

L'analyse en composante principale réalisée ci-dessous considère uniquement les données mesurées en continu sur les 3 ouvrages de connexion présélectionnés, positionnés sur le chemin de connexion entre la mer et l'étang du Vaccarès *via* les EMSC (Figure 26 et Figure 32). Cette analyse met en évidence la hauteur d'eau et les échanges hydrologiques plus importants au niveau de l'ouvrage de la Comtesse qu'aux deux autres ouvrages. Le chenal de la Comtesse est plus profond (moins de 2m de hauteur d'eau) et en permanence en eau. Il s'agit de la porte d'entrée vers l'étang du Vaccarès au cœur de la réserve nationale de Camargue. Cette station, régulièrement influencée par les eaux saumâtres de l'étang du Vaccarès lorsque le courant est sortant, ou par les eaux douces du canal du Versadou lorsque le courant est entrant, présente des salinités plus faibles qu'aux deux autres ouvrages.

Au niveau de la connexion entre les étangs du Tampan et du Galabert, les hauteurs d'eau sont toujours parmi les plus faibles et les salinités les plus élevées, en comparaison avec les 2 autres ouvrages. Le flux y est majoritairement sortant, c'est-à-dire dans le sens Tampan à Galabert. Cet ouvrage correspond, durant la période de notre étude, à deux buses d'un diamètre d'environ 50 cm, ce qui tend ainsi à limiter les échanges.

La hauteur d'eau au niveau de l'ouvrage du Vaisseau-Pourtour du Rascaillan est également faible. Cette analyse suggère que les courants y sont également plus faibles qu'aux deux autres ouvrages. Cependant, l'analyse réalisée sur les données horaires met en évidence, au contraire, la fréquence de forts courants entrants ou sortants (Annexe 4, Figure A4-57). Les étangs à proximité de cette connexion ont de grandes surfaces. Sous l'influence du vent, de grands volumes d'eau sont mis en mouvement ce qui se traduit, au niveau des connexions étroites, par de très forts courants. Les reverses de courants peuvent être très fréquentes, et même avoir lieu plusieurs fois par heure. Ainsi, la moyenne des variables débits et vitesses ne rend pas compte de leur forte variabilité.

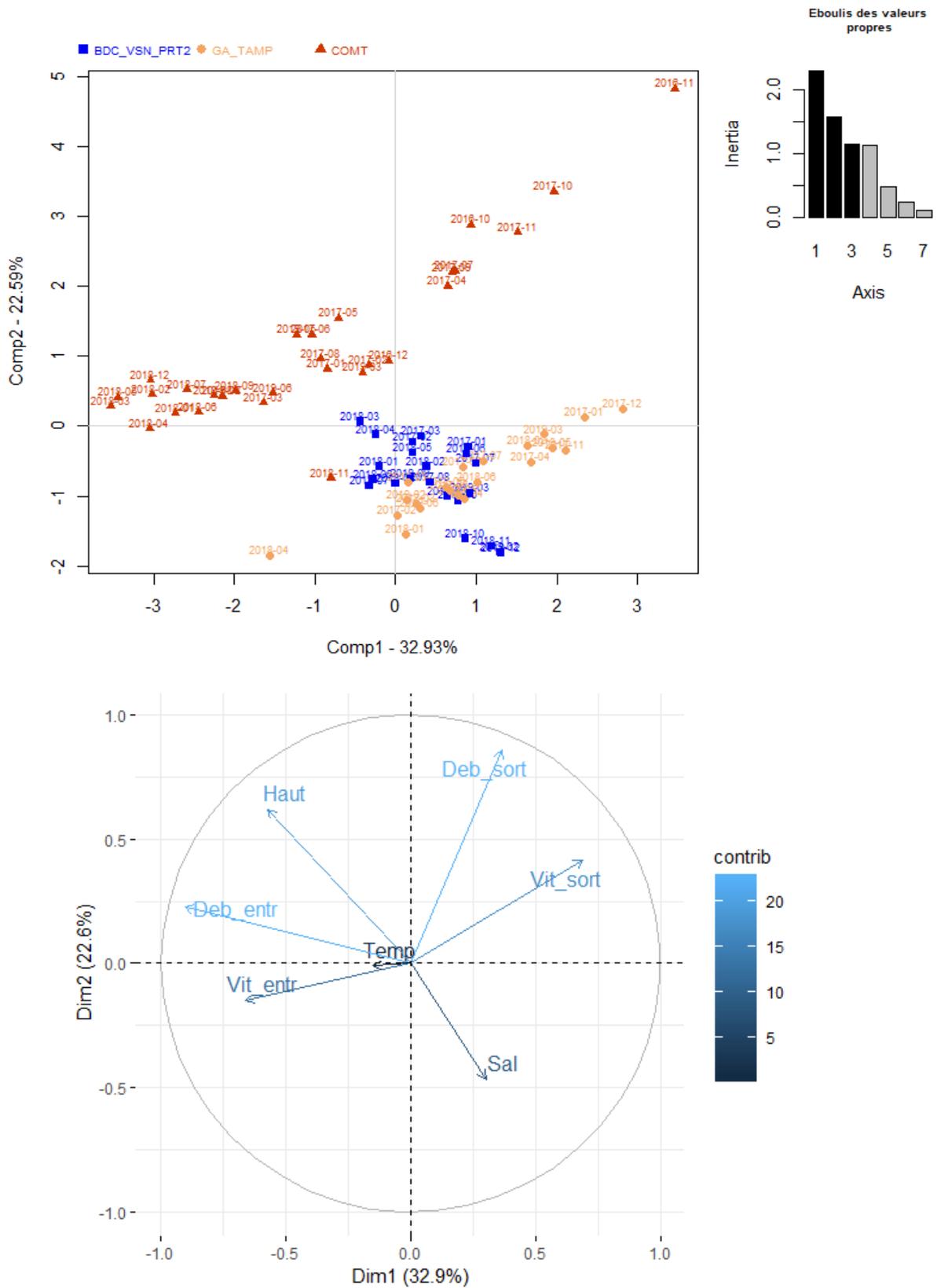


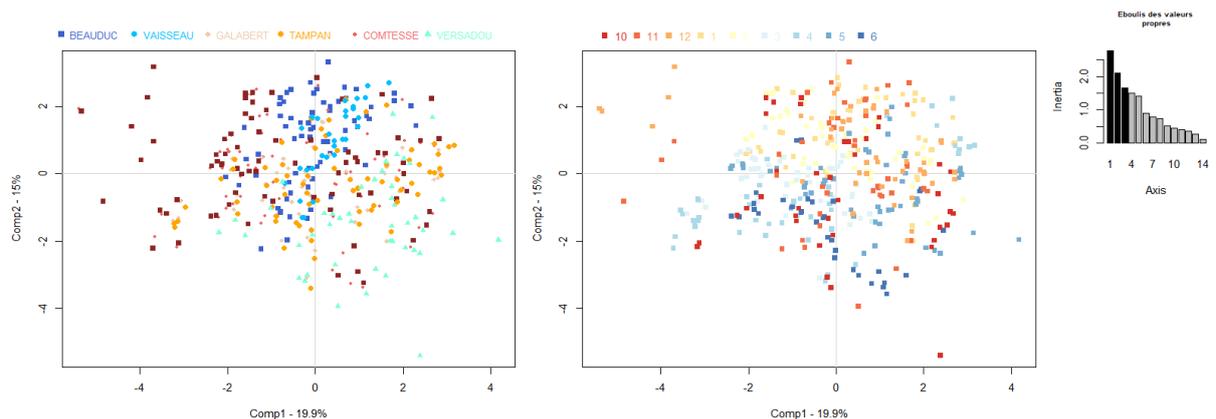
Figure 32 : Premier plan factoriel d'une ACP normée réalisées sur les moyennes mensuelles des variables hydrologiques et physico-chimiques mesurées en continu sur 3 ouvrages de connexion : Beauduc-Vaisselle-Pourtour du Rascaillan (BDC_VSN_PRT2), Galabert-Tampan (GA_TAMP) et Comtesse (COMT). En haut, plan des individus (Site_Année_Mois), en haut à droite, éboulis des valeurs propres, en bas, cercle de corrélations des variables.

Exploration des variables explicatives abiotiques continues

Les variables environnementales permettant de caractériser les conditions abiotiques pendant les heures de pose des filets sont ici explorées. Au total, 500 jours-stations d'échantillonnage valides sont considérées. Les variables utilisées pour caractériser la physico-chimie de l'eau sont basées sur les mesures continues complétées par les données manuelles afin de limiter le manque de données. La prise en compte des données hydrologiques (vitesse du courant, débit et hauteur d'eau) conduit à éliminer 90 jours-stations d'échantillonnage, dont la totalité des jours de pêche réalisée à la station du Galabert 1-2, qui n'est pas équipée de sondes de chaque côté de l'ouvrage.

L'analyse des corrélations a conduit à pré-sélectionner 14 variables continues ou semi-quantitatives qui ne sont pas ou peu corrélées (voir en Annexe 4, Figure A4-58 à Figure A4-60). La température de l'air qui est largement positivement corrélée avec la température de l'eau ($r=0.90$, $p<0.001$) a été éliminée. Les deux variables de spatialisation sont également très corrélées ($r=0.84$, $p<0.001$) et la distance à la mer tenant compte des connexions intermittentes à la mer a été préférée à celle considérant uniquement les connexions permanentes. Notons, qu'en moindre mesure, les variables débit et vitesse rentrants sont positivement corrélées ($r=0.63$, $p<0.05$), tout comme la hauteur d'eau au sein des ouvrages avec le débit rentrant ($r=0.53$, $p<0.001$), tandis que la distance à la mer tenant compte des connexions intermittentes est négativement liée au niveau d'eau ($r=-0.55$, $p<0.001$).

L'ACP réalisée sur les 14 variables retenues révèle une structuration peu marquée des données (Figure 33). Le long du premier axe principal (20% d'inertie totale expliquée) s'exprime une structuration en fonction de la station d'échantillonnage, qui dépend essentiellement de la force et du sens du courant. Le long du deuxième axe (15% d'inertie expliquée), un effet saisonnier se dénote avec des eaux globalement plus fraîches et salées pendant les mois d'hiver, lorsque le vent du Nord souffle généralement le plus. La station du Versadou est le plus souvent associée aux salinités les plus faibles, à l'opposé de la station du Vaisseau.



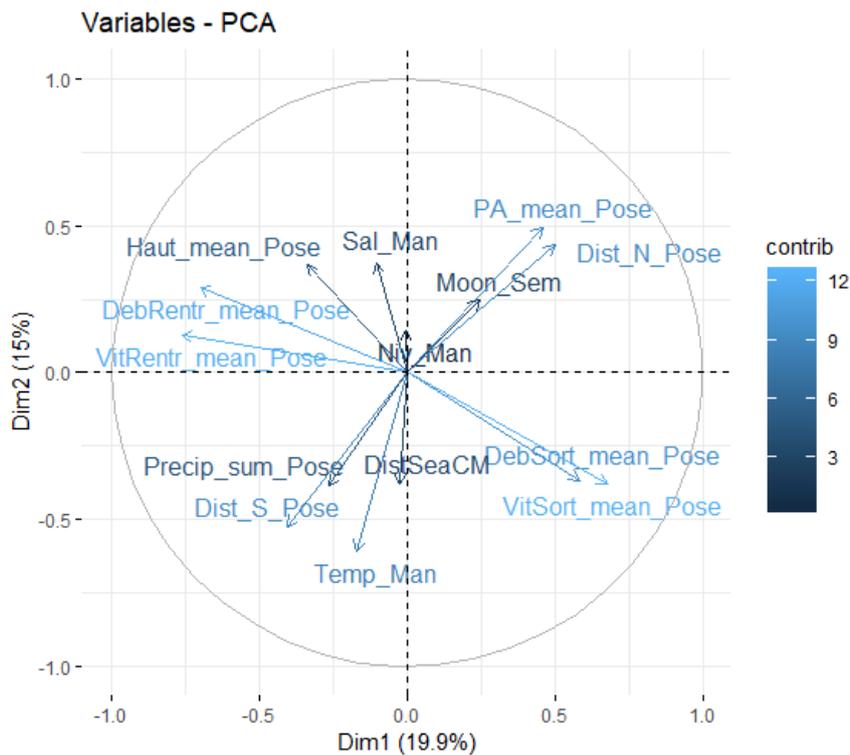


Figure 33 : Premier plan factoriel d'une ACP normée réalisées sur les moyennes mensuelles des variables météorologiques, hydrologiques et physico-chimiques associées au temps de pose des filets, par station d'échantillonnage. En Haut à droite, les individus sont colorés en fonction de la station, en haut au milieu, en fonction du mois. En haut à gauche, l'éboullis des valeurs propres est représenté et en bas, le cercle de corrélations des variables intégrées dans l'analyse.

Effort de pêche

Au total, 886 relèves sur les 1010 théoriquement prévues sont valides, soit un taux de 87.7% de validité (Figure 34). Les relèves invalides correspondent à des filets décalés ou torsadés en raison de forts courants, d'un manque d'eau empêchant le filet de pêcher correctement ou d'une inaccessibilité à la station d'échantillonnage. Les filets non posés en raison d'un manque d'eau ne sont pas pris ici en considération dans le calcul. La station la plus problématique fut la station du Vaisseau, avec un taux de validité de seulement 53.9% d'octobre 2016 à février 2018. Plusieurs épisodes de pluie (janvier et décembre 2017, et mars à juin 2018) ont rendu impraticables la digue d'accès au site d'échantillonnage. De plus, de forts courants y ont fréquemment empêché la pose ou le maintien des filets. À partir d'avril 2018, cette station a été abandonnée au profit de la station Galabert 1-2. À cette station, la pose des filets a également été très compliquée en raison des forts courants rencontrés mais fut par tous temps accessible, d'où un taux de validité globalement meilleur (84%). Malgré les courants parfois très élevés, les filets des stations du chenal de la Comtesse et de la Gaze du Marteau ont très bien tenu avec un taux de validité de 92 et 99 %, respectivement. La station du Versadou, plus abritée, n'a rencontré aucuns soucis majeurs (100% de validité, hormis un trou réalisé par un ragondin).

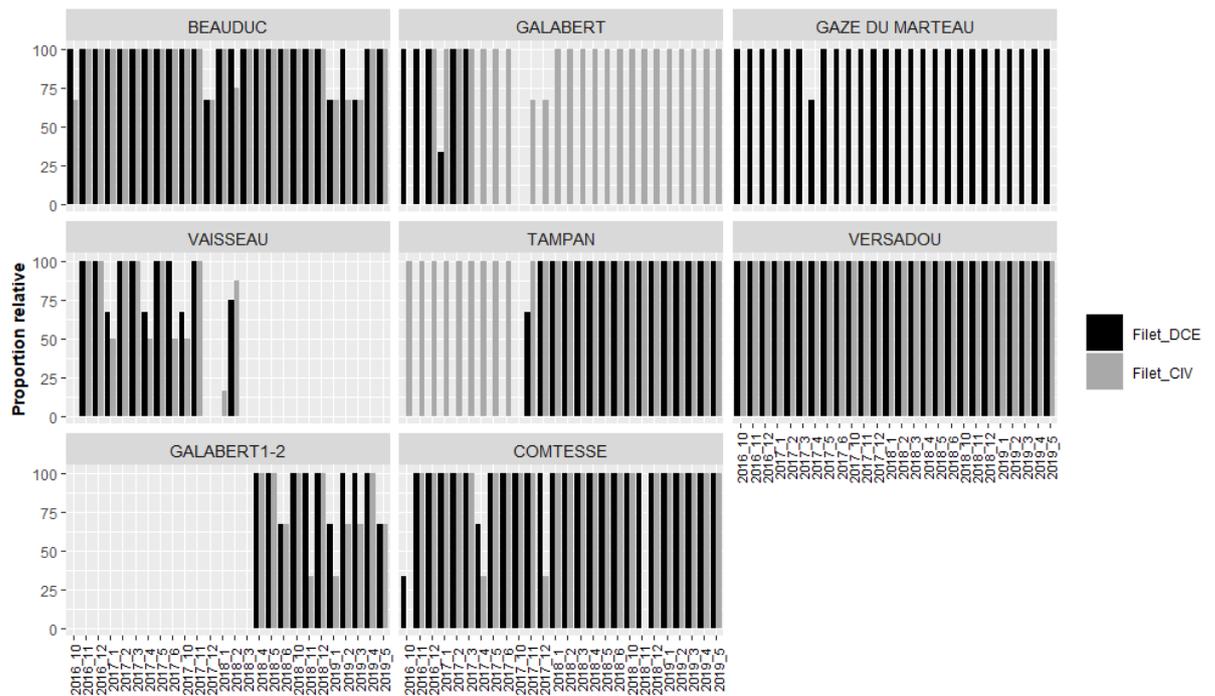


Figure 34 : Pourcentage de relèves valides par rapport au nombre de relèves prévues initialement, par station d'échantillonnage et par année de suivi.

Comparaison en termes d'abondance du peuplement piscicole et du peuplement carcinologique

Globalement, la station du chenal de la Comtesse présente chaque année de suivi les densités moyennes de poissons et de crustacés décapodes les plus élevées (Figure 35). La profondeur de ce chenal, sa mise en eau permanente et ses courants contribuent certainement à cette plus grande attractivité pour la macrofaune aquatique.

Les écarts entre densités moyennes de poissons et de crustacés par année de suivi sont souvent faibles voire non significatifs pour les stations du Tampan, du chenal de la Comtesse et de la Gaze du Marteau. Dans le canal du Versadou, les crustacés décapodes dominent le plus souvent significativement le peuplement.

Aux stations du Galabert et du Galabert 1-2, globalement les densités moyennes des poissons et des crustacés sont les plus faibles et les variances les plus élevées sont obtenues. La dernière année de suivi 2018-2019 fut en moyenne l'année la plus dense pour ces deux stations. A la station du Vaisseau, les poissons sont en moyenne plus abondants que les crustacés. A noter que pour cette station, les résultats présentés en 2017-2018 correspondent à seulement 3 campagnes de pêche (Figure 35).

A la station de Beauduc, les poissons sont en moyenne plus abondants que les crustacés les deux premières années de suivis. Pour la dernière année de suivi (2018-2019), la densité moyenne de crustacés décapodes est équivalente à celles des poissons.

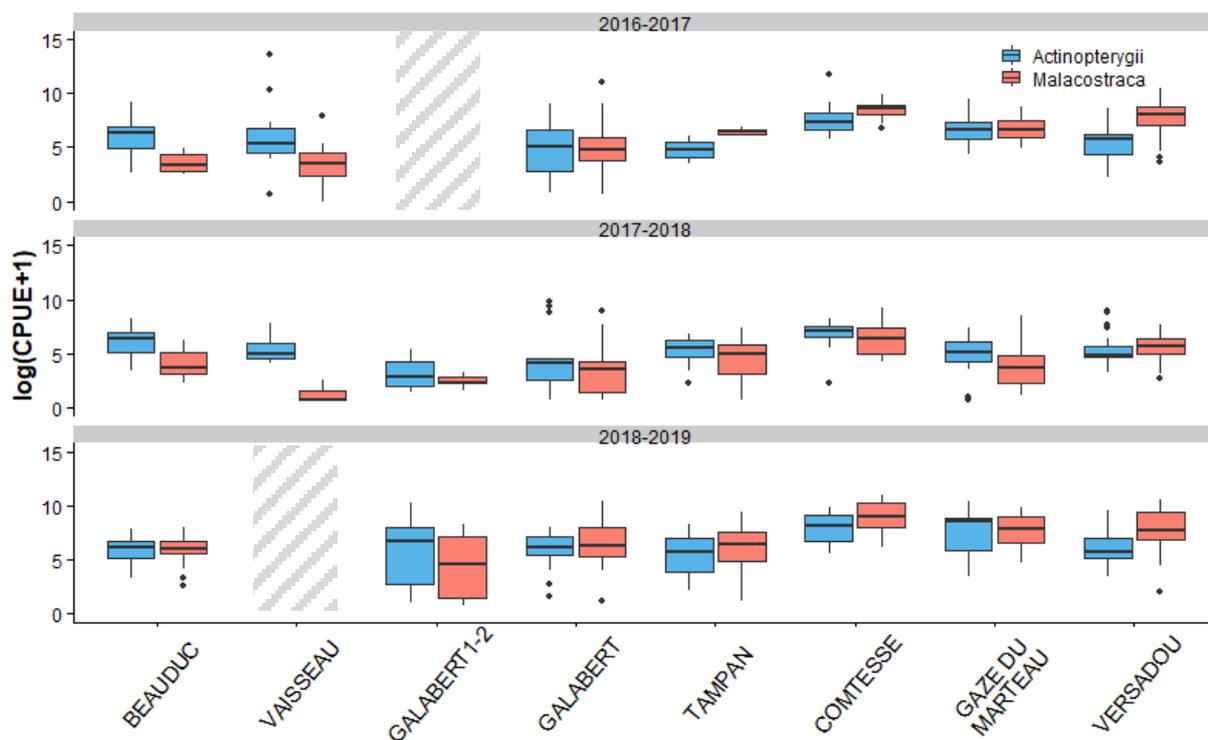


Figure 35 : Moyennes mensuelles des densités (CPUE) standardisées par l'effort de pêche et log-transformées par station d'échantillonnage pour l'ensemble du suivi 2016-2017. Les poissons (classe des Actinoptérygiens, en bleu) sont dissociés des décapodes crustacés (classe des Malacostracés, en rouge). La station du Tampion est représentée à titre indicatif, pour l'année 2016-2017 car seules les captures du mois de mars 2017 y ont été traitées en totalité. De même, pour la station du Vaisseau, l'année 2017-2018 correspond seulement à 3 campagnes de pêche (octobre et novembre 2017 et février 2018).

Diversités spécifique et fonctionnelle

La liste des taxons observés par station est indiquée en Annexe 5 (Tableau A5-10). Globalement, une structuration du peuplement piscicole en fonction d'un gradient de salinité s'établit entre l'aval, la station de Beauduc au plus près du front de mer, et l'amont, le canal du Versadou régulièrement alimenté en eau douce ou faiblement saumâtre en provenance du Rhône (Figure 36).

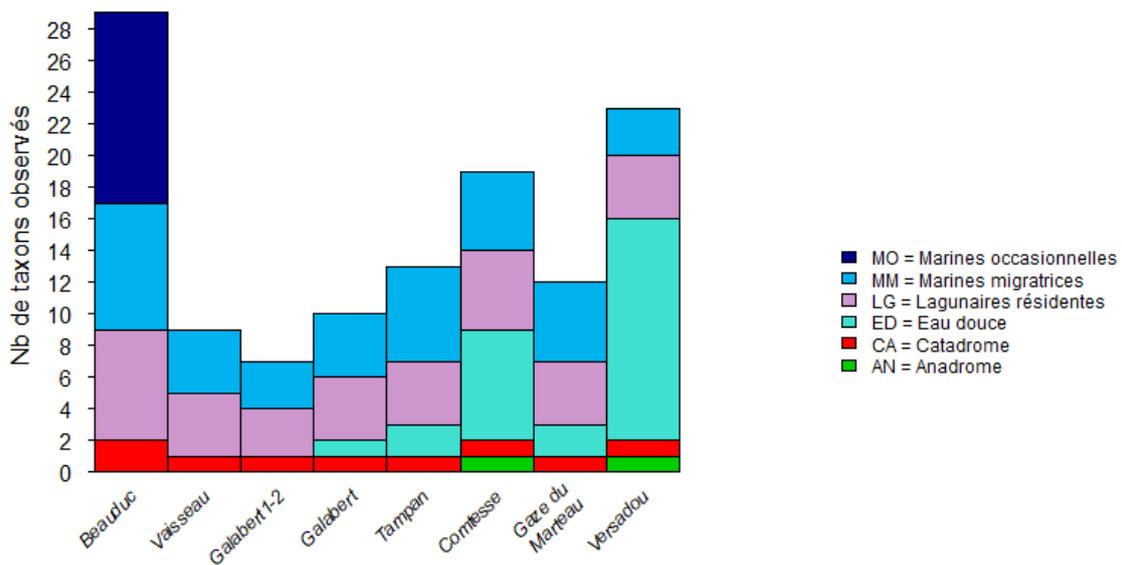


Figure 36 : Nombre global de taxons piscicoles observés par station pendant les trois années de suivi d’octobre à Mai et par groupe fonctionnel relatif au cycle de vie. Seules les captures des filets traités en entier (filet DCE) sont ici considérées. Les espèces de Mugilidés et de Gobiidés ont été regroupés au niveau de la famille afin d’éviter les biais potentiels liés aux erreurs d’identification.

La station de Beauduc est la station la plus diversifiée avec notamment la capture de 13 espèces marines occasionnelles. Ces captures sont influencées par la proximité du front de mer et de sa digue qui s’efface et favorise de plus en plus, au gré des tempêtes, l’entrée d’individus d’origine marine. Toutefois, ces espèces, non dépendantes des systèmes côtiers et non adaptées aux fortes variations de salinité, n’y sont observées que de manière très sporadique (Figure 38 et Figure 39).

A l’opposé, 16 espèces d’eau douce ont été identifiées dans le canal du Versadou, où elles dominent le peuplement en termes d’abondance (Figure 36 et Figure 38), surtout à l’automne (Figure 39). Le peuplement de ce canal est très dépendant du pompage des eaux de drainage et de la connexion avec l’ouvrage de la Comtesse. En juin, la capture de quelques jeunes individus d’alose feinte du Rhône, une espèce amphihaline anadrome qui se reproduit en amont du Rhône, suggère l’existence de connexions hydrobiologiques depuis le Rhône *via* le réseau d’irrigation et de drainage (réseaux mal séparés dans la partie aval du sous-bassin versant du Japon) jusque dans le canal du Versadou.

Eloignées du front de mer et non influencées par le canal du Versadou, les stations du Vaisseau et du Galabert 1-2 sont les stations les moins diversifiées. A noter que ce sont également les deux stations qui ont été le moins échantillonnées (Figure 34). Toutefois, comme à toutes les autres stations, les groupes fonctionnels adaptés aux milieux fluctuants y sont retrouvés : les espèces catadromes, les espèces lagunaires et les espèces marines migratrices.

Le plus grand nombre d’espèces lagunaires a été observé à la station de Beauduc, avec deux espèces qui y ont été uniquement observées : le gobie noir (*Gobius niger*) et le gobie paganelle (*Gobius paganellus*). A toutes les stations, ont été observées l’athérine (*Atherina boyeri*), le gobie buhotte (*Pomatoschistus microps*), le gobie tacheté (*P. minutus*) et le syngnathe des lagunes (*Syngnathus abaster*). L’épinoche à 3 épines a été également observé partout, sauf à la station du Galabert 1-2. En termes de densités, les espèces lagunaires sont les mieux représentées à toutes les stations, sauf à la station du canal du Versadou (Figure 38).

C'est à la station de Beauduc que les espèces marines migratrices sont les plus diversifiées, avec notamment quelques juvéniles de sar commun (*Diplodus sargus*), de saupe (*Sarpa salpa*) et de barbue (*Scophthalmus rhombus*, Figure 37). Des juvéniles de muges du type *Chelon sp.*, qui peuvent potentiellement correspondre à 3 espèces (*Chelon ramada*, *C. aurata* et *C. saliens*) et de mullet à grosse tête (*Mugil cephalus*) ont été observés à toutes les stations. D'intéressants signaux de colonisation depuis la mer ont également été obtenus pour la dorade royale (*Sparus aurata*), le bar européen (*Dicentrarchus labrax*) et la sole commune (*Solea solea*), bien que ces juvéniles aient toujours été notés absents au moins à l'une des stations des EMSC les plus centrales. En termes de densités, les espèces marines migratrices sont en moyenne plus abondantes aux stations de Beauduc, du Vaisseau, du Galabert 1-2 et de la Comtesse qu'aux autres stations.

L'anguille, espèce catadrome, est bien représentée à toutes les stations, avec des densités et des biomasses en moyenne plus faibles aux stations du Vaisseau, du Galabert 1-2 et du Galabert. L'espèce catadrome supplémentaire observée à la station de Beauduc correspond au flet (*Platichthys flesus*), dont deux juvéniles y ont été observés (en juin 2018). Le flet était régulièrement capturé dans les eaux saumâtres du système Vaccarès jusque dans les années 2000s. Au cours de notre suivi, le flet n'a pas été rencontré aux autres stations d'échantillonnage, mais pendant l'hiver 2018, le pêcheur Michel Bénézet a capturé un individu à l'Est de l'étang du Vaccarès. Il est donc encore prématuré de parler d'un retour de cette espèce.



Figure 37 : Photographies de quelques juvéniles de poissons d'origine marine capturés à la station de Beauduc : barbue (*Scophthalmus rhombus*, ©DNS), mérrou brun (*Epinephelus marginatus*, ©DNS), sar commun (*Diplodus sargus*, © S. Hilaire), blennie trigloïde (*Lipophrys trigloides*, ©DNS) et bar européen (*Dicentrarchus labrax*, ©S. Hilaire)

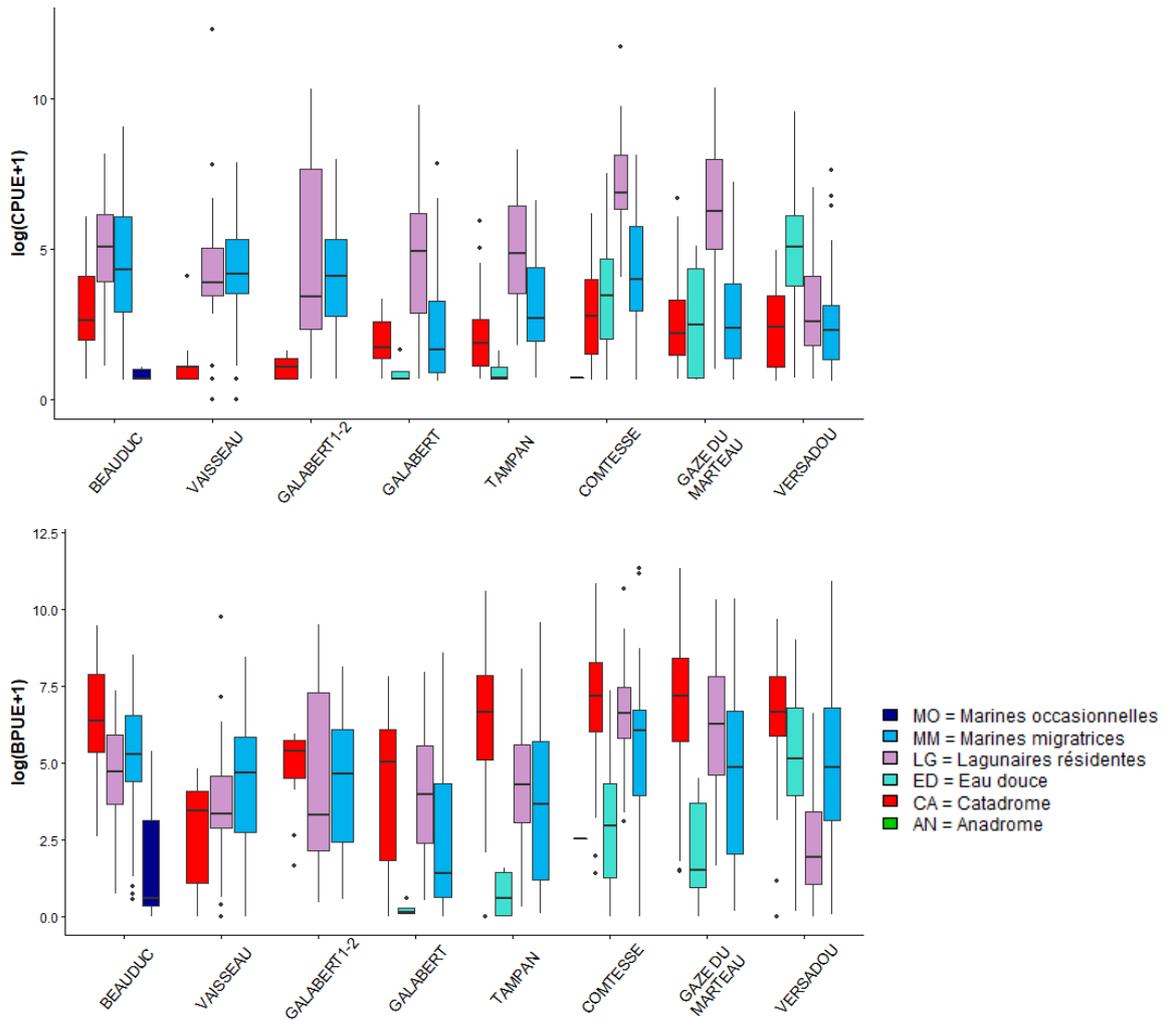


Figure 38 : Abondance et biomasse standardisées par groupe fonctionnel relatif au cycle de vie et par station pendant les 3 années de suivi d'octobre à mai. Seules les captures des filets traités en entier (filet DCE) sont ici considérées. Les espèces de Mugilidés et de Gobiidés ont été regroupés au niveau de la famille afin d'éviter les biais potentiels liés aux erreurs d'identification. AN = Anadrome ; CA = Catadrome ; FS = Dulçaquicole ; ES =

La Figure 39 met en évidence les fortes fluctuations mensuelles du peuplement entre les stations et les années. Nous noterons en particulier les très faibles densités et diversités fonctionnelles obtenues à la station du Galabert, notamment concernant l'anguille et les espèces marines migratrices pendant l'automne 2017 et le début d'année 2018.

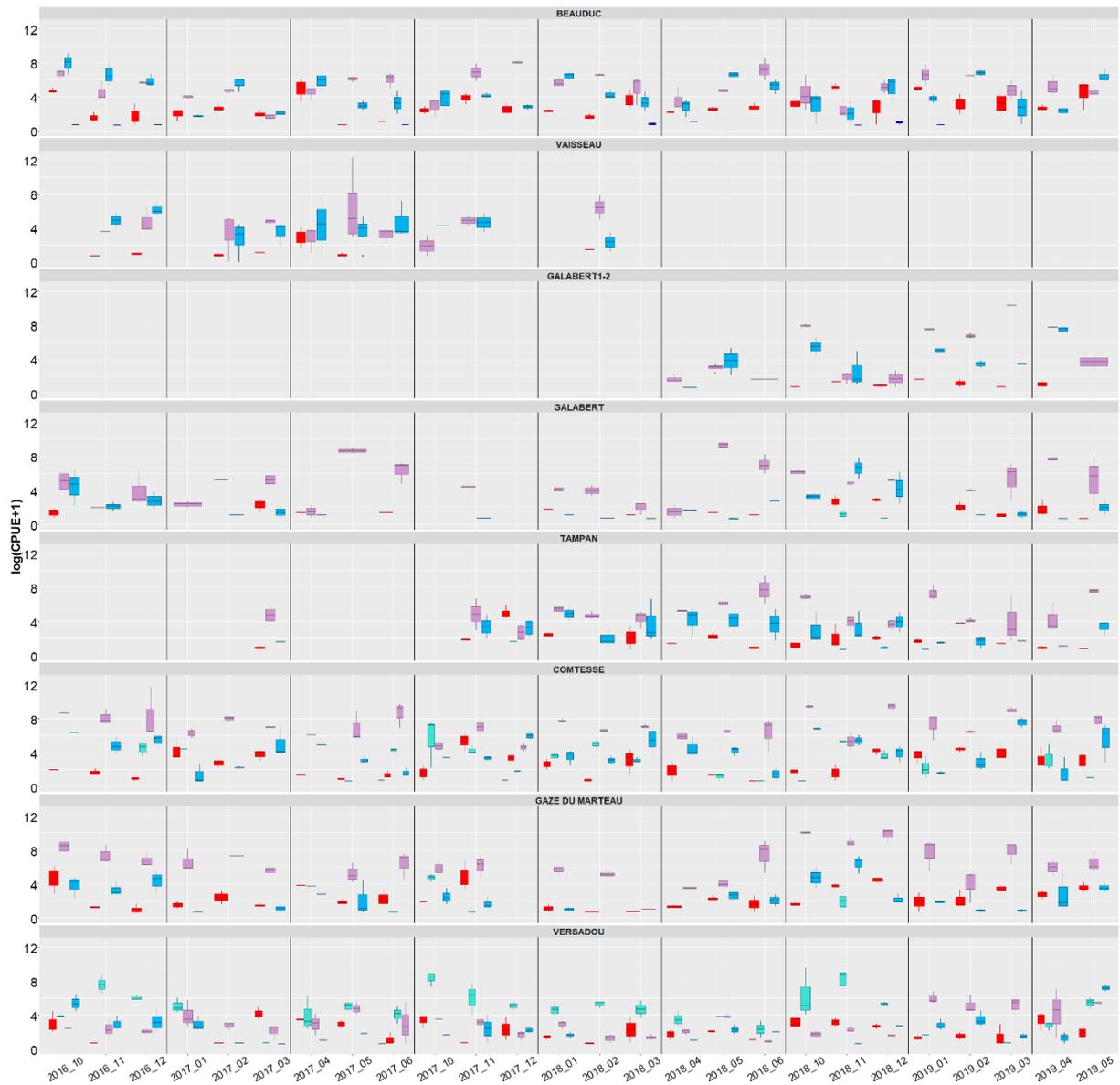


Figure 39 : Abondance standardisée par groupe fonctionnel relatif au cycle de vie et par station pendant chaque campagne de pêche mensuelle. Seules les captures des filets traités en entier (filets DCE) sont ici considérées. Les espèces de Mugilidés et de Gobiidés ont été regroupés au niveau de la famille afin d'éviter les biais potentiels liés aux erreurs d'identification.

- MO = Marines occasionnelles
- MM = Marines migratrices
- LG = Lagunaires résidentes
- ED = Eau douce
- CA = Catadrome
- AN = Anadrome

L'athérine des lagunes, espèce euryhaline

Présence et abondance spatio-temporelles

En tant qu'espèce lagunaire euryhaline, les athérines (*A. boyeri/lagunae*) devraient être présentes dans l'ensemble de l'hydrosystème du Vaccarès tout au long de l'année (Kara & Quignard, 2018a). Durant les campagnes de pêche, les athérines sont effectivement bien représentées dans les captures (en moyenne $15.1 \pm 3.2\%$ des captures obtenues par jour et par station, Figure 40 et Figure 41). Néanmoins, les athérines sont très souvent notées absentes de la station du Galabert les deux premières années de suivi (Figure 40). Pour la dernière année de suivi, elle fut absente seulement en janvier et février 2019. Lorsqu'elle est présente, l'athérine est toujours capturée en très faibles abondances à la station du Galabert par rapport aux autres stations (Figure 41). La dernière année de suivi, cette différence n'est plus aussi marquée. Ces observations suggèrent une amélioration des conditions de circulation dans la partie Nord des EMSC pour les athérines la dernière année de suivi.

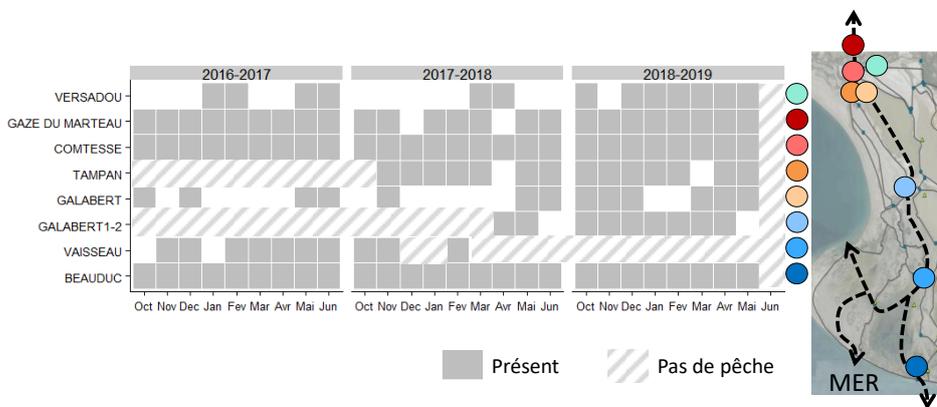


Figure 40 : Présence de l'athérine par station d'échantillonnage et par campagne de pêche mensuelle.

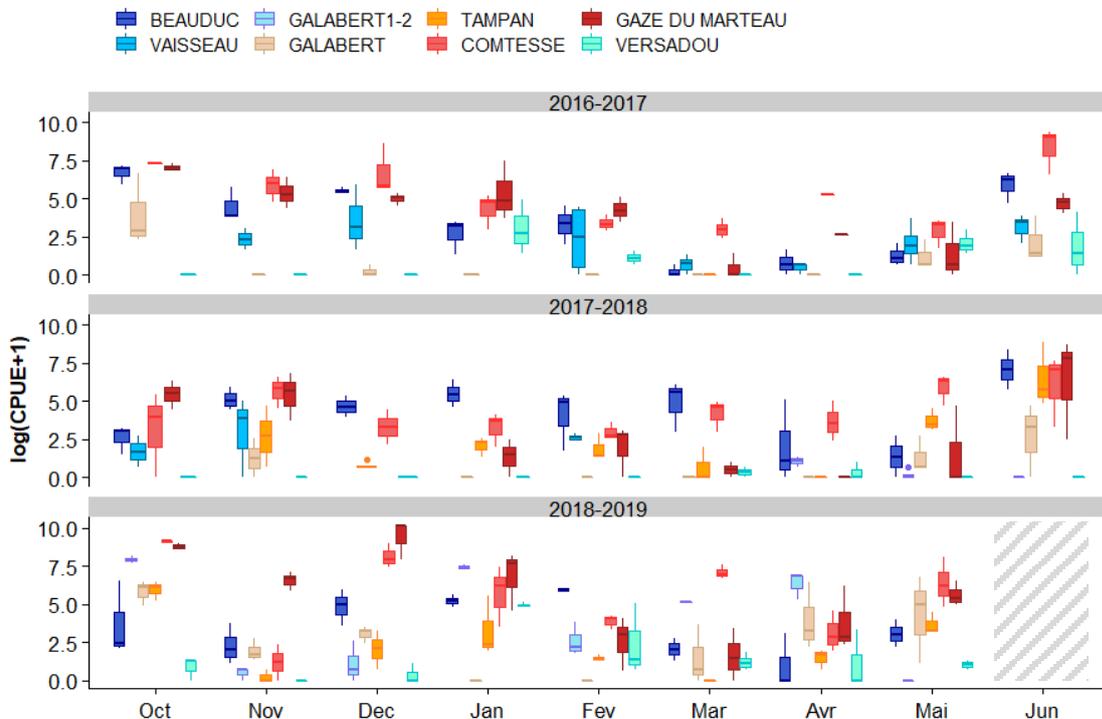


Figure 41 : Abondance standardisée de l'athérine par station et par campagne de pêche mensuelle. Seules les captures des filets traités en entier (filets DCE) sont ici considérées.

Franchissement des 3 ouvrages de connexion suivis

Point sur la méthodologie - L'étude du franchissement des 3 ouvrages de connexion a été réalisée à partir des mesures réalisées en continu sur un pas de temps horaire. Ces mesures sont précieuses pour capter la forte dynamique des EMSC sur l'ensemble de l'année. Toutefois, comme le montre la Figure 42, de longues périodes n'ont pas pu être exploitées en raison de problèmes techniques et du manque d'au moins un des paramètres considérés. Cette étude est donc partielle mais fournit néanmoins, lorsque les données sont toutes disponibles, un aperçu des conditions théoriques de circulation pour chaque taxon ciblé. Cette étude peut également être qualifiée de partielle du fait qu'elle ne cible que 3 ouvrages de connexion des EMSC (Annexe 3, Figure A3-55). Néanmoins, il s'agit d'ouvrages clés le long du cheminement aujourd'hui fonctionnel entre la mer et l'hydrosystème du Vaccarès. Il manque ici deux ouvrages de connexion : celui entre les étangs du Galabert 1 et du Galabert 2, ainsi que celui entre les étangs de Galabert 1 et du Pourtour du Rascaillan 2. Les instruments positionnés à leur proximité permettent de veiller à l'évolution du niveau d'eau, mais il manque un instrument entre les deux ouvrages pour le calcul des paramètres hydrologiques.

Notons que des conditions de niveau d'eau très faibles peuvent être limitantes pour le déplacement de la faune aquatique en certains points hauts à l'intérieur de certains étangs. Par exemple dans le Pourtour du Rascaillan 2, d'après la cartographie réalisée en télédétection par laser (*LIDAR*) en 2014, il existe un point seuil critique de 15 cm. Par ailleurs, les conditions physico-chimiques, et en particulier la salinité, relevées à proximité immédiate de ces ouvrages, reflètent le mélange entre deux masses d'eau (deux étangs). Les mesures sont ainsi fortement influencées par le sens du courant et ne sont donc pas forcément représentatives des conditions associées aux étangs concernés dans leur globalité. Autrement dit, la caractérisation du franchissement est uniquement valable à l'échelle de l'ouvrage ciblé.

Rappelons que cette étude de franchissement est montrée à titre indicatif, notamment en raison de l'utilisation de données approximatives issues de la littérature pour la détermination des seuils de tolérance et du fait que les capacités de nage peuvent varier en fonction de la taille et de la condition des individus et de la température de l'eau.

En ce qui concerne les athérines, l'étude du franchissement des 3 ouvrages de connexion suggère que les conditions, lorsque l'ensemble des paramètres sont disponibles, sont le plus souvent favorables à leur circulation (Figure 42). Alors que la température et la vitesse du courant n'ont jamais été observées limitantes, la hauteur d'eau et la salinité le sont, au moins temporairement (Figure 43).

Pendant les mois de septembre et d'octobre 2017, aucune fenêtre de circulation n'est obtenue au niveau de l'ouvrage du Galabert-Tampan (Figure 42), en raison de l'assèchement de la zone (Figure 30 et Figure 43). L'été et l'automne 2017 ont en effet été fortement marqués par la sécheresse (voir §[Niveaux d'eau et salinité des étangs](#)). Quelques périodes non favorables à la circulation des athérines en raison d'hypersalinité sont observées, notamment de juin à octobre 2017 et de septembre à octobre 2018, au niveau de l'ouvrage du Vaisseau-Pourtour du Rascaillan 2.

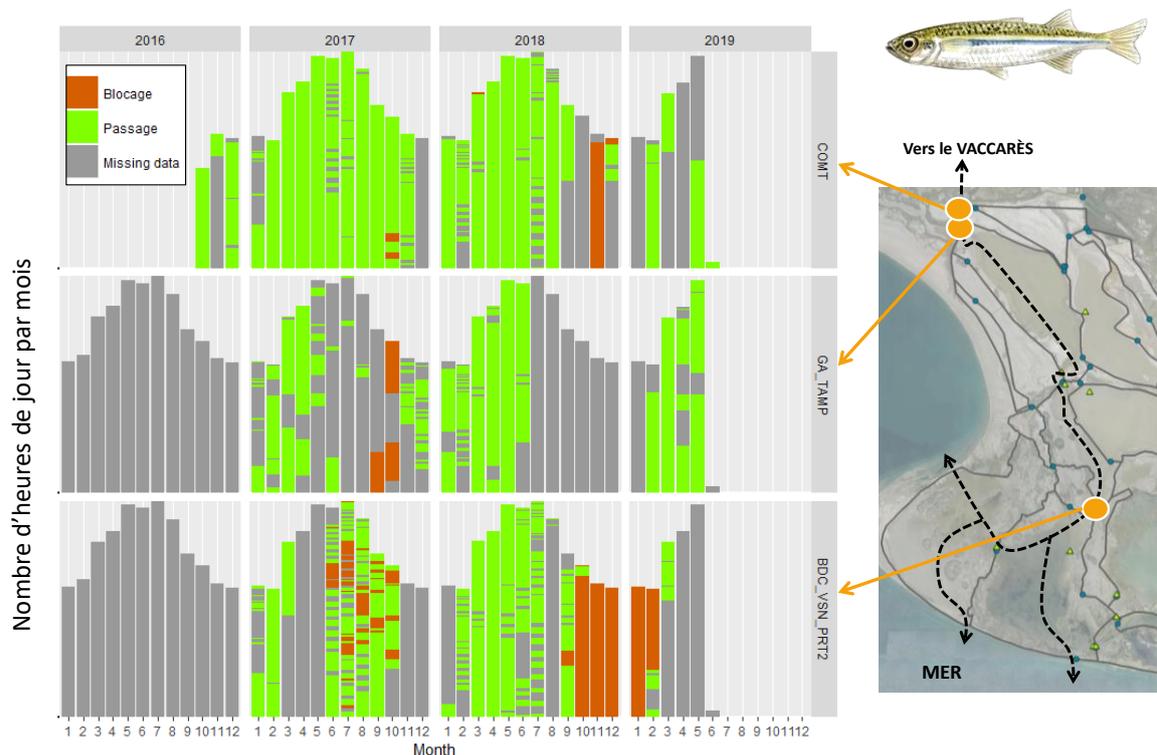


Figure 42 : Franchissement des 3 ouvrages de la Comtesse, du Galabert-Tampan et du Vaisseau-Pourtour du Rascaillan estimé par heure de jour à partir de seuils de tolérance de l'athérine vis-à-vis de la température, de la salinité, de la hauteur d'eau et de la vitesse du courant, et présentée par mois.

Le pertuis de la Comtesse a été fermé pendant un mois, du 8 novembre 2018 à 14:30 au 7 décembre 2018 à 14:25, en prévention d'une pollution aux hydrocarbures, engendrée par la collision d'un roulier tunisien et d'un porte-conteneurs chypriote qui a eu lieu le 7 octobre au large de la Corse et qui a atteint la côte bucco-rhodanienne le 27 octobre. Pendant cet intervalle, en raison du haut niveau d'eau du côté de l'étang du Tampan, l'eau est passée au moins épisodiquement (12 et 13 novembre 2018) sous les piles à l'Est du pertuis. Nous ne savons pas si ces écoulements ont pu être favorables à des échanges ichtyologiques.

Afin de limiter les entrées d'eaux salées puis de prévenir la pollution aux hydrocarbures, l'ouvrage du Vaisseau-Pourtour du Rascaillan a été fermé le 9 octobre 2018 à 8:00 et, pour des raisons non déterminées, n'a été réouvert que le 23 février 2019 à 10:00, soit environ 4.5 mois plus tard. Nous devons encore statuer sur la nature de cette fermeture d'ouvrage. Il est en effet possible que, du fait de l'enlèvement d'une ou deux planches inférieures de cette martelière, une connexion hydrobiologique fut fonctionnelle durant cette période. Néanmoins, d'après le technicien en charge du suivi, la connexion a été rompue. Par contre en cas d'entrées massives d'eau et de hauts niveaux d'eau, l'eau peut passer au-dessus de l'ouvrage. Il nous faut encore déterminer cette hauteur d'eau.

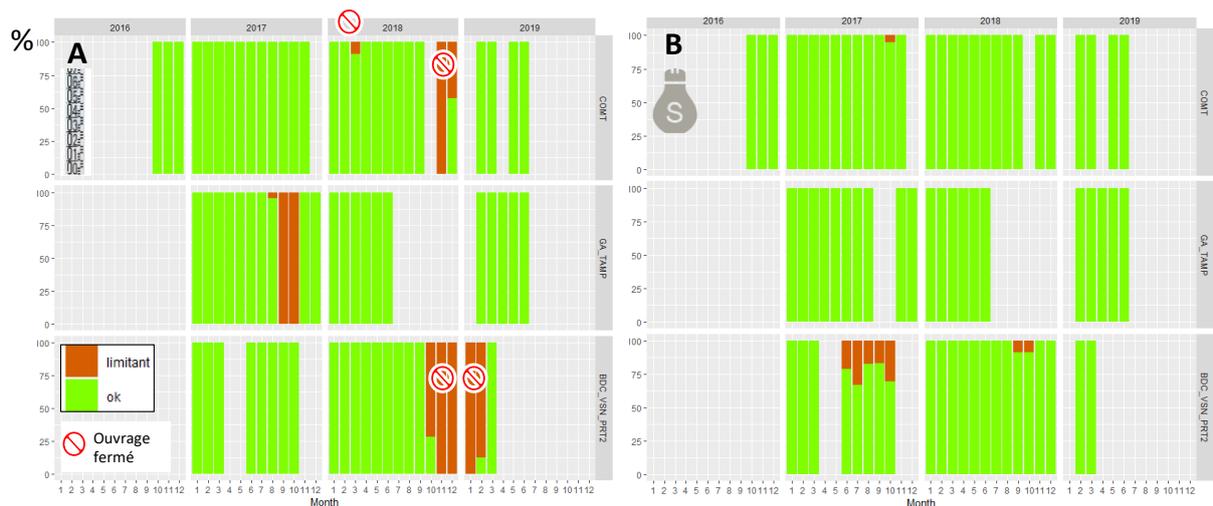


Figure 43 : Barplot représentant le pourcentage du nombre d’heures jour par mois (où toutes les données sont disponibles) où A/ la hauteur d’eau et B/ la salinité, qui sont pris en compte dans le calcul de franchissement, sont favorables ou limitants pour le passage des athérines. Ne sont représentés que les paramètres pour lesquels des périodes limitantes sont observées.

Influence de paramètres environnementaux

Le complexe des athérines (*Atherina lagunae/boyeri*) peut inclure des polymorphes aux caractéristiques morphologiques, écobiologiques et comportementales divergentes (Focant et al., 1999; Kara & Quignard, 2018a). Bien que nous suspectons avoir essentiellement des individus d’origine lagunaire (camarguaise), il est possible, notamment au plus près du front de mer et en cas de coups de mer, que des individus de populations plus marines (*A. punctulata* ?) aient été capturées. Les résultats des modèles présentés peuvent ainsi être en partie biaisés.

Le facteur *Mois* explique 4% de la part de déviance de la présence des athérines (Tableau 4) et 11% de leurs CPUE⁺ log-transformées (Tableau 5). Les athérines sont les moins présentes et les moins abondantes de février à mai, et plus spécifiquement durant les mois de mars et avril. Il s’agit de leur période de reproduction. Cette diminution peut traduire un déplacement de la population vers des zones de reproduction, en milieu saumâtre dans l’étang du Vaccarès ou en milieux d’eau douce dans les canaux de drainage ou les marais temporaires (Rosecchi & Crivelli, 1992, 1995). Les athérines recherchent alors des sites présentant une végétation submergée dense ou du chevelu racinaire pouvant servir de support pour la ponte de leurs œufs. Le site des EMSC présente relativement peu de zones d’algues dressées ou de phanérogames. Des herbiers de *Ruppia* se développent néanmoins dans les étangs de Beauduc et de Sainte Anne. Des herbiers de zostères couvrant de faibles superficies ont également été localisés à proximité de graux. Ces herbiers pourraient potentiellement être de nouveaux sites de reproduction pour les athérines.

L’année 2018-2019 est l’année où les athérines sont significativement les plus présentes. Ce petit effet année, qui explique seulement 2.4% de la déviance (Tableau 4), confirme que les conditions de circulation pour les athérines semblent s’améliorer la dernière année de suivi, notamment au niveau de la station du Galabert (Figure 40). L’effet année est en revanche non significatif pour expliquer les variations de densités des athérines.

Les classes de salinité expliquent jusqu’à 10.5% les variabilités de présence des athérines (Tableau 4) et jusqu’à 3.8% les CPUE⁺ (Tableau 5). Les athérines apparaissent significativement préférer les conditions mésohalines à polyhalines, que ce soit en termes de présence/absence ou de

CPUE⁺. Les athérines sont moins bien représentées en conditions oligohalines et hyperhalines. Ce résultat concorde avec l'effet *Station d'échantillonnage* qui montre une moindre présence et abondance des athérines dans le canal du Versadou, où les conditions les plus oligohalines sont rencontrées. Elles sont également les moins bien représentées dans les stations les plus salées telles que les stations du Vaisseau ou du Galabert. L'effet *Station* est le facteur le plus influençant, que ce soit en termes de présence-absence ou d'abondance. Il dénote clairement une variabilité spatiale, qui s'explique seulement en partie par l'effet de la salinité. Les faibles niveaux d'eau rencontrés en différents points du cheminement entre la mer et le secteur de la Comtesse, notamment aux alentours des stations du Vaisseau et du Galabert 1-2, pourraient également expliquer cette disparité spatiale (et temporelle).

Le léger effet négatif significatif obtenu par la variable qui caractérise la distance à la mer uniquement sur la présence des athérines (3% de déviance expliquée), montre également que les athérines tendent à préférer les secteurs les plus mésohalins et éloignés de la mer, tel que le chenal de la Comtesse.

La prise en compte des variables hydrologiques obtenues à partir des mesures continues conduit à une réduction du jeu de données en raison des données manquantes et de l'élimination de la station du Galabert 1-2 qui est non équipée en sondes.

La hauteur d'eau calculée à l'intérieur des ouvrages a un effet positif significatif sur les athérines en termes de présence (16.7% de déviance expliquée, Tableau 4) et de CPUE⁺ (3.8%, Tableau 5). Les hauts niveaux d'eau semblent ainsi plus favorables à la présence des athérines.

D'après l'étude de Bardin et Pont (2002), les athérines n'ont pas de préférence du sens du courant. Dans le cas présent, les fortes vitesses du courant, quelles que soient leur direction, ont un effet négatif sur la présence des athérines. Par contre, lorsque les athérines sont présentes, les vitesses du courant ont plutôt un effet positif sur les abondances, en tout cas lorsque ces variables sont testées séparément dans les modèles (Annexe 6, Tableau A6-12). De même, lorsque les athérines sont présentes, leurs CPUE⁺ sont positivement liées au débit rentrant (Tableau 5).

En combinant les différentes variables significatives et qui nous apparaissent les plus pertinentes pour expliquer la présence ou l'abondance des athérines, les modèles développés expliquent jusqu'à 47% ou 37% de déviance totale, respectivement.

Tableau 4 : Analyse de déviations pour les modèles binomiaux de type GLM développés pour expliquer la variabilité de la présence des athérines à partir des variables abiotiques présélectionnées. Dans la colonne « Effet » est indiqué pour les covariables le coefficient de pente et pour les variables facteurs les différentes modalités classées. La significativité des différences entre les modalités sont indiquées par rapport à la modalité référence signalée en gras. Si les différences ne sont pas significatives, les modalités comparées sont en gris.

Variable testée	AIC	Degrés de liberté	p (Test du Chi²)	Significativité	Déviante expliquée cumulée (%)	Effet
Athérines_Pres ~ Mois + ...	555.48	461	0.004046	**	4.02	3<4<11<2<12, 1<5<10<6
+ Année de suivi	542.98	459	0.0002607	***	6.97	2017-2018< 2016-2017 <2018-2019
+ Sal_Man_Fac	488.7	457	2.21E-15	***	17.38	oligohalin< hyperhalin <mixoeuhalin<mesohalin<polyhalin
+ Station	438.99	454	< 2.2e-16	***	27.32	Versadou,Galabert<Gal1-2<Tampan<Gaze.Mart.< Beauduc, Vaisseau <Comtesse
+ DistSea	538.55	460	1.35E-05	***	7.4	-0.1085
+ DistSeaCM	542.36	460	0.0001009	***	6.72	-0.08941
+Niv_Man_Fac	536.19	459	8.73E-06	***		medium< high <low
+ Haut_mean	336.44	369	< 2.2e-16	***	25.86	2.32949
+ Vitesse_Sortant	396.14	369	3.37E-05	***	11.87	-1.9583
+ Vitesse_Rentrant	401.82	369	0.0006885	***	10.54	-1.63389
+ Débit_Rentrant	407.26	369	0.01373	*	9.26	0.8926
+ Débit_Sortant	413.27	369	0.7957	NS		
Athérines_Pres ~ Mois + Sal_Man_Fac +...	488.7	457			17.38	
+ Année de suivi	479.77	455	0.00156	**	19.68	2017-2018< 2016-2017 <2018-2019
+ Station	424.23	450	2.83E-14	***	31.39	Galabert<Versadou<Gal1-2<Tampan<Gaze.Mart.< Beauduc, Vaisseau <Comtesse
+ DistSea	482.39	456	0.00395	**	18.86	-0.08516
+ DistSeaCM	487.25	456	0.063361	NS		
+Niv_Man	490.18	456	0.472794	NS		
+Niv_Man_Fac	473.95	455	8.48E-05	***	20.72	medium< high <low
+Haut_mean	295.76	365	5.00E-13	***	37.26	2.207
+ Vitesse_Sortant	342.06	365	0.01512	*	26.41	-1.47183
+ Vitesse_Rentrant	327.02	365	4.72E-06	***	29.94	-2.608
+ Débit_Rentrant	347.91	365	0.8239	NS		
+ Débit_Sortant	333.16	365	0.0001195	***	28.5	3.3279
Athérines_Pres ~ Mois + Sal_Man_Fac + Haut_Mean + ...	295.76	365			37.26	
+ Année de suivi	274.94	363	4.09E-06	***	43.08	2016-2017 <2017-2018<2018-2019
+ Station	283.92	359	0.000558	***	42.85	Galabert<Gaze.Mart.< Beauduc, Vaisseau, Tampan < Versadou <Comtesse

+ DistSea	297.68	364	0.7831	NS		
+Niv_Man_Fac	294.4	363	0.06863	NS		
+ Vitesse_Sortant	297.35	364	0.5243	NS		
+ Vitesse_Rentrant	278.64	364	1.23E-05	***	41.74	-2.99253
+ Débit_Rentrant	288	364	0.001784	**	39.55	-1.80588
+ Débit_Sortant	289.91	364	0.005098	**	39.1	2.6886
Athérines_Pres ~ Mois + Sal_Man_Fac + as.factor(Année de suivi) + Haut_Mean +...						
	274.94	363			43.08	
+ Station	269.46	357	0.007673	**	47.17	Galabert<Gaze.Mart.< Beauduc , Tampan, Versadou, Vaisseau <Comtesse
+ Vitesse_Rentrant	259.92	362	3.68E-05	***	47.07	-3.22191
+ Débit_Rentrant	259.72	362	3.32E-05	***	47.11	-2.75405
+ Débit_Sortant	270.98	362	0.014577	*	44.48	2.48856

Tableau 5 : Analyse de déviations pour les modèles Gamma (fonction de lien Log) de type GLM développés pour expliquer la variabilité des CPUE positives log-transformées des athérines à partir des variables abiotiques présélectionnées. Dans la colonne « Effet » est indiqué pour les covariables le coefficient de pente et pour les variables facteurs les différentes modalités classées. La significativité des différences entre les modalités sont indiquées par rapport à la modalité référence signalée en gras. Si les différences ne sont pas significatives, les modalités comparées sont en gris. La fonction *poly()* est appliquée aux covariables pour tester des effets non linéaires d'ordre 2. Dans ce cas, ce sont les deux coefficients de pente associés à cette relation qui sont indiqués dans la colonne « effet ».

Variable testée	AIC	Degrés de liberté	p (Test de Fisher)	Significativité	Déviante expliquée cumulée (%)	Effet
Athérines_Log(CPUE⁺+1) ~ Sal_Man_Fac + ...	1478.7	332			3.8	hyperhalin , oligohalin, mixoeuhalin<polyhalin<mesohalin
+ Saison	1471.5	330	0.001285	**	6.8	Aut >Spr, Win
+ Mois	1444.5	324	1.71E-09	***	16.4	2,5,4,3<12,11, 1 ,6,10
+ Station	1431.2	325	8.00E-12	***	18.96	Vers, Vaisseau<Tampan,Galabert< Galabert1-2, Beauduc , Gaze_Marteau,Comtesse
+ Moon_Sem	1466.9	330	9.76E-05	***	7.98	0.5< 0 <1
+ Moon_Fac	1460	329	3.33E-06	***	10.2	last<new, first ,full
+ Niv_Man	1478.8	331	0.131666	NS		
+ Niv_Man_Fac	1475.5	330	0.014356	*	5.75	medium, high< low
+ Vitesse_Sortant	1228	278	3.24E-05	***	10.87	-0.61448
+Vitesse_Rentrant	1239.4	278	0.05369	NS		
+Débit_Sortant	1241	278	0.1783	NS		
+Débit_Rentrant	1236.4	278	0.006814	**	8.36	0.23128
+Haut_mean	1230	278	0.0001685	***	10.28	0.2756

Athérines_Log(CPUE⁺+1) ~ Sal_Man_Fac + Mois +...	1444.5	324			16.4	
+ Saison	1444.5	324		NA		
+ Station	1392.4	317	2.56E-12	***	30.54	Versadou<Vaisseau, Tampan, Galabert <Galabert1-2, Beauduc , Gaze_Marteau <Comtesse 0.5< 0 <1
+ Moon_Sem	1435.9	322	0.000826	***	19.3	
+ Moon_Fac	1423.5	321	1.12E-06	***	22.5	last<new< first ,full
+ Niv_Man	1443	323	0.04371	*	17.2	-0.002196
+ Niv_Man_Fac	1435.6	322	0.0006138	***	19.34	medium, high < low
+ Vitesse_Sortant	1200.3	270	5.30E-05	***	22.93	-0.64045
+ Débit_Rentrant	1209.3	270	0.01111	*	20.6	0.22059
+ Haut_mean	1197.6	270	1.67E-05	***	23.6	0.31591
Athérines_Log(CPUE⁺+1) ~ Sal_Man_Fac + Mois + Station + ...	1392.4	317			30.5	
+ Moon_Sem	1380.9	315	0.000355	***	33.5	0.5< 0 ,1
+ Monn_Fac	1362.5	314	4.47E-08	***	37.2	last<new, full, first
+ Vitesse_Sortant	1178.2	264	0.2205	NS		
+ Débit_Rentrant	1179.6	264	0.8403	NS		
+ Haut_mean	1178	264	0.1901	NS		

Les juvéniles de sole commune, espèce marine migratrice

Présence et abondance spatio-temporelles

La totalité des captures de juvéniles de l'année de Soléidés est estimée à 1045 individus dans les filets DCE et à 550 individus dans les filets à civelles. L'arrivée des premiers juvéniles de l'année est observée à partir de mars en 2017 et dès février en 2018 (Figure 44 et Figure 45). Les premiers juvéniles capturés ont une taille entre 14 (station du Vaisseau) et 41 mm (chenal de la Comtesse, Figure 46). À ce stade, il est compliqué de déterminer l'espèce. Toutefois, les mois suivants, les captures de Soléidés plus âgés deviennent plus faciles à identifier avec leur tâche caractéristique sur la nageoire pectorale (face dorsale). Il est ainsi fort probable que tous les individus capturés correspondent à des juvéniles de sole commune (Figure 44).

Les deux premières années de suivi, les juvéniles de sole ne sont jamais détectés à la station du Galabert, ni à la station du Galabert 1-2 (Figure 45). Une forte densité est néanmoins observée à la station du Vaisseau en mars lors de la première année de suivi. Ces observations suggèrent, au moins pour la première année, qu'une remontée des juvéniles de soles dans les EMSC a eu lieu au moins jusqu'à la station du Vaisseau. Le faible niveau d'eau des étangs les plus centraux, dont l'étang du Galabert, et leur forte salinité ont probablement empêché la migration des juvéniles plus en amont. Par contre, de belles densités de juvéniles de soles ont été observées dans l'étang du Tampan et dans le chenal de la Comtesse, donc dans la partie Nord des EMSC, dès les premières arrivées de l'année. Ces résultats suggèrent que les juvéniles de soles ont pu emprunter une autre voie de migration que celle des EMSC. Aucun juvénile de sole n'ayant été capturé à la station de la Gaze du Marteau (ou pas avant juin, seulement en 2018), il est probable que les individus aient profité d'une connexion intermittente entre la mer et l'étang des Batayolles pour pénétrer directement dans ce secteur du système.



Figure 44 : Photographies des juvéniles de Soléidés à la station du Vaisseau le 23 Mars 2017 (en haut ©K. Ferjancic et en bas à droite ©DNS), et à la station de chenal de la Comtesse le 16 Mai 2018 (en bas à gauche, © DNS)

En 2019, le recrutement des juvéniles de soles n'est capté qu'en Mai, seulement aux stations de Beauduc et du chenal de la Comtesse en densités relativement faibles (Figure 45). La rupture de connexion au niveau de l'ouvrage du Vaisseau-Pourtour de Rascaillan 2 en janvier - février 2019 pourrait être mis en cause. Néanmoins, de février à avril, aucun juvénile de soles n'a été capturé à aucune des stations. Ni à Beauduc, pourtant proche du front de mer, ni au niveau du chenal de la Comtesse, alors que plusieurs connexions intermittentes avec la mer ont déjà eu lieu. Il est possible que la vague de recrutement ait été manquée car les pêches sont réalisées seulement pendant 3 jours par mois. Une autre hypothèse, plus probable, est que des événements en mer, liés au succès de reproduction, à la localité des frayères et/ou à la force et à la direction des courants littoraux, ont limité l'arrivée des juvéniles de soles dans les EMSC cette année-là.

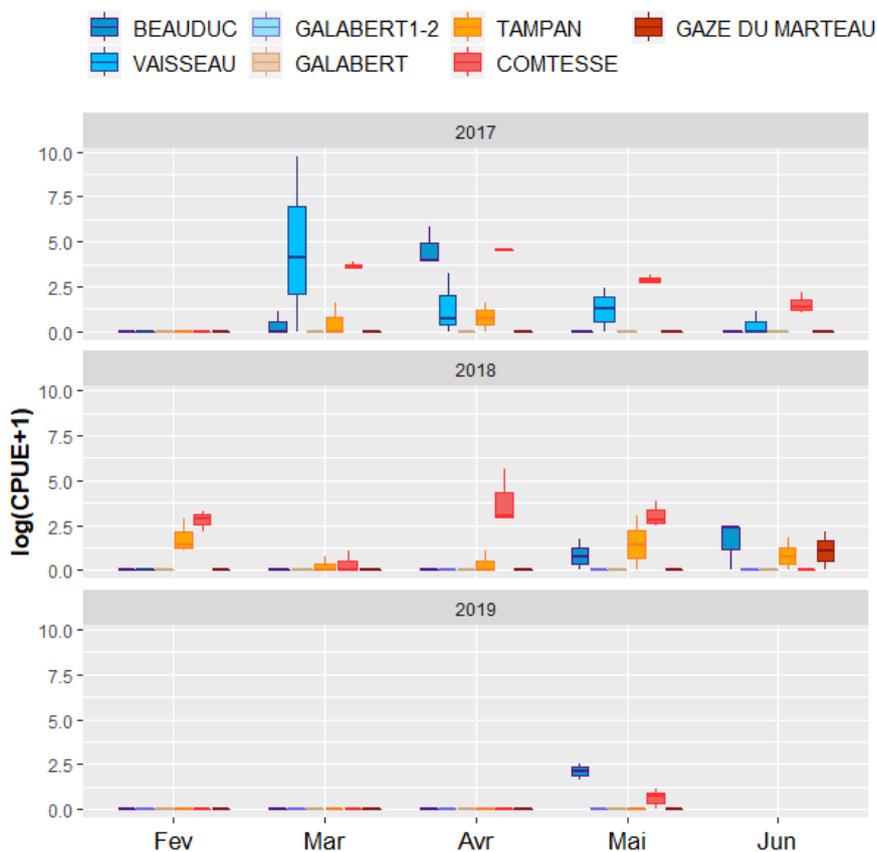
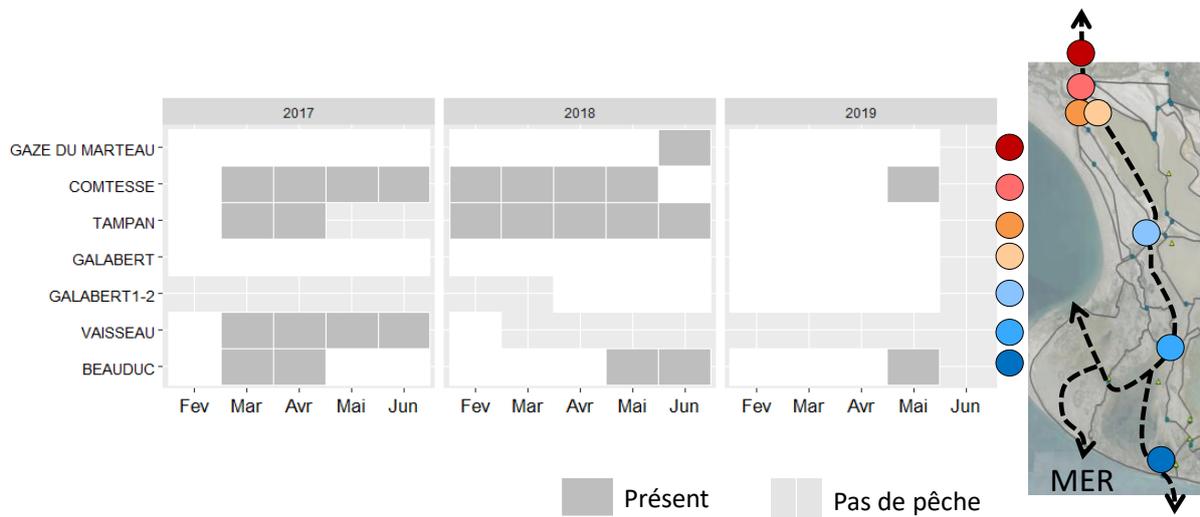


Figure 45 : Captures de sole commune (*Solea solea*) en termes de présence-absence, en haut, et de densités log-transformées, en bas, par station et par mois, en prenant en compte à la fois les captures dans les filets DCE et les filets à civelles.

Les deux premières années de suivi, une diminution des densités est clairement observée de mars à juin (Figure 45), ce qui peut correspondre à une perte par mortalité naturelle ou par prédation et/ou à une dissémination des individus dans l'ensemble du système Vaccarès. En parallèle, les survivants ont une croissance rapide, gagnant environ 20 à 25mm par mois (Figure 46). Cette forte croissance est favorisée par les températures de l'eau qui se réchauffent rapidement au printemps et par la disponibilité des ressources trophiques (Fonds, 1979).

En 2017 et en 2018, les juvéniles de soles sont en moyenne chaque mois plus grands dans le secteur du chenal de la Comtesse qu'aux stations les plus au Sud, Beauduc et Vaisseau. Les juvéniles de Beauduc et de Vaisseau font peut-être partie de cohortes plus tardives que ceux de la Comtesse. Il est néanmoins intéressant de noter qu'en mai et juin 2017 la condition des juvéniles de soles à Vaisseau diminue par rapport à avril 2017, alors qu'elle augmente significativement du côté de la Comtesse (Figure 47). En mai 2018 et 2019 et en juin 2018, les indices de conditions sont également en moyenne plus élevés dans la partie Nord du système en comparaison avec le secteur de Beauduc. Ces résultats peuvent refléter une meilleure survie des individus, avec une meilleure condition et une croissance plus rapide dans le secteur de la Comtesse. Ce signal pourrait ainsi indiquer de meilleures conditions, notamment de vue des ressources trophiques, dans la partie Nord du système en comparaison avec la partie Sud.

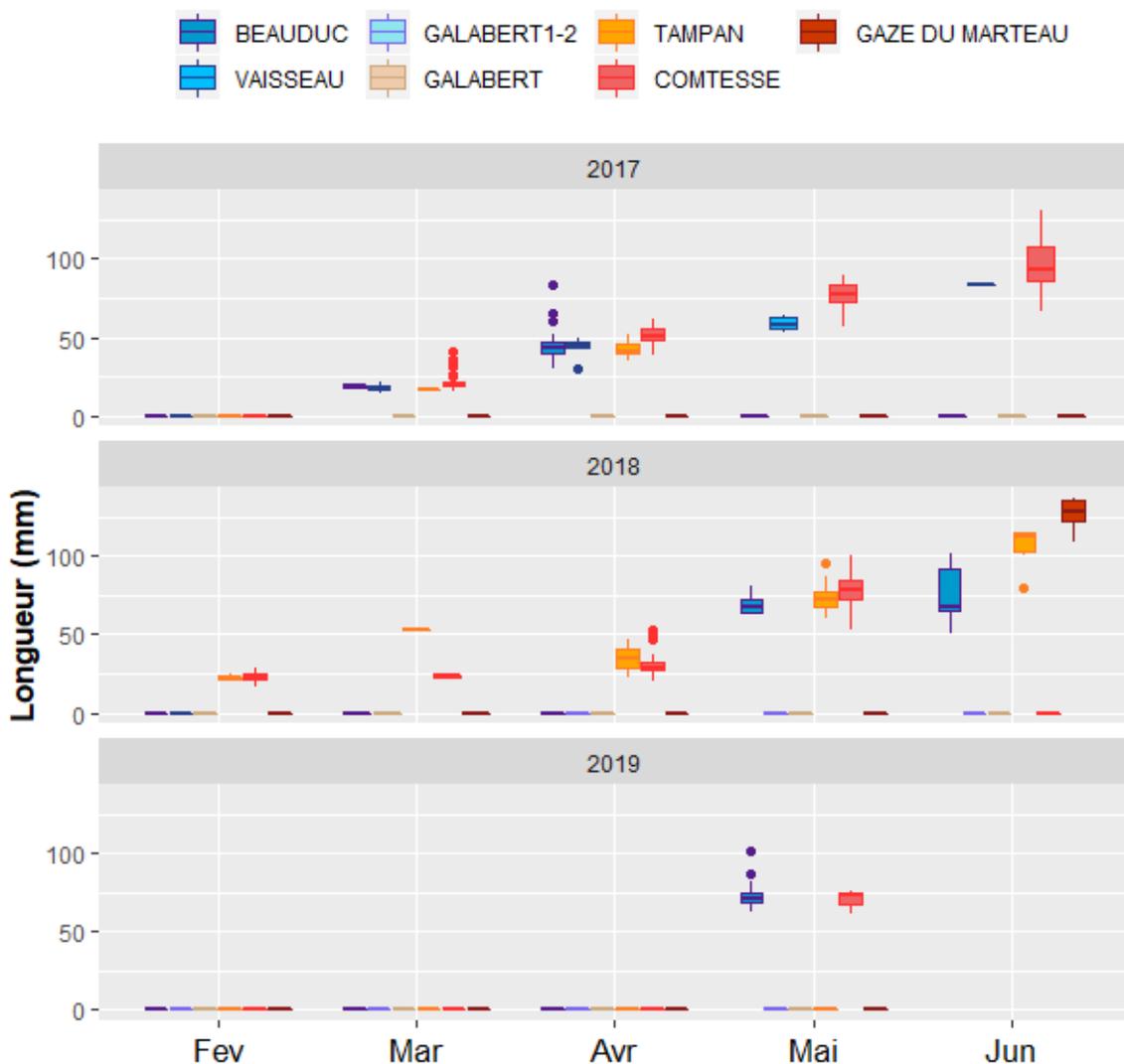


Figure 46 : Mesures de taille effectuées sur les captures de sole commune par station et par mois, incluant à la fois les filets DCE et à civelles.

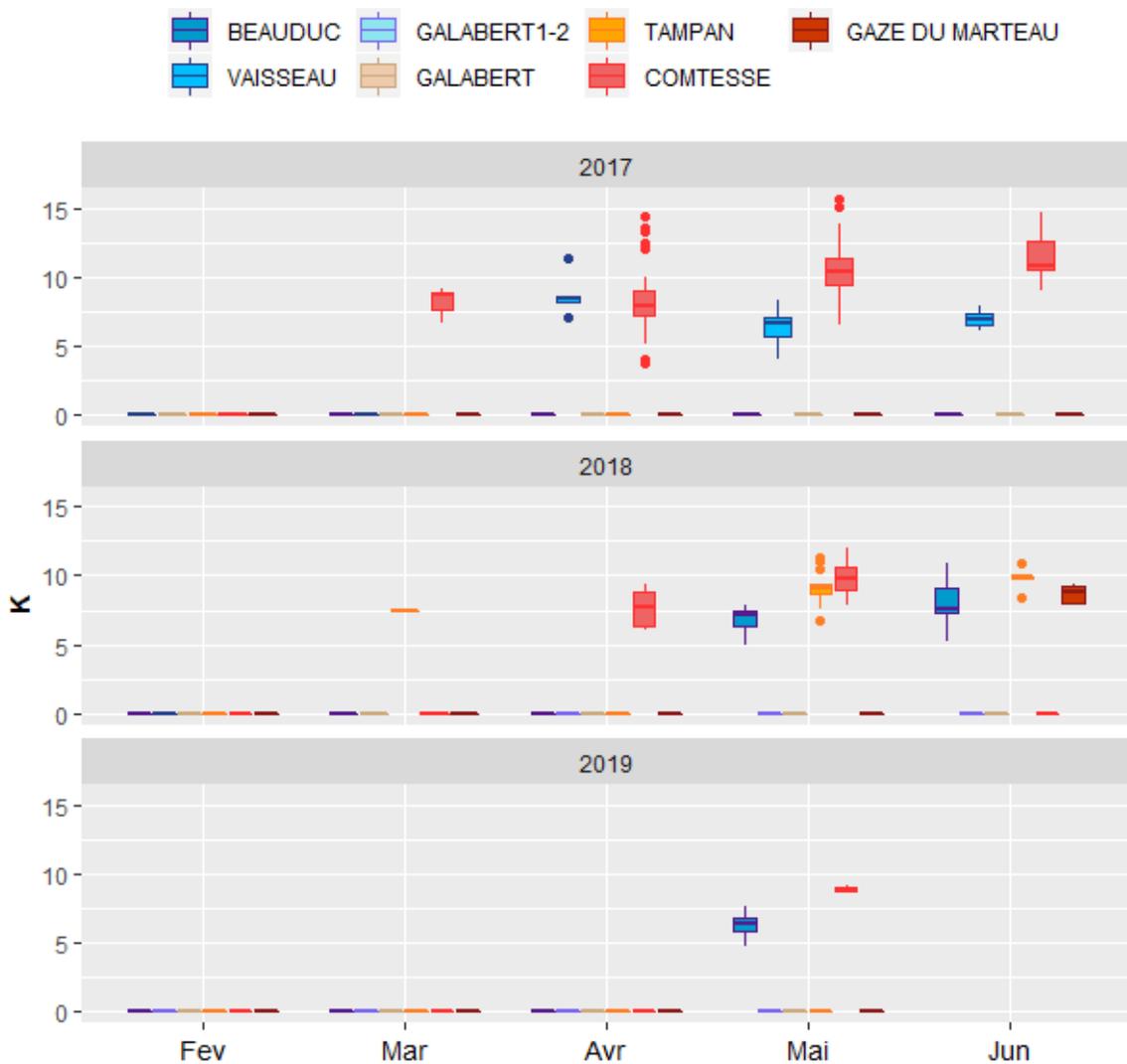


Figure 47 : Indice de condition K des juvéniles de sole commune pour lesquels les données de taille et de poids sont disponibles, par mois et par station.

Franchissement des 3 ouvrages de connexion suivis

L'étude du franchissement révèle, lorsque l'ensemble des paramètres est disponible, *a priori* aucune difficulté majeure pour la circulation des juvéniles de soles pendant leur période de recrutement, de février à juillet (Figure 48). Les seuls blocages sont occasionnés par la fermeture des martelières. Avec des vitesses de courant de 1.5 m/s, les juvéniles de soles ne sont certainement pas aptes à nager, mais peuvent néanmoins continuer à exploiter les premières couches d'eau où la vitesse du courant est très réduite.

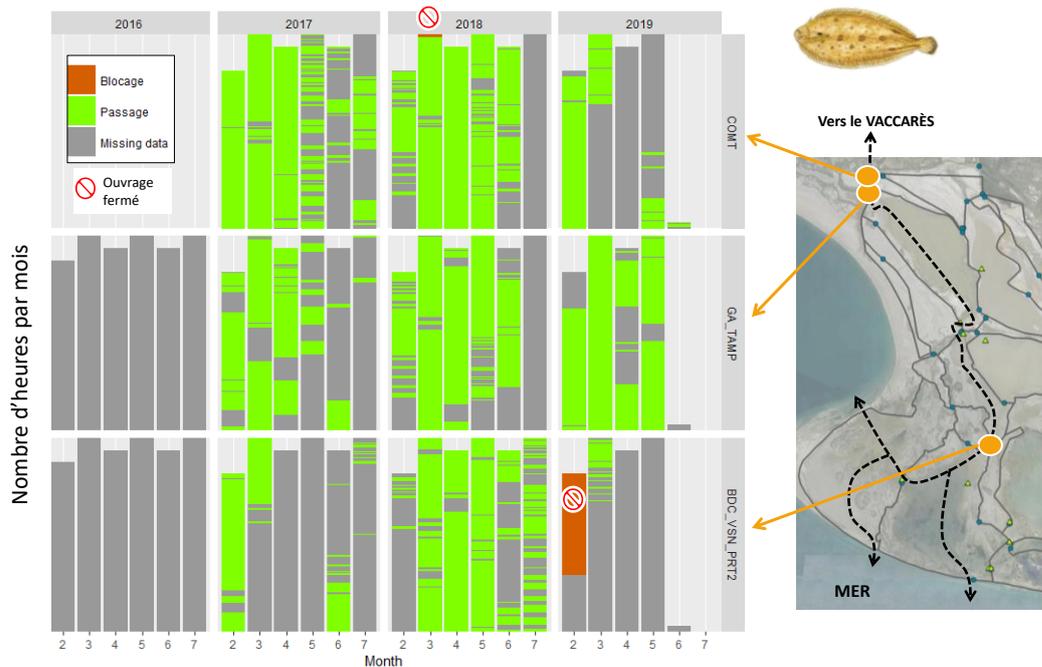


Figure 48 : Franchissement des 3 ouvrages de la Comtesse, du Galabert-Tampan et du Vaisseau-Pourtour du Rascaillan 2 estimée par heure à partir de seuils de tolérance des juvéniles de Soléidés vis-à-vis de la température, de la salinité, de la hauteur d'eau et de la vitesse du courant, et présentée par mois pour la période de recrutement de février à juillet.

Influence de paramètres environnementaux

Les modèles pour les juvéniles de soles de l'année utilisent uniquement les données de février à juin. L'effet *Année* pour expliquer les données de présence-absence est retrouvé ici (6.6% de déviance expliquée, Tableau 6 et Tableau A6-13), dénotant une dernière année de recrutement significativement plus faible que les deux premières années de suivi. Comme mentionné précédemment, le faible recrutement de la dernière année est probablement lié à des événements en mer.

Un effet *Mois* est obtenu pour expliquer les données de CPUE⁺ (21.4% de déviance expliquée, Tableau 7), les abondances étant plus élevées en début de saison de recrutement (mars, avril) qu'en fin (mai, juin). A nouveau, ce signal peut correspondre à une perte par mortalité, qui est classiquement élevée chez les jeunes stades, et/ou à une dissémination des individus dans l'ensemble du système Vaccarès.

Le facteur *Station* a un effet significatif très élevé, expliquant 25.8% de la variabilité des présences-absences (Tableau 6 et Tableau A6-13). Cet effet est toutefois non significatif pour expliquer les CPUE⁺. Les juvéniles de soles sont ainsi observés plus souvent à la station du chenal de la Comtesse et plus rarement aux stations du Galabert 1-2 et du Galabert. Le facteur *Salinité* explique en partie cet effet (9.4% de déviance expliquée, Tableau 6), sachant que seuls deux classes de salinité sont significativement différentes : les jeunes de l'année sont significativement plus présents en conditions mésohalines qu'en conditions hypersalines. Spatialement, ces deux classes de salinité correspondent globalement bien au secteur de la Comtesse et à l'étang du Galabert, respectivement.

La hauteur d'eau au sein des ouvrages a un léger effet positif significatif (7.2% de déviance expliquée, Tableau A6-13) sur la présence des juvéniles de l'année. Le débit sortant a également un effet positif significatif (7.9% de déviance expliquée). Cet effet devient plus élevé lorsqu'on considère les débits moyens sur une période de 72h avant la relève des filets (13.2% de déviance expliquée,

Tableau A6-13). Aucun ou très peu d'effets sont observés pour les variables relatives à la vitesse du courant ou au débit rentrant (Tableau A6-13). Ce fait reflète également une disparité spatiale, les débits sortants les plus élevés étant observés aux niveaux des stations de la Comtesse et de Beauduc. Il reste ici difficile de conclure quant à un éventuel effet d'attrait du débit sortant.

Avec les variables testées ici, il n'a pas été possible de mettre en évidence un effet des connexions intermittentes sur la présence et l'abondance des juvéniles de soles, notamment au niveau du secteur Tampan et Comtesse. Pendant la période ciblée, de février à mars, aucun coup de mer n'a été détecté durant les 6 jours précédents une relève de pêche. Il est sans doute nécessaire d'approfondir ce travail pour mieux prendre en compte l'influence des éventuelles connexions intermittentes.

Tableau 6 : Analyse de déviations pour les modèles binomiaux de type GLM développés pour expliquer la variabilité de la présence des juvéniles de l'année de Soléidés (Soles_YOY) à partir des variables abiotiques présélectionnées. Dans la colonne « Effet » est indiqué pour les covariables le coefficient de pente et pour les variables facteurs les différentes modalités classées. La significativité des différences entre les modalités sont indiquées par rapport à la modalité référence signalée en gras. Si les différences ne sont pas significatives, les modalités comparées sont en gris.

Variable testée	AIC	Degrés de liberté	p (Test du Chi²)	Significativité	Déviante expliquée cumulée (%)	Effet
Soles_YOY_Pres ~ Sal_Man_Fac + ...	206.73	182		***	9.41	hyperhalin < polyhalin < mixoeuhalin < mesohalin < oligohalin
+ Année de suivi	198.51	180	0.0022261	**	15.03	2016-2017 > 2017-2018 > 2018-2019
+ Temp_Man	207.65	181	0.2989566	NS		
+ Temp_Man_Fac			0.4618468	NS		
+ Station	171.4	177	1.25E-08	***	30.28	Galabert1-2, Galabert < Beauduc , Tampan < Vaisseau < Comtesse
+ Haut_mean	176.43	152	0.003769	**	13.73	1.30315
+ Vitesse_Sortant	184.81	152	0.898689	NS		
+ Vitesse_Rentrant	182.78	152	0.153299	NS		
+ Débit_Rentrant	184.25	152	0.449303	NS		
+ Débit_Sortant	177.44	152	0.006597	**	13.2	3.70216
+ Débit_Sort_72H	164.47	149	1.45E-05	***	19.1	6.6109
Soles_YOY_Pres ~ Sal_Man_Fac + Année de suivi +...					15.03	
+ Station	162.65	175	9.68E-09	***	36.15	Galabert1-2, Galabert < Vaisseau < Beauduc , Tampan < Comtesse
+ Haut_mean	173.52	150	0.004497	**	17.36	1.32235
+ Vitesse_Rentrant	177.18	150	0.035697	*	15.44	-1.6731
+ Débit_Sortant	170.8	150	0.001022	**	18.78	5.0517
+ Débit_Sort_72H	144.57	147	3.253E-09	***	31.8	12.2296
Soles_YOY_Pres ~ Sal_Man_Fac + YearSurvey + Débit_Sortant_72H + ...						
+ Station	127.1	143	3.98E-05	***	45.3	Galabert < Beauduc < Vaisseau < Comtesse < Tampan
+ Vitesse_Rentrant	146.32	146	0.619143	NS		
+ Haut_mean	144.77	146	0.180331	NS		

Tableau 7 : Analyse de déviations pour les modèles Gamma (fonction de lien Log) de type GLM développés pour expliquer la variabilité des CPUE positives des juvéniles de l'année de Soléidés (Soles_YOY) à partir des variables abiotiques présélectionnées. Dans la colonne « Effet » est indiqué pour les covariables le coefficient de pente et pour les variables facteurs les différentes modalités classées. La significativité des différences entre les modalités sont indiquées par rapport à la modalité référence signalée en gras. Si les différences ne sont pas significatives, les modalités comparées sont en gris. La fonction *poly()* est appliquée aux covariables pour tester des effets non linéaires d'ordre 2. Dans ce cas, ce sont les deux coefficients de pente associés à cette relation qui sont indiqués dans la colonne « effet ».

	Variable testée	AIC	Degrés de liberté	p (Test de Fisher)	Significativité	Déviante expliquée (%)	Effet
<i>Soles_YOY_CPUE+ ~ ...</i>	Null	174.48	49			0	
	Année de suivi	172.52	47	0.06534	NS		
	Mois	169.8	45	0.01098	*	21.37	6 < 5 < 2 < 3,4
	Temp_Man	175.44	48	0.3508	NS		
	poly(Temp_Man)	172.65	47	0.06426	NS		
	Temp_Man_Fac	176.26	47	0.3858	NS		
	Station	174.07	46	0.1328	NS		
	DistSea	176.19	48	0.6157	NS		
	DistSeaCM	176.19	48	0.6157	NS		
	Sal_Man_Fac	180.34	45	0.7726	NS		
	Sal_Man	176.44	48	0.8429	NS		
	poly(Sal_Man,2)	178.02	47	0.8201	NS		
	Niv_Man	175.48	48	0.368	NS		
	Niv_Man_Fac	176.76	47	0.5408	NS		
	Null	174.48	49			0	
	Vitesse_Sortant	165.24	44	0.5901	NS		
	+ poly(Vit_sortant,2)	166.76	43	0.7015	NS		
	Vitesse_Rentrant	164.63	44	1.93	NS		
	+ poly(vit_rentrant,2)	163.5	43	0.1869	NS		
	Débit_Sortant	165.37	44	0.672	NS		
	Débit_Rentrant	164.63	44	0.3692	NS		
	Haut_mean	162.34	44	0.1122	NS		

Recrutement des civelles

Présence et abondance spatio-temporelles

Globalement, le recrutement en civelles (Figure 49) dans les EMSC a été très faible en 2018-2019 en comparaison avec les deux saisons 2016-2017 et 2017-2018 (Figure 51). Chaque mois, d'octobre 2016 à avril 2017 et d'octobre 2017 à mars 2018, des civelles peu pigmentées (stades 5B à 6A1) sont observées, sauf en Janvier 2017 (Figure 51, notamment à la station de Beauduc, au plus près du front de mer). Le recrutement en civelles semble ainsi quasi continu durant ces deux premières années de suivi.

En Janvier 2017, seulement 2 civelles au total ont été capturées : une au stade 6A4, donc déjà bien pigmentée, dans le canal du Versadou ; et l'autre au stade 5B, à la station du Vaisseau dans un filet invalidé car laissé en place plus de 4 jours en raison des intempéries qui ont empêché l'accès à la station. Cette quasi-absence de civelles pourrait s'expliquer par les faibles températures de l'eau d'alors, qui ralentissent leur métabolisme et limitent ainsi leurs capacités de migration (A. J. Crivelli et al., 2008; Edeline et al., 2006).

Les pics de recrutement les plus denses ont été obtenus la première année de suivi : en décembre 2016 à la station du Vaisseau, et en février 2017, aux stations du Tampan et du chenal de la Comtesse (avec une journée record de 800 civelles, Figure 51). En 2017-2018, la majorité des civelles ont été capturées entre janvier et mars.



Figure 49 : Photographies de civelles plus ou moins pigmentées. (En haut ©DNS, en bas ©F. Leborne)

Les deux premières années de suivi, les captures en termes de densité et de stades pigmentaires indiquent que les civelles remontent facilement au moins jusqu'à la station du Vaisseau (Figure 51 et Figure 51). En février 2017, tandis qu'aucune civelle n'est observée dans l'étang du Galabert, les captures les plus massives de civelles sont obtenues aux stations du Tampan et du Chenal de la Comtesse. Le stade pigmentaire 5B, très précoce, est celui qui prédomine chez ces civelles : 70% pour le chenal de la Comtesse et 87 % pour l'étang du Tampan. Ces résultats (densités

élevées, faible pigmentation et absence dans l'étang du Galabert) suggèrent fortement que les civelles ont profité d'une connexion temporaire entre la mer et l'étang des Batayolles pour s'introduire dans le système.

En mars 2017, plusieurs dizaines de civelles sont encore capturées, en particulier dans l'étang de Beauduc (une vingtaine) et dans le chenal de la Comtesse (une cinquantaine). Cette fois-ci, la pigmentation des civelles est nettement plus marquée à la Comtesse qu'à Beauduc (6% vs 53% de stade 5B). C'est à ce moment que la seule civelle (de stade 6A1) sur toute l'année de suivi 2016-2017 a été capturée à la station du Galabert. Etant donné que cette capture est unique et qu'aucune civelle n'a alors été capturée à la station du Vaisseau, il est difficile de conclure quant à une éventuelle montaison des civelles *via* les EMSC. En effet, il n'est pas impossible que la civelle pêchée dans l'étang du Galabert provienne initialement de l'étang du Tampan.

Pendant les campagnes de pêche de janvier et de mars 2018, des civelles sont capturées à toutes les stations d'échantillonnage, évoquant une continuité écologique complète du cheminement entre la mer et les étangs intérieurs *via* les EMSC. Toutefois, les civelles capturées à l'étang du Galabert, bien que peu pigmentées (stade 5B à 6A1) restent en nombre très limité (5 en janvier et 2 en mars 2018).

En avril 2018, la première civelle de stade 6A3 a été capturée à la station du Galabert 1-2. Il s'agit du premier mois de cette année où la station est échantillonnée. L'année suivante, c'est également uniquement en avril que des civelles y sont capturées, au nombre de 14, dont 9 avec un stade pigmentaire de 5B à 6A2. Ces captures suggèrent une montaison des civelles au moins temporairement jusqu'à l'étang du Galabert.

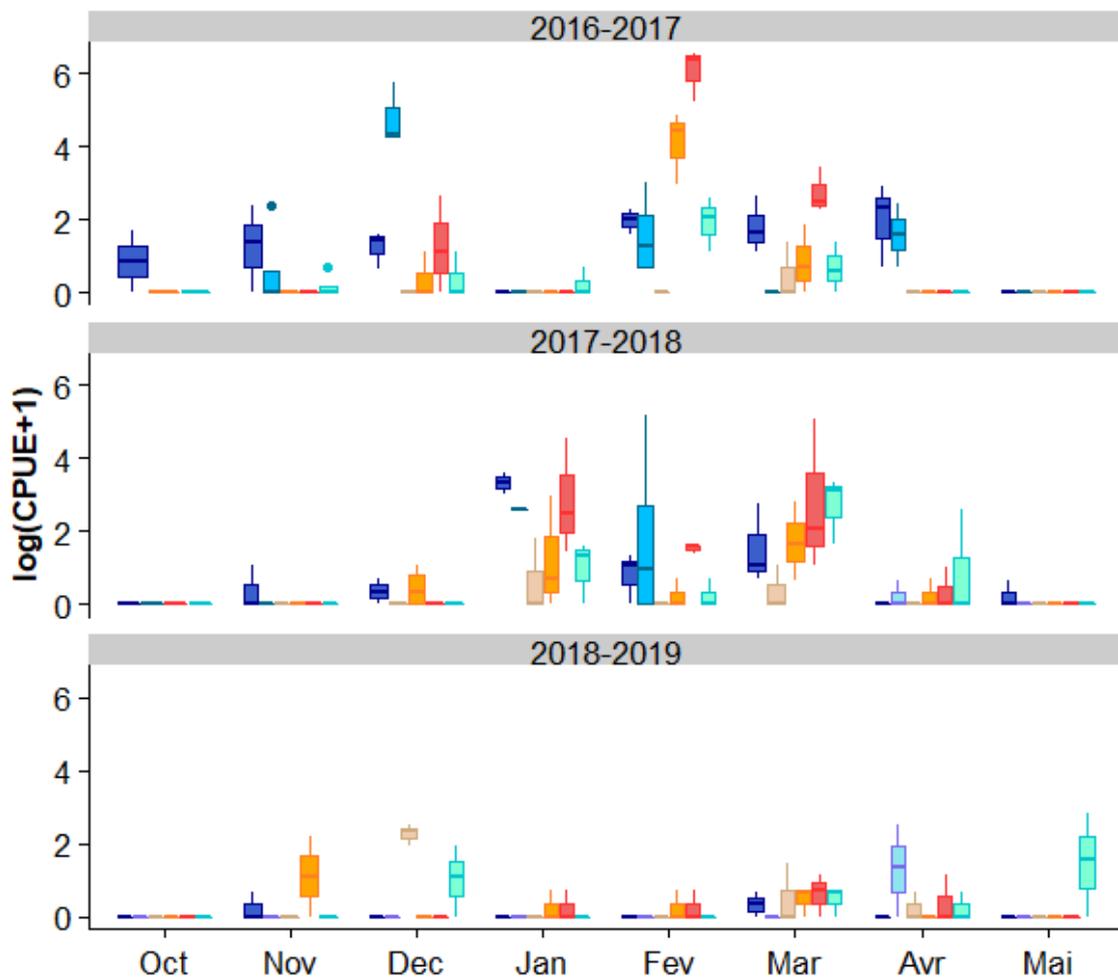
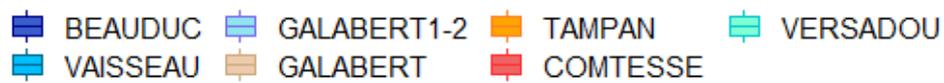
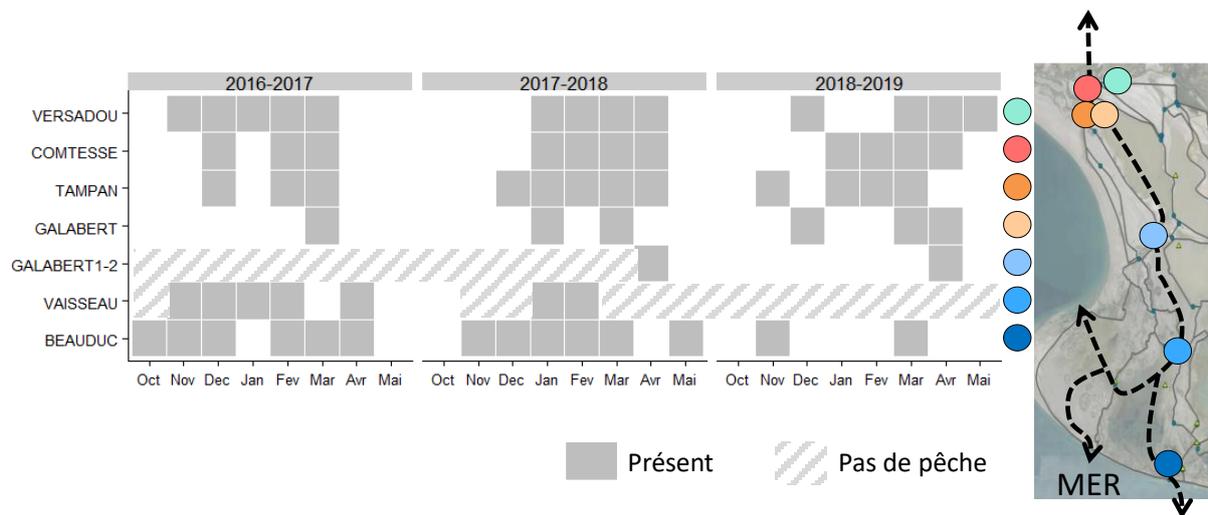
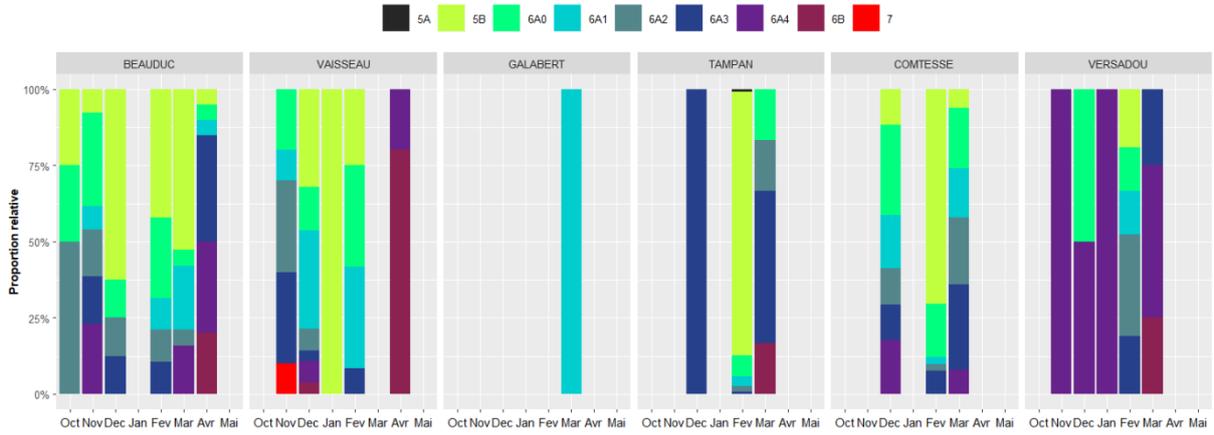
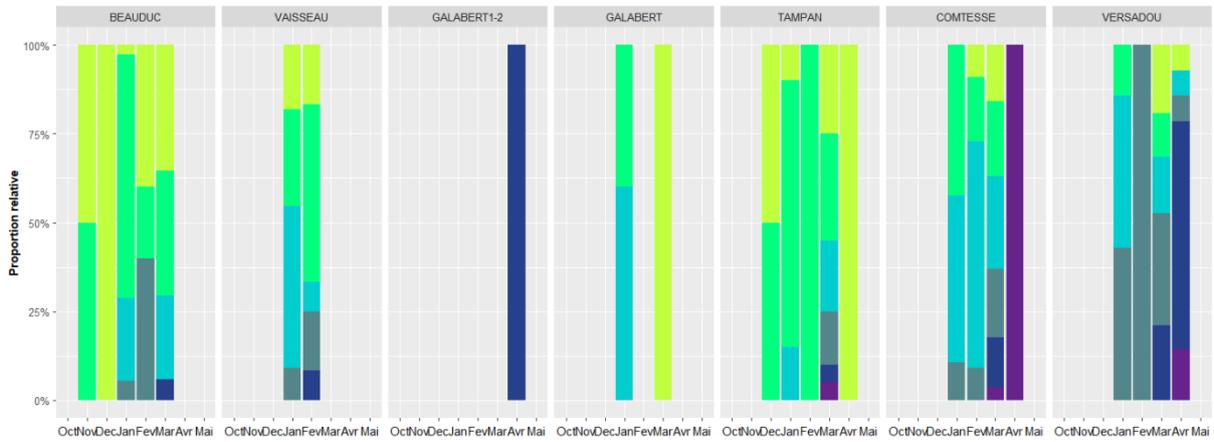


Figure 50 : Captures de civelles (*Anguilla anguilla*) en termes (en haut) de présence-absence (présence en gris - les rectangles barrés indiquent les campagnes qui n'ont pas pu être assurées), et (en bas) de densités log-transformées par station et par mois, dans les filets à civelles uniquement. En janvier, une civelle a été trouvée dans un filet à civelles (n°2) du Vaisseau dont la pêche n'a pas été validée, d'où la présence notée sans CPUE correspondante.

2016-2017



2017-2018



2018-2019

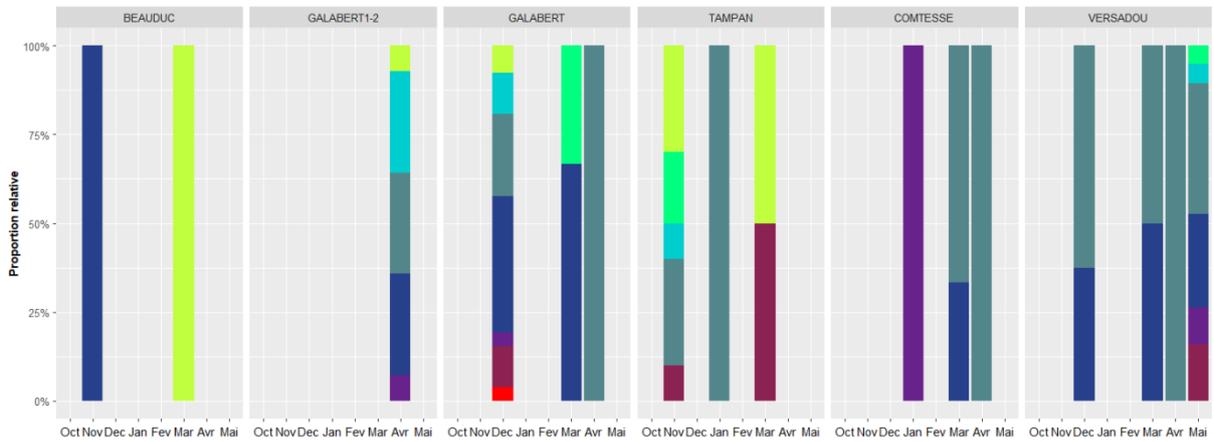


Figure 51 : Proportion relative (en %) des différents stades pigmentaires de civelles observés par mois, par station et par année de suivi.

Franchissement des 3 ouvrages de connexion suivis

L'étude du franchissement pour les civelles montre que, pour les périodes de nuit d'avril à octobre, les fenêtres de montaison sont nettement moins fréquentes que pour les athérines et les juvéniles de Soléidés (Figure 52). Ceci résulte de la prise en compte d'un seuil de tolérance à la salinité plus faible (40g/L maximum vs 70 et 50 g/L respectivement), et d'une limite de vitesse de courant sortant plus faible (0.7 vs 1.5 m/s). Les mêmes restrictions d'accès relatives à la hauteur d'eau sont obtenues que pour les athérines et les juvéniles de soles (Figure 53). Les périodes de blocage en raison d'un trop fort courant sortant concernent essentiellement l'ouvrage du Galabert-Tampan. La salinité est la variable la plus fréquemment limitante, surtout au niveau de l'ouvrage le plus au Sud, celui du Vaisseau-Pourtour du Rascaillan 2.

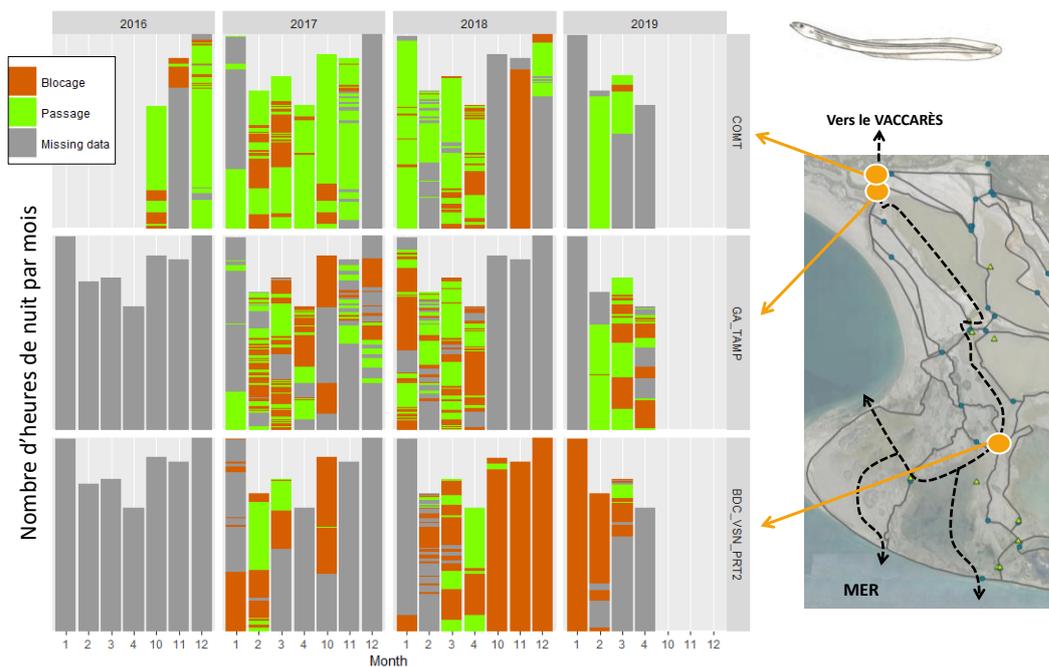


Figure 52 : Franchissement des 3 ouvrages de la Comtesse, du Galabert-Tampan et du Vaisseau-Pourtour du Rascaillan 2 estimée par heure de nuit à partir de seuils de tolérance des civelles vis-à-vis de la température, de la salinité, de la hauteur d'eau et de la vitesse du courant, et présentée par mois pour la période de recrutement d'octobre à avril. Le sens du courant est également pris en compte, seuls les courants sortants sont considérés favorables à la montaison des civelles.

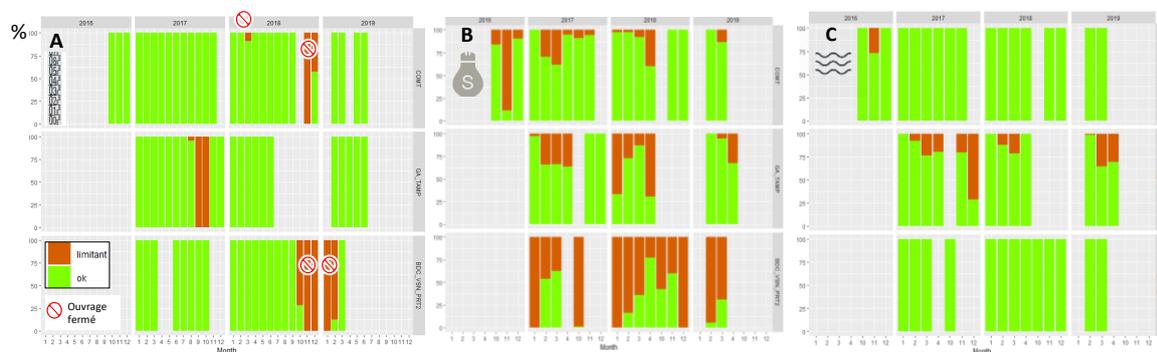


Figure 53 : Barplot représentant le pourcentage du nombre d'heures nuit par mois (où toutes les données sont disponibles) où A/ la hauteur d'eau, B/ la salinité et C/ le sens et la vitesse du courant, qui sont pris en compte dans le calcul de franchissement, sont favorables ou limitants pour le passage des civelles. Ne sont représentés que les paramètres pour lesquels des périodes limitantes sont observées.

Influence de paramètres environnementaux

Les modèles développés pour expliquer la présence et la densité des civelles prennent en compte uniquement les mois d'octobre à avril.

Le meilleur modèle binomial obtenu pour expliquer la variance des présences de civelles explique jusqu'à 30% de déviance totale. La moitié de cette part de déviance est expliquée par les variations interannuelles (3.21%, Tableau A6 -14) et mensuelles (13.1%). En termes de densité, l'effet principal qui ressort est la variabilité interannuelle avec 20% de déviance expliquée.

Que ce soit en termes de présence-absence ou de densité, le recrutement en civelles a été obtenu plus faible la dernière année de suivi en comparaison avec les deux premières années. Cette variabilité interannuelle ne concorde pas avec celle observée à la passe-piège de l'autre côté du delta, au niveau du pertuis de la Fourcade. En effet, le recrutement y a été le plus faible pendant la saison 2017-2018, suivi de 2018-2019 puis 2016-2017. Les conditions hydrauliques atypiques et particulièrement sèches de l'automne 2017 ont été suggérées pour expliquer ce faible recrutement local (Lambremon et al., 2019). En effet, d'après l'indice de recrutement européen du WGEEL (*Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eels (WGEEL)*, 2018), l'année 2017-2018 fut une meilleure année que 2016-2017.

Du point de vue des tendances mensuelles, les pics de recrutement au niveau de la passe-piège et de notre suivi sont par contre en adéquation, se situant généralement aux alentours des mois de février et de mars (Lambremon et al., 2019). Les captures de civelles y sont de plus très rares voire nulles pendant les mois d'octobre et novembre.

Malgré l'intégration dans le modèle de la variable *Mois*, qui prend déjà en compte un effet de la température, les variables continues et facteur relatives à la température de l'eau ressortent significatives. La variable facteur de température est celle qui explique le plus de variance (3.8%), soulignant l'effet négatif des températures inférieures à 6°C. Le comportement migratoire actif des civelles est en effet connu pour être fortement réduit à ces faibles températures (A. J. Crivelli et al., 2008; Harrison et al., 2014).

Une part de variance est expliquée par l'effet *Station d'échantillonnage* qui met à nouveau en évidence les très faibles présences de civelles au niveau des stations de l'étang du Galabert (au Nord et au Sud). Cet effet peut en partie s'expliquer par l'éloignement de ces stations vis-à-vis des connexions permanentes avec la mer localisées tout au Sud des EMSC (effet de *DistSea*, seulement 1.6% de déviance expliquée, Tableau 8). Toutefois, cet effet ne permet pas d'expliquer pourquoi les présences et les densités de civelles sont parmi les plus élevées à la station du chenal de la Comtesse. En termes de présence-absence, ni les variables relatives aux connexions intermittentes avec la mer, ni celles relatives à la salinité ne permettent d'expliquer cette variabilité spatiale. En termes de densité, un vague effet de la variable *Coup de mer* est obtenu, mais à l'opposé (négatif) de celui attendu (positif, 3.6% de déviance expliquée).

Une fois la part de variabilité interannuelle prise en compte, 8.7% de la variabilité des CPUE⁺ est expliquée par les classes de salinité (Tableau 9). L'hypersalinité apparaît plus favorable aux civelles que les classes poly- et oligohalines, ce qui n'est pas un résultat attendu, puisque les civelles sont généralement attirées par les appels d'eau douce (A. J. Crivelli et al., 2008; Harrison et al., 2014).

La hauteur d'eau, retenue dans le dernier modèle binomial, a un effet positif significatif sur la présence des civelles (4% de déviance expliquée), mais n'explique pas de manière significative les CPUE⁺.

La vitesse du courant sortant obtient un effet négatif significatif dans les modèles de présence-absence qui intègrent jusqu'à 3 variables explicatives (seulement 2% de variance expliquée). Dans les modèles de densités, un effet négatif significatif de la vitesse du courant sortant est également obtenu lorsque testé individuellement (5.2% de déviance expliquée, Tableau A6-15) et, en addition de la variabilité interannuelle, uniquement en relation polynomiale de degré 2 (12.3%, Tableau 9). Les courants sortants trop élevés apparaissent ainsi plutôt limitants à la remontée des civelles, ce qui peut s'expliquer par leur faible capacité de nage à contre-courant (Harrison et al., 2014). Lorsque le courant sortant est trop fort, les civelles peuvent choisir de s'enfouir dans le substrat. Aucun effet significatif n'a été observé pour les vitesses de courant ou débits rentrants. Ainsi, nos relèves réalisées toutes les 24h ne permettent pas de détecter une éventuelle utilisation sélective des courants pour remonter l'hydrosystème (Beaulaton & Castelnaud, 2005; Harrison et al., 2014). De plus, en 24h, les courants peuvent être amenés à changer plusieurs fois de sens.

Bien que non significatif lorsque testé individuellement, un effet significatif de la lune est obtenu dans le modèle de densités intégrant la variabilité interannuelle. La lune noire semble davantage propice à la remontée des civelles que les premiers ou derniers quartiers de lune. L'effet de la lune noire n'est pas significativement différente de celui de la pleine lune, mais le protocole de pêche ayant été réalisé de manière à privilégier au maximum les jours de pêche à proximité des nouvelles lunes, les relèves à proximité des pleines lunes furent rares (39 vs 220 relèves). Cet effet ne peut donc être testé de manière robuste. De plus, l'effet de la lune est souvent interprété comme un effet de l'intensité lumineuse. Cet effet est également à nuancer en fonction de la turbidité, souvent élevée dans les EMSC, et de la nébulosité (Harrison et al., 2014).

Tableau 8 : Analyse de déviations pour les modèles binomiaux de type GLM développés pour expliquer la variabilité de la présence des civelles à partir des variables abiotiques présélectionnées. Dans la colonne « Effet » est indiqué pour les covariables le coefficient de pente et pour les variables facteurs les différentes modalités classées. La significativité des différences entre les modalités sont indiquées par rapport à la modalité référence signalée en gras. Si les différences ne sont pas significatives, les modalités comparées sont en gris.

Variable testée	AIC	Degrés de liberté	p (Test du Chi²)	Significativité	Déviante expliquée cumulée(%)	Effet
<i>Civelles_Pres ~ Année de suivi + Mois ...</i>	404.85	345			15.85	
+ Station	394.07	339	8.72E-04	***	20.81	Gal,Gal1- 2<Versadou<Tampan< Comtesse, Vaisseau< Beauduc
+ DistSea	399.47	344	6.59E-03	**	17.46	-0.07
+ Temp_Man_Fac	378.78	343	2.95E-07	***	22.39	below 6°C <betw. 6 and 12°C<sup. to 12°C
+ Temp_Man	383.48	344	1.34E-06	***	20.93	0.19
+ Sal_Man_Fac	409.67	341	0.529	NS		
+ Moon_Sem	405.92	343	0.231	NS		
+ Vitesse_Sortant	333.16	277	0.003789	**	17.83	-1.52
+ Débit_Sortant	340.24	277	0.253	NS		
+ Haut_mean	325.48	277	6.12E-05	***	19.85	1.14
<i>Civelles_Pres ~ Année de suivi + Mois + Temp_Man_Fac...</i>	378.78	343			22.39	
+ Station	373	337	9.70E-03	**	26.07	Gal,Gal1- 2<Versadou<Tampan< Comtesse, Vaisseau< Beauduc
+ DistSea	376.98	342	0.0513009	NS		
+ Vitesse_Sortant	315.99	275	0.0583	NS		
+ Haut_mean	306.29	275	0.0002674	***	25.929	1.1
<i>Civelles_Pres ~ Année de suivi + Mois + Temp_Man_Fac + Station...</i>	373	337			26.07	
+ Haut_mean	300.68	270	0.015	*	30.03	2.39

Tableau 9 : Analyse de déviations pour les modèles Gamma (fonction de lien Log) de type GLM développés pour expliquer la variabilité des CPUE positives des civelles à partir des variables abiotiques pré-sélectionnées. Dans la colonne « Effet » est indiqué pour les covariables le coefficient de pente et pour les variables facteurs les différentes modalités classées. La significativité des différences entre les modalités sont indiquées par rapport à la modalité référence signalée en gras. Si les différences ne sont pas significatives, les modalités comparées sont en gris. La fonction *poly()* est appliquée aux covariables pour tester des effets non linéaires d'ordre 2. Dans ce cas, ce sont les deux coefficients de pente associés à cette relation qui sont indiqués dans la colonne « effet ».

Variable testée	AIC	Degrés de liberté	p (Test de Fisher)	Significativité	Déviante expliquée cumulée (%)	Effet
Log(Civelles_CPUE+1)~ Année de suivi...	367.75	122	0.00032	***	12.85	2016-2017>2017-2018>2018-2019
+ Station	365.91	116	0.051534	NS		
+ Sal_Man_Fac	361.88	118	0.019158	*	21.51	Hyperhalin> mixoeuhalin,mesohalin> polyhalin>oligohalin
+ Vitesse_Sortant	320.55	105	0.1017	NS		
+ poly(Vit_Sort, 2)	317.98	104	0.0336	*	25.14	-1.23 / -1.24
+ Moon_Sem	318.25	104	0.03992	*	25	0>1>0.5

Conclusions & Perspectives

Les étangs et marais des salins de Camargue constituent un territoire en pleine mutation, qui retrouve aujourd'hui un fonctionnement plus naturel avec des échanges hydrobiologiques qui fluctuent au gré des saisons et des aléas météorologiques. Soumis à un climat méditerranéen, les conditions dans les EMSC sont peu propices à la circulation de la macrofaune piscicole pendant la période estivale. En effet, les conditions de sécheresse prolongée peuvent engendrer dans ces étangs peu profonds des niveaux d'eau très faibles, voire des assècs, et des températures et des salinités très élevées, souvent incompatibles avec la survie de la plupart des espèces aquatiques. Ces conditions peuvent perdurer jusqu'à la saison de l'hiver, comme il l'a été observé notamment au niveau de l'étang du Galabert pendant l'année 2017, une année exceptionnellement sèche avec quasiment aucune précipitation durant l'automne.

Au travers des 3 années de suivis consécutives, réalisées d'octobre à juin, une structuration du peuplement piscicole transparaît entre les différentes stations d'échantillonnage, marquées au Sud par l'influence proche de la mer, et au Nord, par l'apport saisonnier d'eau douce depuis le canal du Versadou. À toutes les stations ont été observés des espèces euryhalines, des espèces typiquement lagunaires telles que les athérines ou le gobie tacheté, des espèces marines migratrices, telles que les juvéniles de muges, de sole commune ou de dorade royale, ou encore l'anguille européenne, espèce migratrice amphihaline. Ces captures montrent que des échanges biologiques avec la mer s'effectuent et qu'une partie du territoire (au moins l'étang de Beauduc) peut à nouveau jouer un rôle de nourricerie pour des espèces migratrices d'origine marine. Ce rôle de nourricerie nécessite toutefois davantage de données pour être confirmé, notamment en regard du retour en mer des futurs reproducteurs. Une vingtaine de juvéniles de soles (entre 20 et 25 cm de longueur), pêchés le plus souvent à l'automne dans le secteur de la Comtesse, ont été conservés afin d'en prélever les otolithes. À partir de ces concrétions calcaires, il sera possible d'évaluer le taux de croissance et de comparer les signatures chimiques avec d'autres lagunes ou systèmes côtiers. Ces résultats pourraient être utiles pour évaluer la contribution du système Vaccarès au stock reproducteur en mer (Morat, 2011b).

Au cours des 4 dernières années, les brèches dans les digues du front de mer situées au sud du site se sont accentuées et les entrées de mer intermittentes se sont multipliées, favorisant les échanges hydrobiologiques avec la mer. D'autres entrées de mer intermittentes peuvent court-circuiter le cheminement jusqu'aux étangs de la Réserve naturelle nationale de Camargue, en créant des connexions plus directes avec la mer au niveau de l'étang des Batayolles, à l'Ouest de l'étang du Tampan. Les captures de civelles et de juvéniles de soles, parfois en très grand nombre dans le chenal de la Comtesse et quasiment nul dans l'étang du Galabert, suggèrent fortement une arrivée de ces individus depuis la plage de Beauduc. L'effet des entrées intermittentes n'a pas pu être mis en évidence dans nos modèles et nécessiterait une meilleure caractérisation, en prenant par exemple en compte une plus longue période d'influence (6 jours dans le cas présent).

Les mesures hydrologiques réalisées en continu témoignent du fort hydrodynamisme des EMSC. Le plus souvent, les conditions de circulation du point de vue hydrologique et physico-chimique apparaissent favorables aux espèces euryhalines, du moins aux athérines qui tolèrent des conditions d'hypersalinité jusqu'à 70g/L. Néanmoins, nos modèles montrent que les athérines préfèrent les conditions méso- à polyhalines et sont moins présentes lorsque les courants, entrants

ou sortants, sont les plus forts. Pendant les périodes de février à juin, les juvéniles de soles semblent également éviter les zones hypersalines et apparaissent plus souvent présentes lorsque le débit se maintient élevé et majoritairement sortant pendant 3 jours d'affilés. Les civelles, qui ont une capacité de nage limitée, sont significativement moins présentes et abondantes lorsque les vitesses de courant sortant sont élevées. L'effet négatif des températures inférieures à 6°C sur leur mobilité a pu être ici vérifié (A. J. Crivelli et al., 2008). Les captures de civelles restent cependant relativement faibles globalement en comparaison avec les captures réalisées au niveau de la passe-piège du pertuis de la Fourcade.

La densité, la taille et la condition des captures dans le secteur de la Comtesse (étang du Tampan, chenal de la Comtesse) suggèrent que les conditions dans les EMSC peuvent encore s'améliorer, notamment du point de vue de la salinité et des ressources trophiques. L'étang du Galabert a montré tout au long du suivi des salinités très élevées. Depuis l'automne 2019, un nouvel ouvrage de connexion de 6m de large a été construit en supplément de l'ancien ouvrage de connexion (à peine environ 1 m d'ouverture, Figure A2-54). Par ailleurs, des travaux de décroisement ont été réalisés sur les secteurs de l'étang du Rascaillan et du Pourtour du Pascaillan. Avec ces nouvelles communications hydrauliques, les échanges hydrologiques sont amplifiés et une diminution de la charge en sel, notamment de l'étang du Galabert s'observe déjà. Il sera intéressant d'étudier comment les peuplements piscicoles évoluent dorénavant et si davantage d'espèces migratrices d'origine marine y seront observées.

Dans le présent rapport, les données relatives au crabe vert et à la crevette grise, ainsi qu'à la dévalaison des anguilles, n'ont pas été exploitées. L'utilisation de ces données permettrait d'apporter davantage d'éléments pour discuter du degré de connexion du cheminement entre la mer et l'étang du Vaccarès *via* les EMSC. Des pics de dévalaison d'anguilles argentées mâles ont en tout cas été observés chaque année pendant les mois d'automne à la station de la Gaze du Marteau, suggérant que ces anguilles peuvent chercher une nouvelle voie de migration pour leur retour en mer *via* les EMSC.

Remerciements

Les trois années de suivis piscicoles ont été réalisées grâce à la participation de très nombreux volontaires enthousiastes ([Annexe 1](#)) et de conditions météorologiques le plus souvent clémentes. Ce fut une expérience très enrichissante, qui a permis de s'imprégner, mois après mois, de l'évolution des paysages émergés et submergés. Un grand nombre de personnes ont ainsi pu être initiés à la pêche scientifique et à l'écologie des espèces aquatiques, directement sur le terrain et à travers des comptes rendus illustrés diffusés après chaque campagne de pêche. Nous tenons à exprimer nos plus vifs remerciements aux nombreux services civiques et volontaires européens qui ont épaulé l'équipe permanente (en particulier Camille Muriany, Corentin Rollet, Carole Leray, Erika Audry, Kim Ferjancic, Lauren Redmond et Hugo Ferreira) ainsi qu'au pêcheur professionnel M. Maillis. Nous remercions également chaleureusement nos financeurs (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, Région Sud Provence Alpes Côte d'Azur, WWF France, Française des Jeux et Fondation Coca-Cola), ainsi que les co-gestionnaires du site (Parc Naturel Régional de Camargue et la Société National de Protection de la Nature) qui nous ont aidé sur le terrain et qui nous ont permis d'accéder à des jeux de données environnementales de qualité.

Références

- Acou, A., Lefebvre, F., Contournet, P., Poizat, G., Panfili, J., & Crivelli, A. J. (2003). Silvering of female eels (*Anguilla anguilla*) in two sub-populations of the Rhône delta. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 368, 55–68. <https://doi.org/10.1051/kmae:2003036>
- 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. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2002.tb00896.x>
- Beaulaton, L., & Castelnaud, G. (2005). The efficiency of selective tidal stream transport in glass eel entering the Gironde (France). *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 378–379, 5–21. <https://doi.org/10.1051/kmae:2005001>
- Beaulaton, L., & Pénil, C. (2009). *Protocole anguille: indice oculaire*. Onema.
- 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.
- Berrebi, P., Rodriguez, P., Tomasini, J.-A., Cattaneo-Berrebi, G., & Crivelli, A. J. (2005). Differential distribution of the two cryptic species, *Pomatoschistus microps* and *P. marmoratus*, in the lagoons of southern France, with an emphasis on the genetic organisation of *P. microps*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65(4), 708–716.
- Bevacqua, D., Melia, P., Crivelli, A. J., De Leo, G. A., & Gatto, M. (2006). Timing and rate of sexual maturation of European eel in brackish and freshwater environments. *Journal of Fish Biology*, 69, 200–208.
- Briand, C., Fatin, D., Ciccotti, E., & Lambert, P. (2005). A stage-structured model to predict the effect of temperature and salinity on glass eel *Anguilla anguilla* pigmentation development. *Journal of Fish Biology*, 67(4), 993–1009. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2005.00798.x>
- Briand, Cédric, Fatin, D., & Lambert, P. (2004). *Effets de la température et de la salinité sur le développement de la pigmentation des civelles (Anguilla anguilla)*. 8.
- Bru, N., Prouzet, P., & Lejeune, M. (2009). Daily and seasonal estimates of the recruitment and biomass of glass eels runs (*Anguilla anguilla*) and exploitation rates in the Adour open estuary (Southwestern France). *Aquatic Living Resources*, 22(4), 509–523. <https://doi.org/10.1051/alr/2009050>
- Brujns, M. C. M., & Durif, C. M. F. (2009). Silver Eel Migration and Behaviour. In G. van den Thillart, S. Dufour, & J. C. Rankin (Eds.), *Spawning Migration of the European Eel: Reproduction Index, a Useful Tool for Conservation Management* (pp. 65–95). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9095-0_4
- 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) | CEPALMAR, pp. 179–209).
- 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(1), 79–86. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9283-6>
- 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, Alain J. (1981). Les peuplements de poissons de la Camargue. *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 35, 617–671.

Edeline, E., Lambert, P., Rigaud, C., & Elie, P. (2006). Effects of body condition and water temperature on *Anguilla anguilla* glass eel migratory behavior. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 331(2), 217–225. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.10.011>

Elie, P., & Rochard, E. (1994). Migration des Civelles d'anguilles (*Anguilla anguilla* L.) dans les estuaires, modalités du phénomène et caractéristiques des individus. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 335, 81–98.

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.

Focant, B., Rosecchi, E., & Crivelli, A. J. (1999). Attempt at biochemical characterization of sand smelt *Atherina boyeri* Risso, 1810 (Pisces, Atherinidae) populations from the Camargue (Rhône delta, France). *Part B*, 7.

Fonds, M. (1979). Laboratory Observations on the Influence of Temperature and Salinity on Development of the Eggs and Growth of the Larvae of *Solea solea* (Pisces). *Marine Ecology-Progress Series*, 1, 91–99.

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. <https://doi.org/10.3354/meps07203>

Gaertner, J., Chessel, D., & Bertrand, J. (1998). Stability of spatial structures of demersal assemblages: a multitable approach. *Aquatic Living Resources*, 11(2), 75–85. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(98\)80063-6](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(98)80063-6)

Gelin, A., Crivelli, A. J., Rosecchi, E., & Kerambrun, P. (2000). Is the brown shrimp *Crangon crangon* (L.) population of the Vaccarès lagoon (Camargue, France, Rhône delta) an annual population? *Comptes Rendus de l'Académie Des Sciences. Serie III, Sciences de La Vie*, 323(8), 741–748.

Gelin, Agnès. (2001). *Ecologie des populations de crustacés décapodes de Camargue: influence des variations de la salinité*. Université de la Méditerranée.

Harrison, A. J., Walker, A. M., Pinder, A. C., Briand, C., & Aprahamian, M. W. (2014). A review of glass eel migratory behaviour, sampling techniques and abundance estimates in estuaries: implications for assessing recruitment, local production and exploitation. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24(4), 967–983. <https://doi.org/10.1007/s11160-014-9356-8>

Kara, M. H., & Quignard, J.-P. (2018a). *Les poissons des lagunes et des estuaires de Méditerranée 2 - Les poissons sédentaires* (ISTE Editions Ltd).

Kara, M. H., & Quignard, J.-P. (2018b). *Les poissons des lagunes et des estuaires de Méditerranée 3B - Les poissons migrants* (ISTE Editions Ltd).

Lambremon, J., Nicolas, D., Georgeon, M., Crivelli, A. J., Contournet, P., & Lebel, I. (2019). *Etude du recrutement en civelles et de leur devenir dans l'étang du Vaccarès. Cohorte 2017- 2018*. [Association MRM, Fédération Nationale de Pêche, Tour du Valat].

Lefebvre, F., Sergent, E., Acou, A., Lecomte-Finiger, R., & Crivelli, A. J. (2003). Recrutement des civelles (*Anguilla anguilla*) sur la côte méditerranéenne française : analyse comparée des caractéristiques biométriques et pigmentaires des saisons 1974-75 et 2000-01. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 368, 85–96. <https://doi.org/10.1051/kmae:2003038>

Louisy, P. (2005). *Guide d'identification des poissons marins. Europe de l'ouest et Méditerranée* (2e ed.).

Morat, F. (2011a). *Influence des apports rhodaniens sur les traits d'histoire de vie de la sole commune (Solea solea) : apports de l'analyse structurale et minéralogique des otolithes*. Aix-Marseille 2.

Morat, F. (2011b). *Influence des apports rhodaniens sur les traits d'histoire de vie de la sole commune (Solea solea) : apports de l'analyse structurale et minéralogique des otolithes*. Aix-Marseille 2.

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 Doctorat].

Okamura, A. (2002). Exotic silver eels *Anguilla anguilla* in Japanese waters: seaward migration and environmental factors. *Aquatic Living Resources*, 15(6), 335–341. [https://doi.org/10.1016/S0990-7440\(02\)01190-7](https://doi.org/10.1016/S0990-7440(02)01190-7)

Pampoulie, C., Chauvelon, P., Rosecchi, E., Bouchereau, J.-L., & Crivelli, A. J. (2001). Environmental factors influencing the gobiid assemblage of a Mediterranean Lagoon: Empirical evidence from a long-term study. *Hydrobiologia*, 445(1–3), 175–181. <https://doi.org/10.1023/A:1017565715463>

Pénil, C., Beaulaton, L., Gatel, F., & Girard, P. (2011). *Guide pratique d'évaluation de l'état sanitaire des anguilles - méthode non létale d'identification des principales lésions anatomo-morphologiques et des principaux parasites externes de l'anguille*. Onema.

Plan de gestion anguille de la France. Rapport de mise en oeuvre - juin 2015. Article 9 du R (CE) n°1100/2007. (2015).

Poizat, G., Chauvelon, P., Rosecchi, E., Crivelli, A. J., & Contournet, P. (1999). Passage de poissons du Rhône par les pompes d'irrigation de Camargue : premiers résultats. *Bulletin Français de La Pêche et de La Pisciculture*, 352, 31–43. <https://doi.org/10.1051/kmae:1999019>

Poizat, G., & Crivelli, A. J. (1997). Use of seasonally flooded marshes by fish in a Mediterranean wetland: timing and demographic consequences. *Journal of Fish Biology*, 51(1), 106–119. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1997.tb02517.x>

Poizat, Gilles, Rosecchi, E., Chauvelon, P., Contournet, P., & Crivelli, A. J. (2004). Long-term fish and macro-crustacean community variation in a Mediterranean lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 59(4), 615–624.

R Development Core Team, . (2005). *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing.

Report of the Joint EIFAAC/ICES/GFCM Working Group on Eels (WGEEL). (2018). 151.

Rosecchi, E., Chauvelon, P., Poizat, G., & Crivelli, A. J. (1998). *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*. http://www.tourduvalat.org/sites/default/files/liteau1_camargue_rapport_final.pdf

Rosecchi, E., & Crivelli, A. J. (1992). Study of a sand smelt (*Atherina boyeri* Risso 1810) population reproducing in fresh water. *Ecology of Freshwater Fish*, 1(2), 77–85. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.1992.tb00076.x>

Rosecchi, E., & Crivelli, A. J. (1995). Sand smelt (*Atherina boyeri*) migration within the water system of the Camargue, southern France. *Hydrobiologia*, 300–301(1), 289–298. <https://doi.org/10.1007/BF00024469>

Sartor, P., Sbrana, M., Ungaro, N., Marano, C. A., Piccinetti, C., & Manfrin, G. P. (2002). Distribution and abundance of *Citharus linguatula*, *Lepidorhombus boschii*, and *Solea vulgaris* (Osteichthyes: Pleuronectiformes) in the Mediterranean Sea. *Scientia Marina*, 66, 83–102.

Trancart, T., Feunteun, E., Danet, V., Carpentier, A., Mazel, V., Charrier, F., Druet, M., & Acou, A. (2017). Migration behaviour and escapement of European silver eels from a large lake and wetland system subject to water level management (Grand-Lieu Lake, France): New insights from regulated acoustic telemetry data. *Ecology of Freshwater Fish*, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1111/eff.12371>

ANNEXES

Annexe 1 : Planning des pêches scientifiques réalisées dans les EMSC et liste des participants

Année 2016-2017 :

	17-20 Oct. 2016		14-18 Nov. 2016		12-16 Dec. 2016		23-27 Janv. 2017		20-24 Fev. 2017	
	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse
Lundi	Samuel (TDV), Camille (SC), M. Maillis (Pêcheur pro.)	Pascal (TDV), Florian (SC), Delphine (TDV)	Samuel, Camille, M.Maillis	Pascal, Florian	Samuel, M.Maillis	Pascal, Florian	Samuel, Camille, M. Maillis	Pascal, Florian	Delphine, M. Maillis, Kim (E+)	Pascal, Florian
Mardi	Samuel, Camille, M. Maillis	Pascal, Florian, Erika (SC), Delphine	Samuel, Camille, M.Maillis	Pascal, Florian, Delphine, Nicole Yavercovski (TDV)	Samuel, Camille, M.Maillis	Pascal, Florian, Delphine, Carole, Emeline Sabourin (TDV)	Samuel, Camille, M. Maillis, Carole	Pascal, Florian, Emilie, Delphine, Christelle Tougard (ISEM Montpellier), Jehan Hervé-Lignot (MARBEC Montpellier)	Delphine, Florian, M. Maillis, Kim	Pascal, Emilie, Carole, Clément (stagiaire BTS), Carole Nourry (ONCFS)
Mercredi	Samuel, Camille, M. Maillis, Delphine	Pascal, Florian, Erika, Carole (SC)	Samuel, Camille, M.Maillis	Pascal, Florian, Carole, Violaine Doreau (PNRC), Emmanuel Vialet (PNRC)	Delphine, Camille, M.Maillis	Pascal, Florian, Nathalie Barre (TDV), Terence Gaget (Stagiaire 3ème)	Samuel, Delphine, Camille	Pascal, Florian, Emilie, Carole, Elie Gaget (TDV)	Delphine, Florian, Cyril Girard, M. Maillis	Pascal, Emilie, Kim, Clément, Nadège
Jeudi	Delphine, Camille, M.Maillis	Pascal, Florian, Erika, Carole, Kamel El Bachir (TDV), Laurent Brosse (Aqua-Logiq)	Samuel, Camille, M. Maillis, Delphine, Cyril Girard (Illustrateur)	Pascal, Florian, Sophie Guingand (TDV), Gwenael Wasse (TDV)	Samuel, Camille, M.Maillis,	Pascal, Florian, Carole, Ilse Geizendorffer (TDV)	Samuel, Carole, Nadège (SC), Charlotte (TDV)	Pascal, Florian, Emilie, Lisa Ernoul (TDV), Marc Thibault (TDV)	Delphine, Florian, M. Maillis, Kim	Pascal, Emilie, Carole, Clément, Thomas Galewsky (TDV)
Vendredi	-	-	Delphine, Camille	Pascal, Florian	Samuel, Camille	-	-	Pascal, Florian	Delphine, Florian, M. Maillis, Kim	-

TDV = Personnel Tour du Valat ; SC= Service civique TDV; SVE = Service volontaire européen TDV ; E+=Erasmus+ TDV ;

PNRC = Parc Naturel Régional de Camargue ; SNPN = Société Nationale de Protection de la Nature.

	21-23 Mars 2017		18-21 Avr. 2017		15-19 Mai 2017		19-22 Juin 2017	
	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse
Lundi	Samuel, M. Maillis	Pascal, Florian	Delphine, M.Maillis	Pascal, Florian	Samuel, M.Maillis	Pascal, Florian	Samuel, Corentin (SC)	Pascal, Florian
Mardi	Samuel, Kim, M. Maillis	Pascal, Emilie, Florian, Delphine, Delphine Marobin (PNRC)	Delphine, M. Maillis, Kim	Pascal, Emilie, Florian, Christelle Tougard, Nigel Taylor (TDV), Sanae Zinouni (TDV)	Samuel, Kim, M.Maillis	Pascal, Emilie, Florian, Delphine, Muriel (TDV), Coralie (MedWet)	Samuel, Corentin	Pascal, Emilie, Florian, Christelle Tougard, Stéphanie Bertrand, Lionel et Dominique (CD13)
Mercredi	Samuel, Kim, Delphine, M. Maillis, Claire Tetreil (PNRC)	Pascal, Emilie, Florian, Gaëtan Lefebvre (TDV), Brigitte Poulain (TDV), Christelle Tougard	Delphine, Kim, Laura Dami (TDV), Corentin (SC)	Pascal, Emilie, Florian, Carole, Erika, Virgine Mauclert (TDV)	Samuel, Kim, Delphine, M.Maillis	Pascal, Emilie, Florian, Irène Badone (E+), Nigel (TDV), Nicole Y.	Samuel, Corentin, Lucien, Julie G. (ONCFS)	Pascal, Emilie, Florian, Carole, Maillis (MedWet)
Jeudi	Samuel, Kim, M. Maillis, Arnaud (Stagiaire M2)	Pascal, Emilie, Florian, Delphine, Nicola Chericoni (stagiaire M2 SNPN/TDV)	Delphine, Kim, Nicola, Maillis (stagiaire BTS)	Pascal, Emilie, Florian, Nadège, Charlotte R. (SC), Jean Roché (Photograph)	Samuel, Kim, Antoine Gazaix (TDV), M.Maillis	Pascal, Emilie, Florian, Carole, Lucien (bénévole TDV)	Samuel, Nadège, Solenne (stagiaire), Virginie M. (TDV)	Pascal, Emilie, Florian, Silke Befeld (SNPN)
Vendredi	-	-	-	-	Samuel, Florian	-	-	-

Année 2017-2018 :

	9-12 Oct. 2017		20-24 Nov. 2017		11-15 Dec. 2017		15-19 Janv. 2018		12-16 Fev. 2018	
	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse
Lundi	Samuel (TDV), Corentin (SC)	Pascal (TDV), Florian (SC)	Samuel, Corentin	Pascal, Florian	Samuel, Corentin	Pascal, Hugo F.	Samuel	Pascal, Hugo	Samuel	Pascal, Dorian
Mardi	Samuel, Corentin, Lauren (SE), Hugo F. (SE)	Pascal, Emilie (TDV), Florian, Marion V. (TDV), équipe anglo- polonaise (épinoches)	Samuel, Corentin, Mailis (MedWet)	Pascal, Emilie, Florian, Delphine, Hugo F.	Samuel, Corentin	Pascal, Emilie, Hugo F., Lauren, Sofia (SE)	Samuel, Lauren	Pascal, Emilie, Delphine, Dorian (SC), Jehan Hervé- Lignot (MARBEC Montpellier)	Samuel, Corentin	Pascal, Dorian, Emilie, Delphine, Lauren, Gwenaël W. (TDV)
Mercredi	Samuel, Corentin, Lauren	Pascal, Emilie, Florian, Delphine (TDV), Hugo F.	Samuel, Corentin, Antoine A. (TDV)	Pascal, Emilie, Delphine, Emeline S. (TDV), Laura Dami (TDV)	Samuel, Corentin, Delphine, Lauren	Pascal, Christelle Tougaard, Yves Tougaard, Marion L. (TDV), Carole (SC)	Samuel, Corentin, Delphine, Justine Rouchon (SC)	Pascal, Dorian, Emilie, Ilse Geijzendorffer (TDV), Marc Thibault (TDV)	Samuel, Corentin	Pascal, Dorian, Suzanne Catteau (TDV), Hélène Baudel (stagiaire M2), Abdelhamid Azeroual (prof. université Maroc)
Jedi	Samuel, Corentin, Delphine, Lauren, équipe anglo- polonaise (épinoches)	Pascal, Emilie, Florian, Jean- Claude Pic (TDV), Christelle Tougaard (ISEM Montpellier) et Yves Tougaard	Samuel, Corentin	Pascal, Emilie, Florian, Hugo F., Isabelle (MedWet)	Samuel, Corentin, Lauren	Pascal, Emilie, Delphine, Carole, Clément (SC)	Samuel, Lauren	Pascal, Dorian, Emilie, Corentin, Christophe Blazy (bénévole)	Samuel, Corentin, Lauren, Abdelhamid Azeroual, Delphine	Pascal, Dorian, Emilie, Justine, Delphine Marobin (PNRC)
Vendredi	-	-	-	-	-	Pascal, Emilie, Delphine, Corentin, Lauren	Samuel, Corentin	-	Samuel, Corentin	-

	12-16 Mars 2018		9-13 Avril 2018		14-18 Mai 2018		11-15 Juin 2018	
	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse
Lundi	Samuel	Dorian, Corentin	Samuel, Lauren	Pascal, Dorian	Samuel	Pascal, Dorian	Samuel	Pascal, Dorian
Mardi	Samuel, Corentin	Dorian, Emilie, Delphine, Hugo L.V., Fanny Guillaud (stagiaire M2)	Samuel, Stéphane Mutel (stagiaire M2)	Pascal, Emilie, Delphine, Lauren, Dorian	Samuel, Lauren	Pascal, Dorian, Delphine, Emilie, Jean Jalbert (TDV)	Samuel, Lauren	Pascal, Dorian, Amélie Granger (stagiaire M2), Nathalie Barré (TDV), Hugo L.V.
Mercredi	Samuel, Corentin	Dorian, Emilie, Delphine, Justine, Benjamin (thésard ONCFS/TDV)	Samuel, Delphine, Baptiste S. (stagiaire M2), Nicole Bonfils (TDV)	Pascal, Dorian, Stéphane M., Hugo L.V. (SC), Benjamin Bricault (SNPN)	Samuel, Emilie	Pascal, Dorian, Delphine, Audrey et Amélie (stagiaires M1)	Samuel, Baptiste S. (stagiaire M2)	Pascal, Dorian, Justine, Aurore Fayard (stagiaire M2), Irene Badone (E+)
Jedi	Samuel, Corentin	Dorian, Emilie, Lauren, Galvin, Baptiste Segura (stagiaire M2)	Samuel, Lauren	Pascal, Dorian, Emilie, André Luna-Laurent (bénévole), Delphine Marobin-Louche (PNRC), Cléia (stagiaire 3ème PNRC)	Samuel, Claire Tetrel (PNRC), Isabelle (stagiaire PNRC)	Pascal, Dorian, Delphine, Hugo L.V., Marie Granier (PNRC)	Samuel, Lauren	Pascal, Dorian, Sandy Vérin (stagiaire M2), Baptiste S., Nicolas Martin (stagiaire DUT)
Vendredi	Samuel, Corentin	-	Samuel, Lauren	-	Samuel, Dorian	-	Samuel, Léa Riera (TDV)	-

Année 2018-2019 :

	8-12 Oct. 2018		5-9 Nov. 2018		3-7 Déc. 2018		7-10 Jan. 2019		4-7 Fév. 2019	
	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse
Lundi	Samuel, Florent (SC)	Pascal, Dorian	Samuel, Florent (SC)	Pascal, Dorian	Samuel, Florent (SC)	Pascal, Dorian	Samuel, Florent (SC)	Pascal, Dorian	Samuel, Florent (SC)	Pascal, François Marc (stagiaire BTS GPN)
Mardi	Samuel, Florent	Pascal, Dorian, Emilie, Hugo F. (SC), Hugo L-V. (SC), Sarra Chabou (Thésarde algérienne)	Samuel, Florent, Kamel (TdV)	Pascal, Dorian, Emilie, Delphine, Emeline (Thésarde TdV), Sylviane Johnson (Amis de la TdV)	Samuel, Florent, Carole Leray (Bénévole)	Pascal, Dorian, Emilie, Delphine, David (Thésard TdV), Oscar (Postdoc TdV), [+Frankjan Sipkes Duijsens Artiste-Photographe]	Samuel, Delphine	Pascal, Dorian, Antoine, Hugo L.V. (SC), Oscar (Postdoc)	Samuel, Delphine	Pascal, François, Emilie, Carole (bénévole), Frédérique et Bernard Mallet (bénévoles)
Mercredi	Samuel, Florent	Pascal, Dorian, Antoine A., Hugo F., Evelyne Viloeau (Amis TDV)	Samuel, Florent, Jordane Lambremon (MRM), Antoine Caudiu (MRM) et Alexandre Masne (MRM)	Pascal, Dorian, Antoine A., Emeline, Benjamin Solgrain (SC), Evelyne Viloteau (Amis de la TdV)	Samuel, Florent, Delphine, Cyril Girard (Dessinateur) [+Frankjan Sipkes Duijsens]	Pascal, Dorian, Emilie, Benjamin (SC), Carole	Samuel, Hugo F. (SC)	Pascal, Dorian, Emilie, Carole, Marc Thibaud, Bruno Guinand (ISEM, Montpellier)	Samuel, Claire Tétrel (PNRC)	Pascal, François, Delphine, Dorian (bénévole), Aurélie Lassus-Débat (PNRC), Anne-Sophie Hervy (TdV), Hugo Grillas (bénévole)
Jeudi	Samuel, Florent	Pascal, Dorian, Emilie, Lorena Segura-Champagnon (TDV), Jocelyn Champagnon (TDV), Gwenaël Wasse (TDV)	Samuel, Florent, Emeline	Pascal, Dorian, Emilie, Emmanuelle Migne (SNPN), Frédérique et Bernard Mallet (pêcheurs)	Samuel, Florent, Hugo (SC)	Pascal, Dorian, Antoine A., Marine (SC), Jordane Lambremon (MRM), Antoine Caudiu (MRM)	/	Pascal, Dorian, Emilie, Benjamin (SC), Dilara (thésarde)	Samuel, Antoine	Pascal, François, Emilie, Dorian, Carole, Benjamin (SC), Marie Suet (TdV)
Vendredi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	4-7 Mar. 2019		1-5 Avr. 2019		13-16 Mai 2019		ANNULE (Travaux)	
	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse	Beauduc	Comtesse
Lundi	Samuel	Pascal, Luna Dupont (stagiaire Bac Pro GPMN)	Samuel	Pascal, Maude	Samuel, Pelayo Menendez (SVE)	Pascal, Maude	-	-
Mardi	Samuel, Marc	Pascal, Emilie, Delphine, Luna, Maude Parent (stagiaire M2), Laurence Corrad et Pierre Coulon (Amis TDV)	Samuel, Flo et Coralie	Pascal, Emilie, Delphine, Maude, Laura MC et Benjamin (SC)	Samuel, Delphine, Jean E.R. (Amis TdV) et Cinzia Podda (Cagliari, Sardaigne)	Pascal, Emilie, Maude, Isle (TdV), Mélanie (stage M2) et Pelayo	-	-
Mercredi	Samuel, Luna, Maude	Pascal, Emilie, Dorian (amis TDV), Fanikos (TDV), Aurélie Lassus-Débat (PNRC), Jehan-Hervé Lignot et Margot Grimmelpont (MARBEC)	Samuel, Delphine	Pascal, Emilie, Maude, Katia (Stagiaire), Aurélie (PNRC) et David Lazin (bénévole)	Samuel, Maude, Mathilde Charpentier (stage M2)	Pascal, Emilie, Delphine, Marie Granier (PNRC), Paul (SC) et Cinzia	-	-
Jeudi	Samuel, Delphine Marobin (PNRC)	Pascal, Dorian, Maude, Luna, Nigel (TDV) et Jean Roche (amis TDV)	Samuel, Maude, Jean R.	Pascal, Emilie, Delphine, Gwen, Luisa, Isabelle et Marie (IFREMER)	Samuel, Pelayo, Claire Tétrel (PNRC)	Pascal, Emilie, Maude, Delphine Marobin (PNRC), Cinzia, Jean E.R., Mathilde	-	-
Vendredi	-	-	-	-	-	-	-	-

Annexe 2 : Nouvel ouvrage de connexion entre les étangs du Galabert et du Tampan



Figure A2-54 : Photographies du nouvel ouvrage de connexion entre l'étang du Galabert et l'étang du Tampan prises le 9/9/2019. Des pierres ont été incrustées dans le radier pour faciliter le passage des poissons et un tapis-brosse a été installé sur les parois pour faciliter les franchissements des civelles.

Annexe 3 : Carte représentant l'ensemble des ouvrages et instruments des EMSC

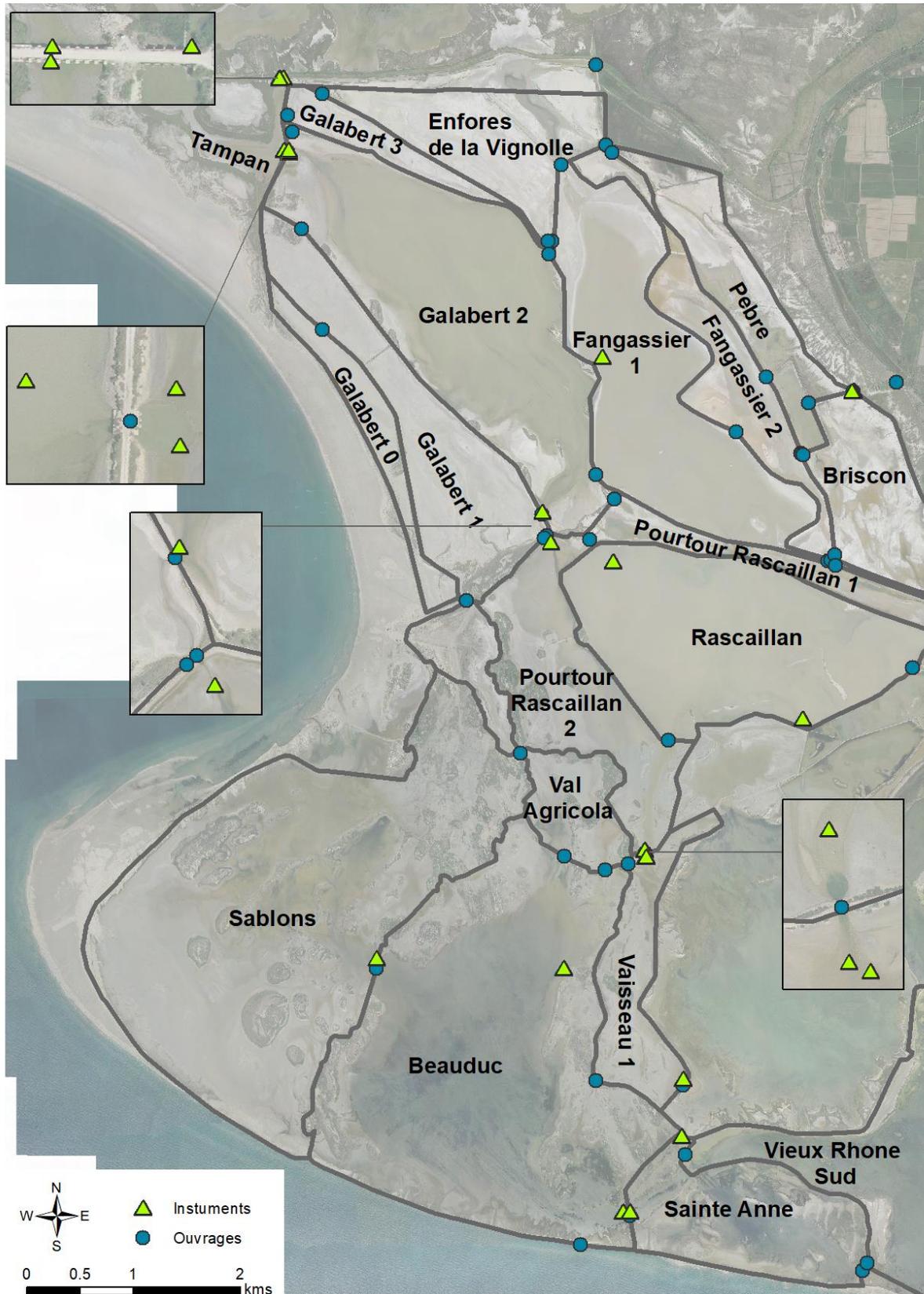


Figure A3-55 : Localisation des ouvrages de connexion (qui soient fonctionnels ou non) et des instruments de mesures continues dans les EMSC

Annexe 4 : Figures supplémentaires relatives à l'exploration des données environnementales

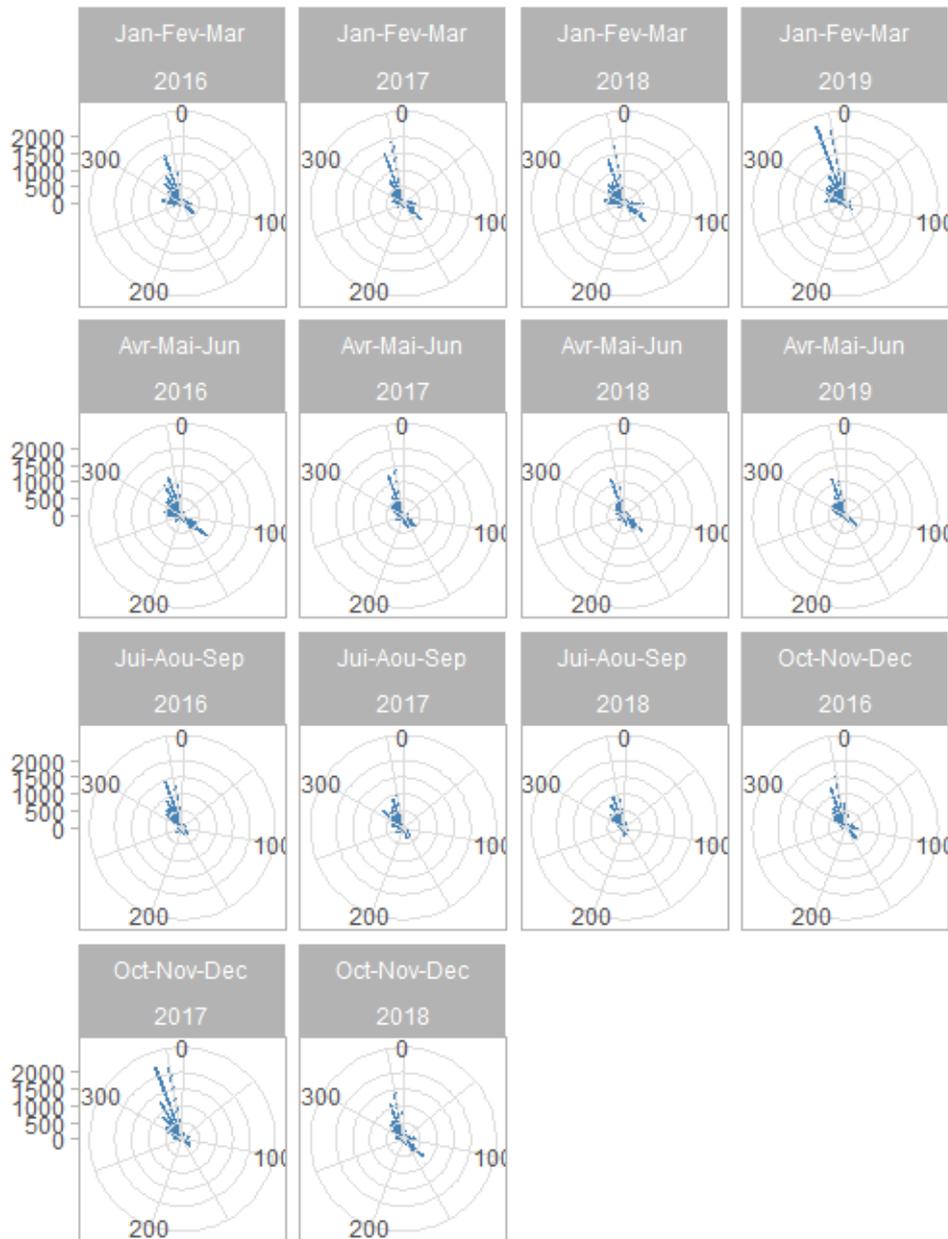


Figure A4-56 : Rosace des vents par trimestre entre janvier 2016 et mai 2019. Les directions et les vitesses de vents obtenues en moyenne par heure sont représentées. Source : Station météorologique de la Tour du Valat.

Quel que soit la période de l'année, les vents dominants sont de secteur Nord-Nord-Ouest, soit du mistral. Le vent de mistral s'accompagne d'un rafraîchissement des températures.

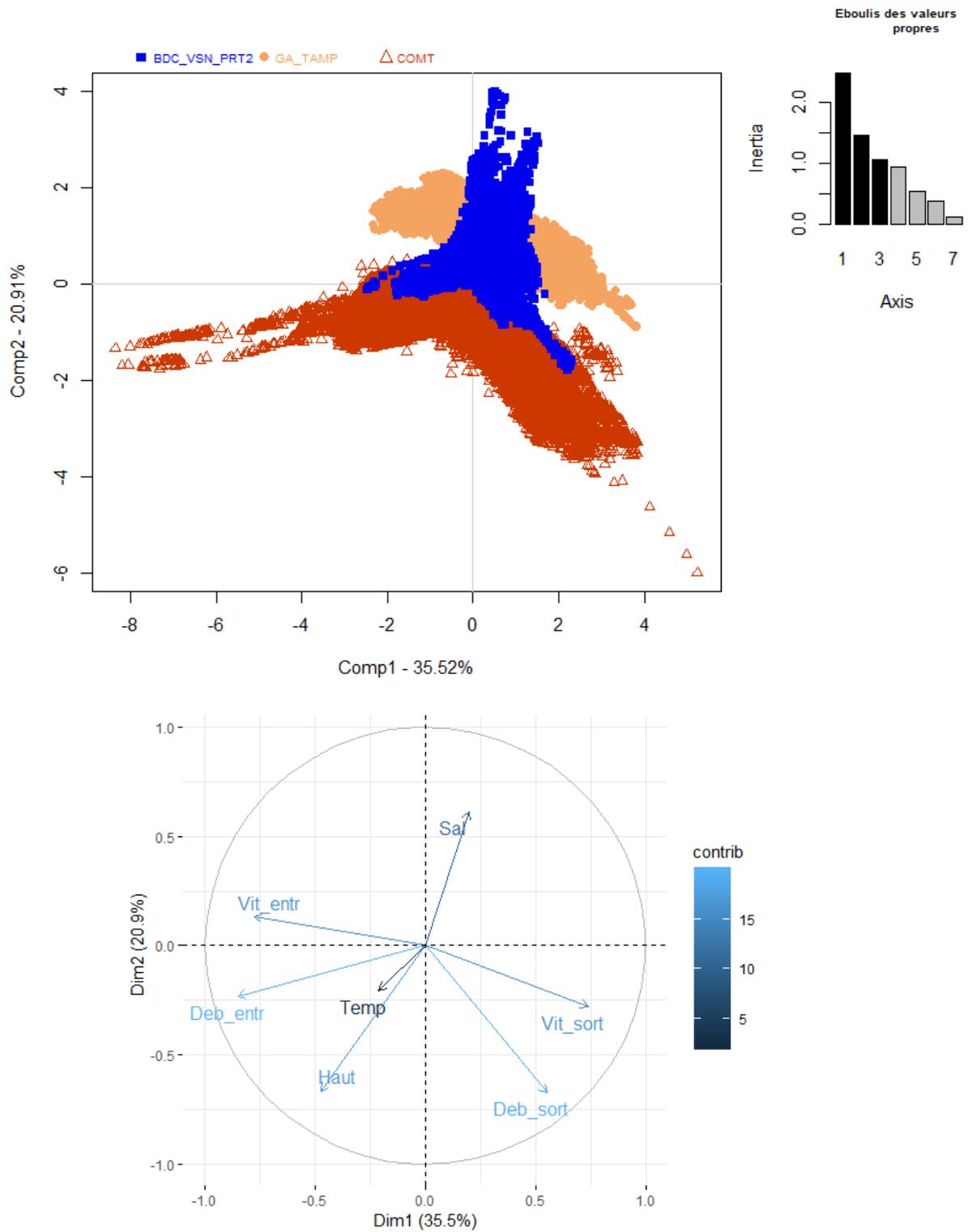


Figure A4-57 : Premier plan factoriel d'une analyse en composantes principales normée réalisée sur les moyennes horaires des variables hydrologiques et physico-chimiques mesurées en continu sur 3 ouvrages de connexion : Beauduc-Vaisseau-Pourtour du Rascaillan (BDC_VSN_PRT2), Galabert-Tampam (GA_TAMP) et Comtesse (COMT). En haut, plan des individus (Site_Année_Mois), en haut à droite, ébolis des valeurs propres, en bas, cercle de corrélations des variables.

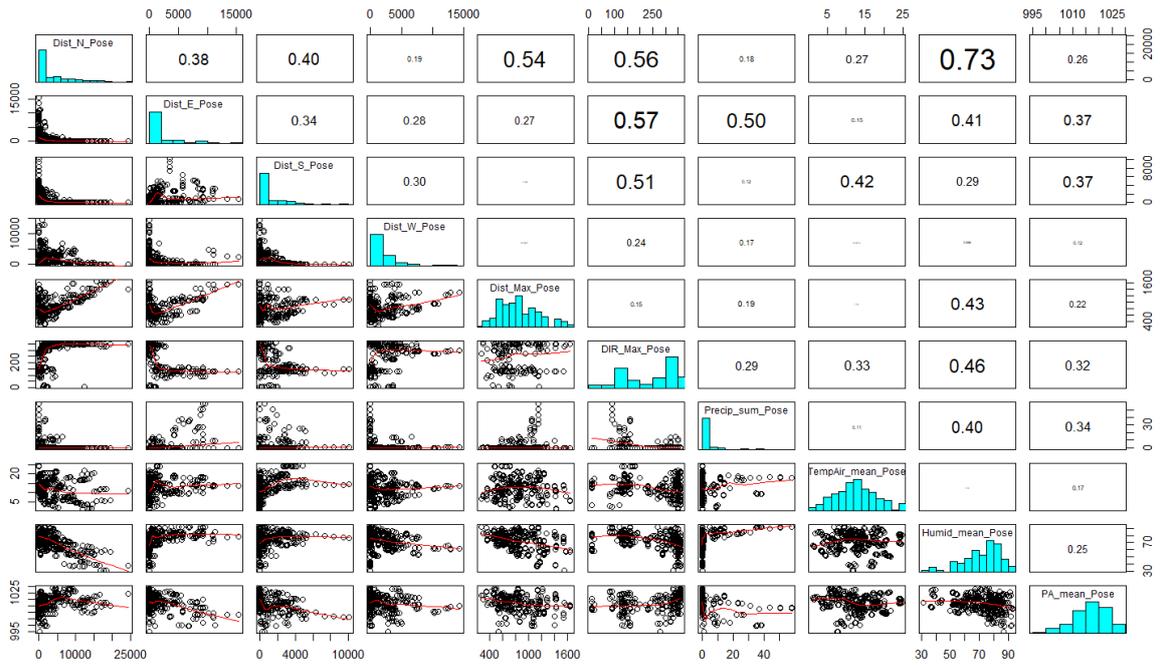


Figure A4-58 : Matrice de corrélations et relations graphiques entre les variables météorologiques pour les 500 jours-stations de relèves de pêche. Le coefficient de corrélation de Pearson est appliqué. Les valeurs absolues sont indiquées.

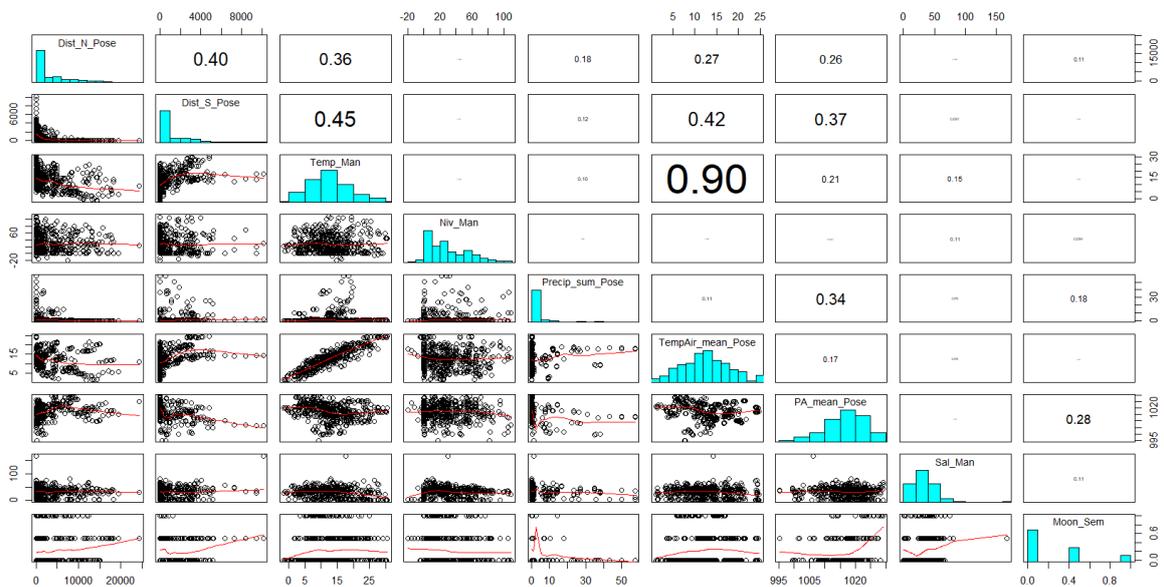


Figure A4-59 : Matrice de corrélations et relations graphiques entre les variables météorologiques sélectionnées et les variables physico-chimiques pour les 500 jours-stations de relèves de pêche. Le coefficient de corrélation de Pearson est appliqué. Les valeurs absolues sont indiquées.

Annexe 5 : Liste des taxons identifiés lors des campagnes de pêche dans les EMSC

Tableau A5-10 : Liste des taxons identifiés par site d'échantillonnage. Les regroupements taxonomiques utilisés dans les analyses sont indiqués. Le classement des espèces en fonction de leur utilisation écologique du système est fourni : MO = marine occasionnelle ; MM = marine migratrice ; LM = lagunaire migratrice ; LG = lagunaire ; ED = eau douce ; AN = anadrome ; CA = catadrome.

Subphilum	Classe	Regroupement taxonomique	Nom français	Nom scientifique	Groupe écologique	BEAUDUC	VAISSEAU	GALABERT 1-2	GALABERT	TAMPAN	COMTESSE	GAZE DU MARTEAU	VERSADOU	
Crustacea	Malacostraca	CARIDINE	Caridine	<i>Atyaephyra desmaresti</i>	FS									
		CRABE DE VASE AMERICAIN	Crabe de vase américain	<i>Rhithropanopeus harrisi</i>	ES									
		CRABE GRAPSE MARBRÉ	Crabe marbré	<i>Pachygrapsus marmoratus</i>	ES									
		CRABE VERT DE MÉDITERRANÉE_tot	Crabe vert de Méditerranée	<i>Carcinus aestuarii</i>	EM									
		CREVETTE CARAMOTE	Crevette caramote	<i>Penaeus kerathurus</i>	ME									
		CREVETTE NETTOYEUSE	Crevette nettoyeuse rouge	<i>Lysmata seticaudata</i>	MS									
		CREVETTE_GRISE_tot	Crevette grise	<i>Crangon crangon</i>	EM									
		ECREVISSE DE LOUISIANE	Ecrevisse de Louisiane	<i>Procambarus clarkii</i>	FS									
		GAMMARE	Gammaré	<i>Gammaridae</i>	ES									
		Palaemonidae_tot	Crevette bouquet balte	<i>Palaemon adspersus</i>	ES									
		Palaemonidae_tot	Crevette bouquet	<i>Palaemon serratus</i>	MS									
		Palaemonidae_tot	Crevette des marais	<i>Palaemonetes sp</i>	ES									
		Palaemonidae_tot	Palaemonidae	<i>Palaemonidae</i>										
		Mollusca	Cephalopoda	SEPIOLIDAE NI	Sepiolidae	<i>Sepiolidae</i>	MS							
Vertebrata	Actinopterygii	ABLETTE	Ablette	<i>Alburnus alburnus</i>	FS									
		ALOISE FEINTE	Alose feinte du Rhône	<i>Alosa fallax rhodanensis</i>	AN									
		ANCHOIS_tot	Anchois	<i>Engraulis encrasicolus</i>	MM									
		ANGUILLE	Anguille d'Europe	<i>Anguilla anguilla</i>	CA									
		ATHERINIDAE_tot	Athérinidés	<i>Atherina sp</i>	ES									
		ATHERINIDAE_tot	Joël	<i>Atherina boyeri / A. lagunae</i>	ES									

BAR FRANC	Bar européen	<i>Dicentrarchus labrax</i>	MM
BARBUE	Barbue	<i>Scophthalmus rhombus</i>	MM
BLENNIE DIABOLO	Blennie diablo	<i>Parablennius incognitus</i>	MS
BLENNIE PAON	Blennie-paon	<i>Salaria pavo</i>	ES
BLENNIE SPHYNX	Blennie sphynx	<i>Aidablennius sphynx</i>	MS
BLENNIE TRIGLOÏDE	Blennie trigloïde	<i>Lipophrys trigloides</i>	MS
BOUVIÈRE	Bouvière	<i>Rhodeus amarus</i>	FS
BREME_tot	Brème bordelière	<i>Blicca bjoerkna</i>	FS
BREME_tot	Brème d'eau douce	<i>Abramis brama</i>	FS
BREME_tot	Brèmes NI	<i>Breme spp</i>	FS
CARPE_tot	Carpe commune	<i>Cyprinus carpio</i>	FS
CONGRE	Congre d'Europe	<i>Conger conger</i>	MS
CRENILABRE DE MÉLOPS	Crénilabre de Mélops	<i>Symphodus melops</i>	MS
DORADE ROYALE_tot	Dorade royale	<i>Sparus aurata</i>	MM
ÉPINOCHÉ	Epinocché à trois épines	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	ES
FLET	Flet d'Europe	<i>Platichthys flesus</i>	CA
GAMBUSIE	Gambusie	<i>Gambusia affinis</i>	FS
GARDON	Gardon	<i>Rutilus rutilus</i>	FS
GOBIE NOIR	Gobie noir	<i>Gobius niger</i>	ES
GOBIE PAGANELLE	Gobie paganel	<i>Gobius paganellus</i>	ES
GOBIE ZEBRE	Gobie zébré	<i>Zebrus zebrus</i>	MS
GOBIE_tot	Gobidés	<i>Gobiidae</i>	ES
GOBIE_tot	Gobie buhotte	<i>Pomatoschistus minutus</i>	ES
GOBIE_tot	Gobie tacheté	<i>Pomatoschistus microps</i>	ES
GOUJON ASIATIQUE	Pseudorasbora	<i>Pseudorasbora parva</i>	FS
GOUJON	Goujon	<i>Gobio gobio</i>	FS
GRÉMILLE	Grémille	<i>Gymnocephalus cernuus</i>	FS
MÉROU BRUN	Mérou brun	<i>Epinephelus marginatus</i>	MS
MOTELLE DE MEDITERRANEE	Motelle à 3 barbillons	<i>Gaidropsarus mediterraneus</i>	MS



MUGE_tot	Mugilidés	<i>Mugilidae</i>	MM	
MUGE_tot	Mulet à grosse tête	<i>Mugil cephalus</i>	MM	
MUGE_tot	Mulet doré	<i>Chelon aurata</i>	MM	
MUGE_tot	Mulet porc	<i>Chelon ramada</i>	MM	
MUGE_tot	Mulet sauteur	<i>Chelon saliens</i>	MM	
PERCHE SOLEIL	Perche soleil	<i>Lepomis gibbosus</i>	FS	
PETITE VIVE	Petite vive	<i>Echiichthys vipera</i>	MS	
POISSON CHAT	Poisson-chat	<i>Ameiurus melas</i>	FS	
RASCASSE BRUNE	Rascasse brune	<i>Scorpaena porcus</i>	MS	
ROTENGLE	Rotengle	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	FS	
SANDRE	Sandre	<i>Sander lucioperca</i>	FS	
SAR À MUSEAU POINTU	Sar à museau pointu	<i>Diplodus puntazzo</i>	MS	
SAR COMMUN	Sar commun	<i>Diplodus sargus</i>	MM	
SARDINE COMMUNE	Sardine commune	<i>Sardina pilchardus</i>	MM	
SAUPE	Saupe	<i>Sarpa salpa</i>	MM	
SERPENTON IMBERBE	Serpenton imberbe	<i>Dalophis imberbis</i>	MS	
SILURE GLANE	Silure glane	<i>Silurus glanis</i>	FS	
SOLEIDAE_tot	Sole	<i>Solea solea</i>	MM	
SOLEIDAE_tot	Soleidae	<i>Soleidae_juvenile</i>	MM	
SPRAT	Sprat	<i>Sprattus sprattus</i>	MM	
SYNGNATHE_tot	Syngnathe à museau long	<i>Syngnathus tenuirostris</i>	ES	
SYNGNATHE_tot	Syngnathe de lagune	<i>Syngnathus abaster</i>	ES	
SYNGNATHE_tot	Syngnathes	<i>Syngnathus sp</i>	ES	

Annexe 6 : Résultats des modèles GLM à une variable explicative

Tableau A6- 11 : Analyse de déviations pour les modèles binomiaux de type GLM développés pour expliquer la variabilité de la présence des athérines à partir des variables abiotiques présélectionnées, testées chacune séparément. Dans la colonne « Effet » est indiqué pour les covariables le coefficient de pente et pour les variables facteurs les différentes modalités classées. La significativité des différences entre les modalités sont indiquées par rapport à la modalité référence signalée en gras. Si les différences ne sont pas significatives, les modalités comparées sont en gris.

	Variable testée	AIC	Degrés de liberté	p (Test du Chi²)	Significativité	Déviante expliquée (%)	Effet
Athérines_Pres ~ ...	Null	562	469			0	
	Année de suivi	552.49	467	0.001163	**	2.41	2017-2018< 2016-2017 <2018-2019
	Saison	564.08	467	0.3827	NS		
	Mois	555.48	461	0.004046	**	4.02	3<4<11<2<12, 1 <5<10<6
	Temp_Man	562.77	468	0.2668	NS		
	Temp_Man_Fac	565.21	467	0.6753	NS		
	Station	450.37	462	< 2.2e-16	***	22.43	Versadou,Galabert<Gal1- 2<Tampan<Gaze.Mart.< Beauduc , Vaisseau <Comtesse
	DistSea	545.52	468	1.72E-05	***	3.3	-0.10433
	DistSeaCM	546.95	468	3.63E-05	***	3.05	-0.08893
	Sal_Man_Fac	511.26	465	5.34E-12	***	10.49	oligohalin< hyperhalin <mixoeuhalin<mesoh alin<polyhalin
	Sal_Man	560.41	468	0.05822	NS		
	Niv_Man	563.19	468	0.3681	NS		
	Niv_Man_Fac	546.38	467	5.50E-05	***	3.5	medium< high <low
	Moon_Fac	561.15	466	0.07671	NS		
	Moon_Sem	562.07	467	0.1403	NS		
	Null	428.8	378			0	
	Haut_mean	359.61	377	< 2.2e-16	***	16.68	2.0647
	Vitesse_Sortant	424.78	377	0.01416	*	1.41	-0.9971
	Vitesse_Rentrant	409.62	377	4.19E-06	***	4.96	-2.0877
	Débit_Sortant	430.11	377	0.4071	NS		
	Débit_Rentrant	425.61	377	0.02276	*	1.22	0.7599

Tableau A6-12 : Analyse de déviations pour les modèles Gamma (fonction de lien Log) de type GLM développés pour expliquer la variabilité des CPUE positives des athérines à partir des variables abiotiques présélectionnées. Dans la colonne « Effet » est indiqué pour les covariables le coefficient de pente et pour les variables facteurs les différentes modalités classées. La significativité des différences entre les modalités sont indiquées par rapport à la modalité référence signalée en gras. Si les différences ne sont pas significatives, les modalités comparées sont en gris. La fonction *poly()* est appliquée aux covariables pour tester des effets non linéaires d'ordre 2. Dans ce cas, ce sont les deux coefficients de pente associés à cette relation qui sont indiqués dans la colonne « effet ».

	Variable testée	AIC	Degrés de liberté	p (Test de Fisher)	Significativité	Déviante expliquée (%)	Effet
<i>Athérines_CPUE+ ~ ...</i>	Null	1484.9	336			0	
	Année de suivi	1486.2	334	0.1923	NS		
	Saison	1477.1	334	0.000771	***	3.2	Aut >Spr, Win
	Mois	1457.2	328	2.24E-08	***	11.4	4,3,5,2<11,12,1<6,10
	Temp_Man	1486.3	335	0.4306	NS		
	poly(Temp_Man)	1488.3	334	0.695	NS		
	Temp_Man_Fac	1488.4	334	0.7484	NS		
	Station	1427.7	329	5.30E-14	***	17.9	Vers<Vaisseau<Tampan,Galabert<Galabert1-2, Beauduc <Gaze_Marteau,Comtesse
	DistSea	1485.6	335	0.2088	NS		
	DistSeaCM	1486.9	335	0.9513	NS		
	Sal_Man_Fac	1478.7	332	0.001956	**	3.8	hyperhalin , oligohalin, mixoeuhalin<polyhalin<mesohalin
	Sal_Man	1477.2	335	0.0006224	***	2.6	-0.006605
	poly(Sal_Man,2)	1478.7	334	0.001995	**	2.8	4.2
	Niv_Man	1484.7	335	0.1091	NS		
	Niv_Man_Fac	1479.6	334	0.004141	**	2.5	medium, high <low
	Moon_Fac	1466.5	333	3.94E-06	***	6.5	last<new,first,full
	Moon_Sem	1472	334	5.32E-05	***	4.5	0.5< 0 <1
	Null		283				
	Vitesse_Sortant	1243.1	282	0.0001735	***	3.8	4.65
	Vitesse_Rentrant	1249.8	282	0.00979	**	1.7	0.45
	Débit_Sortant	1254.4	282	0.4637	NS		
	Débit_Rentrant	1244.8	282	0.0005894	***	3.2	0.28
	Haut_mean	1243.1	282	0.0003217	***	3.8	0.25

Tableau A6-13 : Analyse de déviations pour les modèles binomiaux de type GLM développés pour expliquer la variabilité de la présence des jeunes de l'année de Soléidés (Soles_YOY) à partir des variables abiotiques pré-sélectionnées, testées chacune séparément. Dans la colonne « Effet » est indiqué pour les covariables le coefficient de pente et pour les variables facteurs les différentes modalités classées. La significativité des différences entre les modalités sont indiquées par rapport à la modalité référence signalée en gras. Si les différences ne sont pas significatives, les modalités comparées sont en gris.

Variable testée	AIC	Degrés de liberté	p (Test du Chi²)	Significativité	Déviante expliquée (%)	Effet
Soles_YOY_Pres ~ ...	219.16	186			0	
Année de suivi	208.87	184	0.0007878	***	6.58	2016-2017 > 2017-2018 > 2018-2019
Mois	217.93	182	0.05564	NS		
Temp_Man	216.02	185	0.02346	*	2.36	0.05871
Temp_Man_Fac	219.82	184	0.1887	NS		
Station	173.21	181	8.32E-11	***	25.76	Galabert1-2, Galabert < Beauduc , Tampan < Vaisseau < Comtesse
DistSea	221.16	185	0.9607	NS		
DistSeaCM	221.16	185	0.9607	NS		
Sal_Man_Fac	206.73	182	0.0004104	***	9.41	hyperhalin < polyhalin < mixoeuhalin < mesohalin < oligohalin
Sal_Man	205.43	185	7.33E-05	***	7.24	-0.04944
Niv_Man	218.12	185	0.08116	NS		
Niv_Man_Fac	220.34	184	0.2449	NS		
Null	192.6	157			0	
Haut_mean	180.92	156	0.0002168	***	7.18	1.3949
Vitesse_Sortant	194.6	156	0.9748	NS		
Vitesse_Rentrant	192.29	156	0.1281	NS		
Débit_Sortant	179.51	156	0.0001022	***	7.92	4.2116
Débit_Sortant	179.51	156	0.0001022	***	7.92	4.2116
Débit_Sort_48H	170.6	153	2.85E-06	***	11.6	5.8741
Débit_Sort_72H	167.64	153	6.11E-07	***	13.2	6.6864
Débit_Sort_96H	169.23	153	1.40E-06	***	12.34	7.1352
Débit_Sort_120H	172.37	153	5.37E-05	***	10.7	7.4627
Débit_Rentrant	193.12	156	0.2232	NS		
Débit_Rentr_48H	189.49	153	0.08184	NS		
Débit_Rentr_72H	189.06	153	0.06303	NS		
Débit_Rentr_96H	188.59	153	0.04771	*	2.1	1.0763
Débit_Rentr_120H	188.2	153	0.03781	*	2.3	1.1218

Tableau A6 -14 : Analyse de déviations pour les modèles binomiaux de type GLM développés pour expliquer la variabilité de la présence des civelles à partir des variables abiotiques présélectionnées, testées chacune séparément. Dans la colonne « Effet » est indiqué pour les covariables le coefficient de pente et pour les variables facteurs les différentes modalités classées. La significativité des différences entre les modalités sont indiquées par rapport à la modalité référence signalée en gras. Si les différences ne sont pas significatives, les modalités comparées sont en gris.

Variable testée	AIC	Degrés de liberté	p (Test du Chi ²)	Significativité	Déviante expliquée (%)	Effet
Civelles_Pres ~ ...	461.74	353			0	
Année de suivi	450.98	351	6.24E-04	***	3.21	2016-2017 >2017-2018>2018-2019
Saison	436.81	351	5.23E-07	***	6.29	Winter> Spring > Automne
Mois	413.48	347	3.98E-11	***	13.1	10<11<4, 1 <12<2<3
Temp_Man	461.74	352	0.1575	NS		
Temp_Man_Fac	447.45	351	0.0001066	***	3.98	below 6°C <sup. to 12°C<betw. 6 and 12°C
Station	451.83	347	0.001255	**	4.77	Gal,Gal1-2<Tampan,Versadou< Beauduc , Comtesse, Vaisseau
DistSea	456.52	352	0.007217	**	1.57	-0.059
CM	461.48	351	0.133	NS		
DistSeaCM	461.84	352	0.1683	NS		
Sal_Man_Fac	461.89	349	0.09739	NS		
Sal_Man	463.19	352	0.4585	NS		
Niv_Man	462.58	352	0.2816	NS		
Moon_Fac	463.39	350	0.2257	NS		
Moon_Sem	463.72	352	0.8825	NS		
Null	383.11	286			0	
Vitesse_Sortant	372.36	285	0.0003546	***	3.35	-1.77
Vitesse_Rentrant	383.83	285	0.2572	NS		
Débit_Sortant	380.58	285	0.03317	*	1.19	-1.4
Débit_Rentrant	381.6	285	0.06083	NS		
Haut_mean	369.25	285	6.80E-05	***	4.16	1.01

Tableau A6-15 : Analyse de déviations pour les modèles Gamma (fonction de lien Log) de type GLM développés pour expliquer la variabilité des CPUE positives des civelles à partir des variables abiotiques présélectionnées, chacune testée séparément. Dans la colonne « Effet » est indiqué pour les covariables le coefficient de pente et pour les variables facteurs les différentes modalités classées. La significativité des différences entre les modalités sont indiquées par rapport à la modalité référence signalée en gras. Si les différences ne sont pas significatives, les modalités comparées sont en gris. La fonction *poly()* est appliquée aux covariables pour tester des effets non linéaires d'ordre 2. Dans ce cas, ce sont les deux coefficients de pente associés à cette relation qui sont indiqués dans la colonne « effet ».

	Variable testée	AIC	Degrés de liberté	p (Test de Fisher)	Significativité	Déviante expliquée (%)	Effet
<i>Log(Civelles_CPUE+1)~ ...</i>	Null	382.09	124			0	
	Année de suivi	367.8	122	0.0003202	***	12.85	2016-2017 >2017-2018>2018-2019
	Saison	382.75	122	0.2439	NS		
	Mois	382.45	118	0.1128	NS		
	Temp_Man	384	123	0.8358	NS		
	poly(Temp_Man)	385	122	0.6563	NS		
	Station	375.9	118	0.01267	*	12.74	Vaisseau> Comtesse> Beauduc , Galabert, Tampan, Versadou, Galabert 1-2
	DistSea	383.3	123	0.418	NS		
	DistSeaCM	384.03	123	0.8277	NS		
	CM	379.48	123	0.04349	*	3.6	-0.001
	Sal_Man_Fac	374.5	120	0.01091	*	11.04	Hyperhalin > mixoeuhalin,mesohalin> polyhalin>oligohalin
	Sal_Man	378.5	123	0.0301	*	4.13	0.008473
	poly(Sal_Man,2)	377.8	122	0.02885	*	6.04	1.58 / -1.10164
	Niv_Man	382.9	123	0.3069	NS		
	Moon_Fac	384.39	121	0.3774	NS		
	Moon_Sem	383	122	0.2717	NS		
	Null	343.61	108			0	
	Vitesse_Sortant	339.4	107	0.021	*	5.18	-0.83771
	poly(Vit_Sort,2)	340.55	106	0.04845	*	5.87	-1.79 ; -0.57
	Vitesse_Rentrant	342.03	107	0.08111	NS		
	poly(Vit_Rentr,2)	343.84	106	0.2025	NS		
	Débit_Sortant	345.61	107	0.987	NS		
	poly(Déb_Sort,2)	347.6	106	0.9984	NS		
	Débit_Rentrant	344.56	107	0.3451	NS		
	poly(Déb_Rentr,2)	346.28	106	0.571	NS		
	Haut_mean	341.24	107	0.05206	NS		