



Détermination spatio-temporelle de la répartition de l'espèce exotique envahissante Crabe bleu américain (*Callinectes sapidus*) au sein du delta du Rhône

Chloé BERTHOUD

AEST – Agronomie Environnement Santé des Territoires
Stage d'avril 2025 à septembre 2025

Delphine MAROBIN-LOUCHE
Chargée de mission Mer et Littoral



Remerciements

A ma tutrice de stage Delphine Marobin-Louche, chargée de mission Mer et Littoral :

Un grand merci à Delphine pour sa personnalité tout entière. Je lui suis redevable de sa pédagogie, son dynamisme et sa gentillesse. Merci à elle d'aimer autant la biodiversité et de transmettre cette passion par ses réalisations aussi inspirantes que sa personne.

A Jenna Dacuhna et Pauline Lajarrige, écogardes marins du PNRC

Je tenais aussi à remercier chaleureusement Jenna et Pauline pour les heures de soutien qu'elles m'ont apporté au niveau des pêches, du bricolage de matériel et encore plein d'autres situations. Elles ont été plus que de simples collègues.

A Lola Rigollet, Julie Mengarelli, Alex Crestey, Charles Bravo, Philemon Winter, Victor Carton, Bérénice Jaeck-Rochette, Maelys Marage, Delphine Tourte, Gustave Kemnhou-Nguefang, Magali Gorce : je voulais vous remercier individuellement pour être venu me prêter mains fortes sur les pêches de crabes bleus. Votre intérêt pour la problématique de cette EEE m'a beaucoup touché. Et un remerciement spécial aux collègues Natura qui ont souhaité valoriser mon travail en le présentant à leurs Copils respectifs.

A Rachel Linard, Marie-Lou Degez, Laetitia Poulet, Maxime Hucbourg :

De sincères remerciements à tous mes collègues qui ont été des sources de données très précieuses et qui m'ont permis de leur emprunter du matériel, précieux à l'étude.

A Saïd Chenoufi, Frederic et Kader Chenoufi :

Un grand merci pour m'avoir suivi et conseillé dans tous mes bricolages farfelus. La bonne humeur et la taquinerie étaient un bonus très agréable pour travailler.

A tous les autres collègues du PNRC :

Je tenais à exprimer ma gratitude à l'équipe entière du parc, qui m'a très rapidement intégrée dans ses rangs. La bonne ambiance régnante était une des raisons qui me faisaient autant aimer travailler ici.

A Katia Lombardini et Nathalie Barre :

De puissants remerciements à ces pionnières du réseau pole-relais lagune qui ont su m'inclure dans un réseau d'acteurs très dense et m'encourager dans les poursuites de l'étude.

A Christophe Ruiz, garde littoral du conservatoire du littoral, commune de Port-St-Louis :

C'est avec une grande reconnaissance que je voulais remercier Christophe pour son aide précieuse, apportée sur le terrain. Il cherchait toujours à perfectionner ses épuisettes, pourtant très fonctionnelles. Il nous a beaucoup aidé lors des pêches. Alors un grand merci à lui.

A Jean Claude Benoit, Anthony Faiges, David Sanchez, Fabien Sanchez, Phillipe Rossellini, Michael Vallayer, pêcheurs professionnels

Une pensée à tous ces pêcheurs professionnels qui ont accepté de me suivre dans ce projet, malgré mon jeune profil. Leur aide m'a été très précieuse, que ce soit par leur

expérience ou leurs cadeaux de crabes bleus. Je les remercie pour le temps qu'ils m'ont consacré.

A Delphine Nicolas, Emilie Laurent et Samuel Hilaire :

Un remerciement pour les collègues de la tour du Valat, qui m'ont permis de connaître le comportement du crabe bleu au sein de leur site, mais qui m'ont aussi prêté du matériel indispensable pour le suivi larvaire.

A Benjamin Aubert et son collègue garde-digue des Saintes Maries de la mer :

Une volonté de remercier ces garde-digue qui ont aussi effectué une veille permanente de l'invasion de l'espèce au niveau du pertuis de la Fourcade.

A Alois Roy, garde de la réserve nationale de Camargue :

Je tiens à remercier Alois pour la création des premiers répliques d'épuisettes et pour m'avoir fait découvrir une partie de son site.

A Guillaume Marchessaux, chercheur sur le crabe bleu au M.I.O :

Le soutien d'un professionnel de la thématique a été très apprécié, surtout avec une telle convivialité. C'est pour cela que je tenais à remercier Guillaume, pour toutes les informations et protocoles partagés avec générosité. Merci d'avoir mis en place un partenariat pour la lutte contre le crabe bleu entre nos deux établissements dans un cadre aussi amical.

Table des matières

INTRODUCTION

PARTIE 1 : Etat de l'art.....P.3

1.1. Les espèces exotiques envahissantes, un enjeu majeur qui peut mettre en état critique une zone à protéger

1.1.1 Définition et législations

1.1.2. Pression des espèces exotiques envahissantes sur les écosystèmes

1.2. Le crabe bleu américain : connaître son cycle de vie pour mieux contrer son expansion

1.2.1 Histoire de l'implantation du crabe bleu en Méditerranée

1.2.2. Biologie du crabe bleu pour la reproduction.

1.2.3. Causes de la dangerosité du crabe bleu sur les écosystèmes marins et lagunaires

1.3. Le delta du Rhône face à cette espèce exotique envahissante, un combat scientifique et collectif à mener

1.3.1 Un réseau hydrique particulièrement complexe

1.3.2 Une nécessité d'adapter des protocoles communs à l'échelle plus locale du delta.

PARTIE 2 : MATERIELS ET METHODES..... P.12

2.1 Communiquer avec les acteurs du territoire autour de la question du crabe bleu par le rôle d'animation du parc

2.2 Détermination de la répartition théorique du crabe bleu appliquée au delta du Rhône

2.2.1. Délimitation de la zone d'étude

2.2.2. Récupération des données et construction de bases de données

2.2.3. Réalisation des cartes de Salinity Habitat Suitability (SHS)

2.3. Evaluation de la répartition réelle du crabe bleu en fonction de son cycle biologique appliquée à la zone d'étude.

2.3.1 Mise en place d'un suivi biométrique sur l'ensemble de la zone d'étude

2.3.1.1 Localisation des zones de pêche et opérateurs impliqués

2.3.1.2. Planification d'un relevé mensuel de crabe bleu.

2.3.1.3. Prise de mesures biométriques (protocole Marchessaux et Garrido,2024)

2.3.1.4. Traitement statistique des données

2.3.2. Mise en place d'un suivi larvaire au niveau de lieux d'échanges mer-lagune.

2.3.2.1. Comparaisons des zones susceptibles de capter des larves

2.3.2.2. Mise en pratique du protocole de la FAO 2024

2.3.2.3. Manipulations de Zooscan et analyse de résultats.

PARTIE 3 : Exploitation des résultats.....P.25

3.1 Résultats de dispersion spatiale du crabe bleu au sein du delta du Rhône, une dispersion dépendant de critères physico-chimiques

- 3.1.1 Mise en perspective des prédictions faites au préalable
- 3.1.2 Impact de la salinité sur le sexe ratio
- 3.1.3 Recrutement des larves de crabe bleu au sein du littoral méditerranéen
- 3.1.4 Repérage d'un lieu clé pour l'extraction de l'espèce

3.2 Résultats de dispersion temporelle du crabe bleu au sein du delta du Rhône, un cycle fidèle à celui décrit par la bibliographie, mais adapté au milieu

PARTIE 4 : Discussion des résultats.....P.37

4.1. Aspect expérimental de l'étude

- 4.1.1. Absences de récoltes de données
- 4.1.2. Lacunes de résultats du suivi larvaire
- 4.1.3. Rôle de gestionnaire du PNRC

4.2. Aspects sociétaux de la lutte contre le crabe bleu et inspirations internationales

4.3. Année 2025, une année spéciale pour la mer

PARTIE 5 : Sensibilisation et valorisation de l'étude.....P.43

5.1 Sensibilisation aux impacts du crabe bleu sur l'écosystème laguno-marin

- 5.1.1 Sensibilisation des pêcheurs amateurs
- 5.1.2 Sensibilisation du grand public

5.2 Valorisation de l'étude menée durant la saison

CONCLUSIONP.44

ANNEXES

Table des annexes

Annexe 1 : Cycle de développement du crabe bleu

Annexe 2 : Photographie et schéma de l'épuisette rigide confectionnée pour la lutte contre le crabe bleu

Annexe 3 : Cartographies SHS du delta de Camargue des mois de 2024 et d'une partie des mois de 2025

Annexe 4 : Retour d se console : résultats du test exact de Fisher des mois de juin, juillet et août

Annexe 5 : Résultats statistiques de la largeur de carapace des mois de juin et août

Annexe 6 : Cycle de développement du crabe bleu en Camargue durant les années 2024 et 2025

Annexe 7 : Photos capturant les moments importants du stage

Table des figures

Figure 1 : Organigramme Parc naturel régional de Camargue au 1er juillet 2025

Figure 2 : Cycle biologique du crabe bleu au sein d'un habitat laguno-marin

Figure 3 : Cartographie du périmètre du Parc naturel régional de Camargue

Figure 4 : Cartographie des gestionnaires du territoire de la Camargue

Figure 5 : Tableau de présentation du formatage de la base de données pour ODV

Figure 6 : Vue aérienne de la zone de pêche à pied de la « Bassine » et itinéraire de marche

Figure 7 : Planning prévisionnel de stage

Figure 8 : Dessin explicatifs des différentes mesures à prendre sur un crabe bleu

Figure 9 : Tableau de présentation du formatage de la base de données de suivi biométrique

Figure 10 : Vue aérienne des sites de collectes larvaires de la zone de l'herbier de Beauduc

Figure 11 : Vue aérienne des sites de collectes larvaires de la zone de la « Bassine »

Figure 12 : Vue aérienne des sites de collectes larvaires de la zone du canal des Impériaux

Figure 13 : Description du collecteur larvaire sous forme schématique et photographique

Figure 14 : Cartographie SHS du delta de Camargue du mois de septembre 2024

Figure 15 : Cartographie de la représentation du sexe-ratio des populations de crabe bleu au mois de juin au sein du delta du Rhône

Figure 16 : Cartographie de la représentation du sexe-ratio des populations de crabe bleu au mois de juillet au sein du delta du Rhône

Figure 17 : Cartographie de la représentation du sexe-ratio des populations de crabe bleu au mois d'août au sein du delta du Rhône

Figure 18 : Box-plot des largeurs de carapace (cw) de chaque classe de maturité de la population de crabe bleu de la « Bassine » au mois de juillet

Figure 19 : Box-plot des largeurs de carapace (cw) de chaque classe de maturité de la population de crabe bleu de l'étang d'Icard au mois de juillet

Figure 20 : Box-plot des largeurs de carapace (cw) de chaque classe de maturité de la population de crabe bleu de l'étang du Palun au mois de juillet

Figure 21 : Cartographie de la représentation de la maturité des populations de crabe bleu au mois de juin au sein du delta du Rhône

Figure 22 : Cartographie de la représentation de la maturité des populations de crabe bleu au mois de juillet au sein du delta du Rhône

Figure 23 : Cartographie de la représentation de la maturité des populations de crabe bleu au mois d'août au sien du delta du Rhône

Figure 24 : Tableau récapitulation des pêches menées à la « Bassine »

Table des illustrations

Illustration 1 : Photographie d'un crabe bleu mâle adulte

Illustration 2 : Fragment de scanner issu du traitement de l'échantillon de B2 de juin au ZooScan

Illustration 3 : Capture du scanner de l'échantillon B2 de juin mettant en évidence une mégalope de crabe bleu

Illustration 4 : Mégalope de crabe bleu observée sous loupe binoculaire (Zoom x16)

Table des abréviations

CD 13 : Conseil Départemental des Bouches-du-Rhône

CW : Largeur de la carapace

EEE : Espèce Exotique Envahissante

FAO : Food and Agriculture Organization

MIO : Institut Méditerranéen d'Océanologie

ODV : Ocean Data View

PNRC : Parc Naturel Régional de Camargue

SHS : Salinity Habitat Suitability

SIT : Système d'Information Territorial Eaux **SNPN** : Société Nationale de Protection de la Nature

Introduction

Le crabe bleu (*Callinectes sapidus*, Rathbun, 1896), originaire des Etats-Unis, a été recensé pour la première fois dans les eaux méditerranéennes françaises en 1901 (Amanieu M. 1961). Cet animal engendre de nombreux dégâts, que ce soit d'un point de vue écologique, avec la destruction d'un écosystème en dérégulant la chaîne trophique, ou d'un point de vue économique, avec les pertes de poissons et de filets des pêcheurs professionnels petits métiers (Collectivité de Corse, 2024). Les enjeux sont de taille et répartis sur plusieurs domaines : économique, environnemental et social ; il en va donc de trouver des solutions pour atténuer les effets de ce crabe non indigène, classé comme une espèce exotique envahissante (EEE) de niveau 1, espèce à surveiller pour ses impacts sur les écosystèmes dans lesquels elle s'implante. Cet enjeu est très présent au sein du delta du Rhône, mais n'a pas encore eu le temps d'être étudié pleinement. En effet, cette nouvelle menace biologique est récente en Camargue, puisque la première observation de femelle prête à pondre a été faite en 2019 par les agents du Parc (Labrune, 2021) et la première explosion de population s'est observée en 2023 (Basilico, 2024). C'est le Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC) qui émerge en tant que précurseur dans la lutte du crabe bleu ciblée au niveau du delta du Rhône en jouant un rôle de veille de l'arrivée de l'espèce auprès des pêcheurs professionnels.

Dans ce territoire concourant de nombreuses activités humaines, le PNRC se doit de concilier des enjeux de biodiversité, mais aussi d'agriculture, de tourisme ou encore de gestion de l'eau. Tous ces enjeux sont mis en lien avec le rôle principal du Parc de protection et de conservation du patrimoine naturel et culturel du territoire. Les agents du Parc ont chacun des missions qui leur sont propres et diversifiées. Le PNRC est également gestionnaire de plusieurs territoires acquis foncièrement par le Conservatoire du littoral, au sein de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Il porte un rôle important dans la gestion de la biodiversité de ce hot spot français qu'est la Camargue. Il a également un objectif de maintien des activités traditionnelles, comme la pêche en lagunes et en mer et l'agriculture.

C'est au sein du service eau, biodiversité et développement rural, que le pôle mer et littoral (Figure 1) agit au niveau du littoral et d'espaces lagunaires pour suivre les espèces protégées (animales et végétales) tout en accompagnant les pêcheurs professionnels et en sensibilisant le grand public aux enjeux de demain. *Callinectes sapidus* en fait partie. En effet, le crustacé menace les écosystèmes marins et lagunaires, ainsi que les pêcheurs professionnels, basant leurs activités sur des espèces sauvages.

De par la nature rapide de l'invasion, et par la force de menace, il est nécessaire de trouver des méthodes de lutte contre l'espèce exotique envahissante. De nombreux chercheurs se sont concentrés sur l'étude du crustacé sur des territoires mitoyens, précocement impactés. Cependant, le crabe bleu a une dynamique d'invasion différente d'un lieu à l'autre et d'une année à l'autre. En 2024, une étude sur l'espèce a été menée par des chercheurs pour comprendre le degré d'invasion du crabe bleu sur les lagunes méditerranéennes de toute la côte française, en fonction de la salinité de l'eau. Face à la charge de travail et aux gradients forts et complexes de la Camargue, la salinité du delta du Rhône a été simplifiée en une seule. Cette simplification ne rend donc pas compte de la

réalité, et il est nécessaire d'affiner les résultats pour avoir une meilleure vision de l'impact qu'a le crabe bleu sur ce milieu très hétéroclite.

C'est dans le cadre de ce problème que le mémoire de fin d'étude émerge en réponse à une problématique bien précise : « **Comment déterminer la répartition spatio-temporelle de l'espèce exotique envahissante du crabe bleu américain (*Callinectes sapidus*), dans l'optique d'une diminution de pression de colonisation au sein d'une mosaïque de milieux aquatiques telle que le delta du Rhône ?** »

Plusieurs hypothèses sont alors déclinées quant à la répartition du crabe.

H1 : La répartition des mâles et des femelles dépend de la salinité de l'eau dans lesquels les crabes bleus évoluent.

H1a : Les crabes adultes femelles se trouvent au niveau des eaux salées.

H1b : Les crabes adultes mâles se trouvent au niveau des eaux saumâtres.

H2 : Le recrutement des mégalopes de crabe bleu dans le complexe aquatique se fait par les zones de graus.

H2a : Des larves seront trouvées dans l'herbier de zostères de Beauduc.

H2b : Des larves seront trouvées dans la « Bassine » de Port-Saint-Louis, une lagune temporaire récente où de nombreux juvéniles sont présents.

H2c : Aucune larve ne sera trouvée dans le canal des Impériaux, qui relie l'écosystème lagunaire Vaccarès avec la mer.

H3 : Les périodes relatives au cycle de développement du crabe bleu seront légèrement décalées dans le temps, par rapport à celles de l'année dernière.

La phase de propagation du crabe en Camargue (perçue par l'augmentation soudaine de la population) ne s'est déclenchée qu'en 2024, aucune recherche n'a été préalablement réalisée sur cette espèce sur ce territoire mais une simple veille. En ce sens, les missions exercées auront toutes un caractère exploratoire et expérimental. Cependant, l'objectif premier de ce stage est de comprendre le comportement du crabe bleu au sein du delta du Rhône, en transposant les connaissances acquises sur l'espèce, à ce nouveau lieu d'invasion.

Pour ce faire, ce mémoire se décline en quatre parties. La première transcrit l'état de l'art du sujet du crabe bleu, regroupant la morphologie de l'animal et son cycle biologique. La deuxième partie se concentre sur les matériels et méthode de l'étude, passant de la modélisation théorique avec les cartes Salinity Habitat Suitability (SHS) à la pratique avec les observations sur le terrain dans le cadre de suivis biométriques et larvaires. La troisième partie regroupe les résultats pour amener à des conclusions sur la problématique posée. Enfin, la dernière partie sera consacrée à la mise en discussion des méthodes utilisées lors de l'étude dans l'optique de mettre en perspective l'étude réalisée.

PARTIE 1 : Etat de l'art

1.1. Les espèces exotiques envahissantes, un enjeu majeur qui peut mettre en état critique une zone à protéger

1.1. Définition et législations

Une espèce exotique envahissante (EEE) est « une espèce exotique (allochtone, non indigène) dont l'introduction (volontaire ou fortuite) par l'Homme, l'implantation et la propagation menacent les écosystèmes, les habitats ou les espèces indigènes avec des conséquences négatives sur les services écosystémiques et/ou socio-économiques et/ou sanitaires » (Sarat, 2015). Pour devenir invasive, une espèce exotique doit faire face à de nombreuses barrières, que ce soit géographiques, environnementales, reproductives ou de dispersion. En effet, si le groupe biologique n'est pas capable de se reproduire et d'étendre son aire de répartition, alors il n'y a pas de colonisation et elle n'est pas qualifiée d'envahissante (IUCN France, 2015). Il est bon à noter que le terme d'espèce exotique envahissante est sémantiquement discutable puisque c'est un terme anthropocentré qui néglige le simple développement des individus.

Le statut d'espèce exotique envahissante est reconnu par l'État ainsi que l'Europe et est sujet à un règlement plus ou moins strict en fonction de la catégorisation associée à l'espèce. En effet, les articles L. 411-5 et L. 411-6 du Code de l'environnement (Muller, 2017) répartissent les EEE en deux niveaux. Le premier interdit seulement l'introduction de l'espèce, alors que pour le niveau 2 il est interdit d'élever, de commercialiser, d'exporter l'espèce ; en d'autres termes, toute forme de transit d'animaux vivants est alors strictement interdite. En 2014, suite au règlement n°1143/2014 du 22 octobre, chaque état membre peut établir une liste d'espèces jugées préoccupantes pour son territoire. En 2022, cette liste européenne dénombrait 96 espèces, dont 54 espèces animales (Ministère de la Transition écologique, 2017). La directive-cadre « stratégie pour le milieu marin » n°2008/56/CE qualifie l'introduction d'espèces exotiques de danger pour la biodiversité européenne. Il est demandé alors aux états européens d'inclure les EEE dans la description du « bon état écologique » (Ministère de la Transition écologique, 2017).

1.1.2 Pression des espèces exotiques envahissantes sur les écosystèmes

La gestion de ces espèces animales comme végétales peut être complexe, et les conséquences résultant de leur colonisation peuvent être dramatiques. Tout d'abord, les EEE ont des répercussions sur la biodiversité. D'après l'UICN, les EEE sont considérées comme étant la deuxième cause d'extinction d'espèces et la future troisième menace des espèces en voie d'extinction (UICN, 2014). Et cela peut s'expliquer par plusieurs phénomènes. Tout d'abord, les EEE, en s'implantant dans un milieu, dérèglent la chaîne trophique de l'écosystème en créant de nouveaux liens de prédation ou de compétition à la ressource (Pyšek, 2020). Ensuite, les individus exogènes peuvent importer dans un nouvel habitat des virus ou des parasites dont ils sont vecteurs. Certains pathogènes, n'ayant jamais été rencontrés par les espèces endogènes, peuvent être à l'origine d'effondrement de populations (Sarat, 2015). L'hybridation n'est pas à écarter, puisqu'elle peut être aussi la cause d'un déclin de certaines espèces. En effet, une hybridation entre espèce introduite et espèce native peut mener à une perte génétique, si les individus introduits sont infertiles (Daehler, 2001).

Ensuite, les EEE végétales peuvent perturber le fonctionnement de certains écosystèmes. Il peut être évoqué l'exemple d'une propagation d'algues ou plantes aquatiques (flottant en surface) qui réduit l'accès à la lumière aux espèces immergées, pouvant entraîner des baisses ou une augmentation de température et augmente le taux d'oxygénation de l'eau, ce qui modifie le pH. Certaines espèces endémiques ne seront pas adaptées à cette variation de conditions, et les populations pourront disparaître (Sarat, 2015).

Les espèces exotiques envahissantes peuvent aussi nuire aux activités de l'Homme. En effet, leur présence peut être synonyme de perte de production industrielle, de diminution d'accès à la ressource, de dégradations d'infrastructures ou même encore directement de gêne physique pour l'agriculture, la pêche et les activités nautiques de loisir (Ministère de la Transition écologique, 2017). Un nouvel équilibre est donc à trouver pour limiter la pression des EEE sur les activités des professionnels.

C'est dans cette urgence d'action pour les professionnels de la pêche que la question du crabe bleu émerge. Il a été pêché d'abord en petit nombre, jusqu'à maintenant devenir le cauchemar des pêcheurs professionnels petits métiers.

1.2 Le crabe bleu américain : connaître son cycle de vie pour mieux contrer son expansion

1.2.1 Histoire de l'implantation du crabe bleu en Méditerranée

Le crabe bleu américain est une espèce issue du golfe du Mexique, qui a été accidentellement introduite dans l'espace méditerranéen par les ballasts de certains navires commerciaux (Pezy, 2019). Le ballast est un réservoir d'eau qui permet d'améliorer la navigation du bateau en fonction de son chargement. Il est rempli dans le port de départ et vidé à son arrivée ; c'est dans ce genre de conditions que des larves de crabe bleu ont pu être implantées en Méditerranée. Le milieu d'arrivée ayant des conditions physico-chimiques convenables pour le bon développement de l'espèce, *Callinectes sapidus* s'installe en Méditerranée. La population reste discrète avec sa première apparition au début du XXe siècle. On ne peut parler d'invasion biologique qu'au début des années 2000 avec l'explosion démographique du crabe (Goulletquer, 2024). Sur la côte française, la colonisation du crustacé américain commence par se faire au niveau de la Corse, puis du golfe du Lion pour enfin s'étendre sur toute la côte méditerranéenne française.

Les preuves scientifiques n'ont pas encore été apportées, mais beaucoup de chercheurs pensent à corréliser l'augmentation du nombre d'individus avec le dérèglement climatique. En effet, les eaux devenant plus chaudes (Doray, 2025), elles représentent un milieu davantage favorable à la prolifération de l'espèce. De plus, les orages recensés cette année sur la côte méditerranéenne, et les fortes précipitations associées (Duluc, 2025), ont permis de réduire la salinité de certaines lagunes qui étaient jugées comme trop salées. Elles présenteraient alors une salinité parfaite pour la reproduction.

1.2.2 Biologie du crabe bleu pour la reproduction

Peu importe l'action qui sera menée, il faut d'abord être capable de connaître l'espèce problématique, son mode de fonctionnement, ses limites de dispersion et autres paramètres

précieux. Le crabe bleu a été étudié durant des années, pour que certaines informations deviennent maintenant acquises à son sujet. Ce crabe marin est quasiment indifférent à la pression exercée par l'Homme sur les milieux et adapte son comportement d'une année à l'autre.



Illustration 1 : Photographie d'un crabe bleu mâle adulte
Source : Berthoud, 2025

Tout d'abord, le crabe bleu est un crustacé d'une vingtaine de centimètres d'envergure, protégé d'une carapace épaisse parée de neuf dents antérolatérales (Illustration 1). Chez cette espèce, l'hétérochélie (différence visible entre les deux pinces d'un même crustacé (DORIS, 2025)) est peu prononcée car la pince coupante et la pince broyeuse sont quasiment identiques (Veyssière, 2022). Comme son nom l'indique, ce crabe a une pigmentation bleutée au niveau des pattes due à la présence de caroténoprotéine [astaxanthine + α -crustacyanine] dans son organisme (Noël, 2017). Ses palettes natatoires lui permettent une nage rapide se faisant à reculons ou sur le côté, sur une quinzaine de kilomètres par jour (DREAL, 2025). Il est tout de même capable d'aller sur terre à l'aide de ses trois paires de pattes ambulateurs.

Le crabe bleu est une espèce que l'on peut qualifier d'infralittorale et circalittorale puisqu'elle se retrouve à des profondeurs allant de 0 à 35 m de profondeur (Noël, 2017). Les espaces attractants pour l'animal sont des lieux pourvus de cachettes et de stocks de nourriture importants. Le crustacé ne se limite pas aux eaux salées de la mer, puisqu'il peut remonter en eaux saumâtres, dans des lagunes plus ou moins profondes ou dans des cours d'eau, supportant ainsi des salinités comprises entre 5 psu et 60 psu (Marchessaux, 2024). Au niveau des paramètres de l'eau, le crabe bleu peut survivre entre 0°C et 40°C, il est donc ce que l'on appelle un thermo-généraliste (Basilico, 2024). Il a cependant été montré que les paramètres optimaux à son développement sont une salinité de 18,5 psu et une température d'eau de 24°C (Marchessaux, 2024). Ce qui correspond donc aux moyennes observées en Méditerranée (Chanzy, 2017).

Ensuite, les paramètres optimaux à son développement sont en corrélation directe avec son mode de vie et les différences de comportements entre individus mâles et femelles

(Figure 2). En effet, dans le cycle de l'animal, les mâles restent globalement en eaux saumâtres, et ce sont les femelles, initialement dans les eaux plus salées, qui remontent les cours d'eau à la recherche d'un partenaire de reproduction en eaux plus douces. C'est une fois les œufs pondus et gardés sur ses polypodes que la femelle va redescendre en mer pour l'éclosion des œufs (Forward 2003). Le crabe bleu présente un taux de fécondité très élevé puisqu'il est estimé, qu'une femelle peut faire deux millions d'œufs en une ponte (Tagatz, 1968). Chaque œuf ayant un taux de survie de 50%, il peut être affirmé que l'espèce a une capacité de colonisation très grande (Noël, 2017). Le sel joue alors un rôle très important dans le développement des individus car il agit sur la synthèse protéique du crabe. Des juvéniles situés dans une eau peu salée vont par exemple mettre plus de temps à se développer (Bowman, 1911) d'où la nécessité de ce passage d'eau saumâtre à eau salée.

La température aussi intervient sur l'état du crabe. En effet, pour des températures en dessous de 15°C l'animal cesse de s'alimenter, et il entre en léthargie aux alentours de 10°C (Hines, 2007). Or, de par le réchauffement global, les tendances de températures de la Méditerranée augmentent (Sanna, 2013). Les 15°C seront atteints durant une période plus courte, et le crabe bleu sera donc moins observé en phase de dormance. De plus, cette année la Méditerranée a éprouvé un événement de canicule marine (Odati, 2025). Le crabe étant plus résilient aux fortes températures, sa présence n'a pas changé, alors qu'il est possible que des espèces moins adaptées aient subi une diminution de population. Il pourrait hypothétiquement y avoir un déséquilibre au sein de l'écosystème, en faveur du crustacé invasif. Il peut donc être souligné que ce phénomène mondial va augmenter le pouvoir invasif de cette EEE. Ce paramètre physico-chimique va aussi avoir son influence sur la mue du crustacé, puisque la température peut inhiber ou non la production d'ecdystéroïdes, l'hormone initiatrice de la mue (Thalles Lacerda, 2025).

Le cycle de vie du crabe bleu (Annexe 1), qui ne dépasse pas les quatre ans, est rythmé de mues diverses qui permettront à l'individu d'atteindre son état final. Suite à l'éclosion, après une période d'incubation de 15 jours (Noël, 2017), l'individu démarre son cycle de développement sous forme de zoé, petite larve qui se disperse avec les courants marins. Au bout de sept stades planctoniques, la zoé devient mégalo, forme plus facilement reconnaissable pour les chercheurs que la zoé. Une métamorphose aura lieu, faisant passer l'animal de l'état larvaire à celui de crabe, sous forme juvénile (Sulkin, 1980). Cette période de passage de stades larvaires dure entre 6 à 20 jours en fonction des conditions du milieu (Milkin, 1984). Pour les femelles, 18 mues seront nécessaires pour atteindre la maturité sexuelle, alors que les mâles en font deux supplémentaires. Durant ce stade de mue, le crabe est vulnérable puisqu'il est mou. Il pourra se faire prédater davantage que lorsqu'il arbore sa carapace édentée recouverte de piquants (Veyssiere, 2022). Les mues nécessitent au crabe d'accumuler une grosse quantité d'énergie, ce qui se fera par son alimentation.

Le crabe bleu a des mécanismes biologiques qui lui permettent de coloniser rapidement un milieu comme sa capacité de pondre de nombreux œufs, le développement rapide des petits individus ou sa tolérance au sel et à la température. Il est donc important de comprendre en quoi la présence accrue de cet animal peut mettre en péril un écosystème.

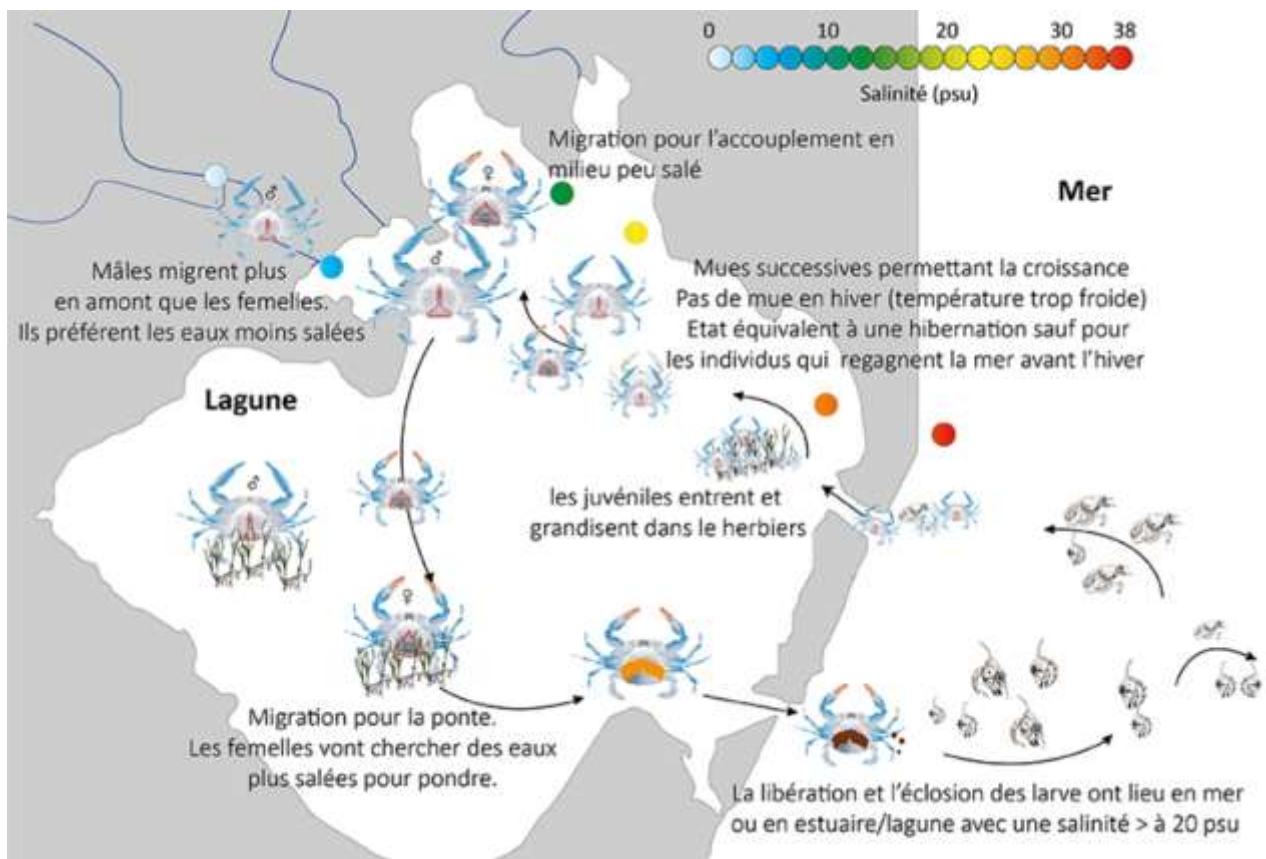


Figure 2 : Cycle biologique du crabe bleu au sein d'un habitat laguno-marin
 Source : Pôle relais-lagune, 2024

1.2.2 Causes d'angiosit  du crabe bleu sur les écosystèmes marins et lagunaires

Le crabe bleu a un régime alimentaire qui facilite la destruction des habitats nouveaux qu'il colonise. Son régime est composé de 30 à 40% de mollusques, gastéropodes et bivalves   coquille relativement fine, de 15 à 20% de crustacés, décapodes et amphipodes, de 15 à 20% de poissons de petite taille et de moins de 5% de vers, insectes, hydrides et méduses. Quelques végétaux, détritus et charognes sont également consommés à l'occasion (Noël, 2017).

Il entre alors en compétition avec de nombreuses espèces, notamment avec des espèces de la même super-famille (Protunoidea) comme *Carcinus maenas*. Il a aussi été étudié des cas de cannibalisme des adultes sur des juvéniles, dont le spectre trophique coïncidait à de la compétition (Hourdez, 2024). Cette polyvalence alimentaire lui permet de s'adapter à une gamme variée de ressources disponibles dans son habitat, qui deviendront limitées pour d'autres espèces qui les consomment de manière spécifique. La présence de *Callinectes sapidus* dérègle alors un écosystème entier par sa consommation de ressources à la base du réseau trophique. De plus, il devient un nouveau prédateur pour certaines espèces, que ce soit en chassant les juvéniles comme les adultes. N'ayant, au sein de la Méditerranée, pas beaucoup de prédateurs hormis *Octopus vulgaris*, *Ardea cinerea*, *Ardea purpurea* et de parasite à part *Hematodinium* spp (Hourdez, 2024) la régulation naturelle des populations de ce crustacé est compliquée. C'est en cela que la présence du crabe bleu est une menace critique pour les écosystèmes marins.

Les enjeux liés à l'expansion du crabe bleu ne se situent pas seulement à une échelle écologique, il y a aussi des enjeux anthropiques liés à l'aspect économique et social de l'exploitation des ressources marines. En effet, le lien direct que l'on peut faire entre ce problème écologique et l'homme est la pêche. Les professionnels voient des stocks d'espèces habituellement pêchées diminuer. Par exemple, dans le lac de Pô en Italie, la population de palourdes a décliné depuis l'arrivée de son nouveau prédateur (Chiesa, 2025). En plus de cela, les crabes bleus peuvent prendre la place d'autres espèces au sein des filets des pêcheurs, ce qui réduit leur nombre de prises. Parfois, les crabes peuvent même s'en prendre aux espèces capturées avec eux dans les engins de pêche, ce qui les rend non commercialisables (UMS Patrimoine Nature, 2020). C'est une sorte de gâchis de prises, mais aussi de matériel puisque ces crustacés détruisent les filets à cause de leurs pinces coupantes.

Tout ceci entraîne une perte de temps du pêcheur, dont les journées sont déjà très chargées. En effet, les pêcheurs doivent maintenant gérer les dégâts causés par le crabe bleu sur le matériel mais aussi s'occuper de quantités importantes d'individus dans leurs filets aux périodes de pics de l'espèce, tout en évitant les blessures par ses pinces coupantes. Il y a donc un abattement de la part des pêcheurs professionnels petits métiers, dont l'emploi et les revenus sont déjà précaires. Ils voient le crabe envahir les espaces, dégrader leur matériel et réduire les populations d'autres poissons ou coquillages, et ils se sentent impuissants face à cette menace. Leur peur la plus forte est de ne plus pouvoir exercer leur métier sur le long terme.

En Camargue, les pêcheurs se sont battus aux côtés des gestionnaires du Parc Naturel Régional de Camargue contre le chalutage illégal dans les trois milles marins et ont mis en place une zone de cantonnement de 450 ha où la pêche est interdite, pour laisser les populations de poisson se régénérer. Mais l'apparition du crabe bleu viendrait détruire leur travail, pour la préservation des stocks d'espèces pêchées, ce qui entraîne davantage de craintes et de mécontentement.

Il est donc important de trouver un moyen de réduire l'expansion du crabe bleu à une échelle plus locale, comme celle du delta du Rhône, et d'accompagner les pêcheurs professionnels face à cette nouvelle menace.

1.3 Le delta du Rhône face à cette espèce exotique envahissante, un combat scientifique et collectif à mener

1.3.1 Un réseau hydrique particulièrement complexe

Un delta est une structure littorale formée par le dépôt d'alluvions en sortie d'embouchures d'un fleuve. Les échanges entre eau salée et eau douce y sont fréquents, créant ainsi des espaces marécageux d'eau saumâtre. Les deltas sont des écosystèmes de transition entre deux biotopes, ce qui en fait un milieu très riche en biodiversité.

Celui du Rhône s'est formé il y a 10 000 ans après des mouvements de mer au niveau du couloir rhodanien (PNRC s.d.). Il se fait endiguer au cours du Moyen-Âge avant de se faire contrôler au XXe siècle avec la mise en place de nombreuses canalisations. L'Homme prend le contrôle du fleuve pour intensifier l'agriculture. Avec cet endiguement des zones humides se forment tels que les lagunes, les étangs et les marais. Les deux bras du Rhône et la mer ont chacun des influences différentes sur les terres qu'ils encadrent. En effet, le

Rhône permettra des apports d'eau douce dans le sol, alors que la mer apportera une pression saline.

En conséquence, le sel rémanent de cette formation reste ancré dans le sol de la plaine deltaïque. Pour certaines activités comme l'agriculture, la salinité des sols est perçue comme une contrainte, mais pour la pêche professionnelle, le sel en lagunes, en quantités modérées, devient un avantage, puisqu'en plus d'une connectivité avec la mer ces points d'eau ont des salinités optimales pour les nurseries de nombreuses espèces (Thibault M. s.d.). De part ces différentes activités sur le delta, la gestion en eau est complexe. Des apports d'eau douce peuvent se faire pour l'agronomie, et des sorties d'eau douces sont mises en place pour le passage des poissons en mer et pour équilibrer les niveaux d'eaux du delta. Ces mouvements d'eau sont un facteur important de la diversité de salinité au sein des différentes zones humides. Avec des profils bathymétriques différant d'une zone humide à l'autre, l'évaporation de l'eau ne s'appliquera pas de la même façon.

Cet espace complexe propose alors un large panel de salinités, de profondeurs, et de types d'habitats. La tolérance du crabe à cette diversité de salinité et température, couplée à son caractère opportuniste, montre encore une fois que le crabe bleu a une capacité d'invasion très élevée au sein de ce territoire. En effet, résistant à un gradient de salinité assez large, les femelles pourront se trouver au niveau des entrées d'eau de mer en lagunes, et les mâles pourront se développer dans les eaux plus saumâtres, à teneur plus réduite en sel. Est notable l'aspect unique du Delta. En France il n'y a pas un autre espace comparable à celui de la Camargue. Il va donc être compliqué d'adapter les observations de crabe bleu faites sur le littoral français à ce delta. Même en se basant sur d'autres espaces européens comme le delta de l'Ebre en Espagne, la transposition serait compliquée puisque le crabe bleu a un comportement différent d'un lieu à un autre et d'une année à l'autre.

1.3.2 Une nécessité d'adapter des protocoles communs à l'échelle plus locale du delta

Le delta du Rhône, système aquatique très complexe, nécessite une lutte active mais adaptée à l'échelle locale. Pour cela, il faut d'abord s'approprier les connaissances et protocoles communs sur le crabe bleu, puis réfléchir à des paramètres physico-chimiques et pratiques pour ne pas risquer de perdre du temps et des moyens à des endroits vides de menace.

Les études expérimentales qui ont été menées cette année n'ont cependant pas été réalisées à l'écart de la communauté scientifique. Bien que la lutte doive se faire en prenant en compte les paramètres physico-chimiques de chaque plan d'eau, et donc à échelle très locale, il est nécessaire de se baser sur des acquis scientifiques communs. Le delta du Rhône étant géré par un panel de gestionnaires, cette construction de liens avec d'autres acteurs amenés à travailler sur le sujet s'est fait aisément. L'étude est d'abord liée au réseau pôle-relais lagunes, basé notamment à la Tour du Valat en Camargue, qui a lancé des objectifs visés sur le crabe bleu en 2023 (Pôle-relais lagunes méditerranéennes, 2023) pour réunir les acteurs de Corse, Occitanie et Provence-Alpes-Côte d'Azur et mettre en place un échange scientifique important ainsi qu'une lutte qui se veut conjointe. Ainsi, des protocoles communs ont pu émerger, tels que la mise en place du suivi biométrique ou encore la

création de cartographies de Salinity Habitat Suitability (SHS) (Marchessaux, 2024). Pour solidifier ce lien entre les acteurs des différentes lagunes méditerranéennes le pôle-relais lagunes organise des conférences interrégionales sur le crabe bleu tous les ans, dans lesquelles les chercheurs français exposent les résultats de leurs recherches sur l'espèce. Cette conférence permet aussi de rendre compte de l'avancée de la colonisation de l'EEE en France.

De même, des liens avec les autres pays européens sont en cours de formation, comme l'étang de Canet qui est en relation avec le delta de l'Ebre par le projet interrégional POCTEFA (Communication personnelle Hourdez Stéphane 2025).

Pour choisir les lieux camarguais qui seront des leviers dans cette lutte, il faut d'abord faire des projections sur l'espèce selon les paramètres du territoire de la Camargue. En effet, lors d'une étude de modélisation du risque lié au crabe bleu (Marchessaux, 2024), la Camargue a été considérée comme un grand ensemble d'une seule salinité, ce qui n'est pas du tout le cas. Les différences de salinité peuvent s'expliquer par la nature des milieux aquatiques, que ce soit lagune, étang, fleuve ou mer, ou encore par les différences de distances à la mer des lagunes. Ainsi, il semble nécessaire de refaire la modélisation réalisée lors de cette étude, à l'échelle du delta.

De plus, la compréhension comportementale du crabe bleu doit aussi se faire à cette échelle locale. Il est nécessaire de discerner des périodes clés du développement de l'individu, comme l'arrivée des mégalopes, la ponte d'œuf ou encore l'atteinte de la maturité sexuelle. Une fois repérées, ces étapes pourront être répertoriées sous forme de calendrier, et être transmises aux gestionnaires et pêcheurs professionnels pour agir efficacement contre l'espèce.

Pour compléter cette approche de présence du crabe bleu par la salinité, un suivi biométrique est nécessaire à la compréhension de la présence du crabe en fonction de son stade biologique. Il a été réalisé dans les grandes régions adjacentes à la Méditerranée mais dans des lieux précis comme l'étang de Berre, de Canet, ou dans l'étang de Biguglia. Il n'est pas facile de faire ce suivi à grande échelle car cela demanderait une surface d'échantillonnage colossale, et des moyens humains bien plus grands. Dans l'intérêt de la compréhension de l'animal, il est donc nécessaire de faire le suivi biométrique à l'échelle du delta du Rhône.

Enfin, de nombreux engins de pêches ont été testés lors de différentes pêches professionnelles. Mais peu sont concluants, et il y a peu de retours sur leur efficacité, comme les nasses polyvalentes de la Food and Agriculture Organization (FAO) (FAO,2020). Certains pêcheurs annoncent que les engins doivent être adaptés au territoire concerné. Par exemple, étant pêché en quantité colossale aux États-Unis, un test de nasses américaines en Méditerranée a été réalisé dans l'étang de Berre. Aucun crabe n'a cependant été capturé avec cet engin (communication personnelle, Marchessaux G. 2025).

Cet exemple montre encore une fois que chaque technique de lutte doit être propre à chaque territoire. Il va donc falloir faire des tests d'appâts et de captures du crabe, selon les différentes profondeurs des points d'eau, les richesses en ressources et des conditions physico-chimiques de l'eau.

PARTIE 2 : Matériels et méthodes

2.1 Communiquer avec les acteurs du territoire autour de la question du crabe bleu par le rôle d'animation du parc

Pour lutter contre le crabe bleu, il est primordial de recevoir le retour de chaque acteur sur l'état d'avancement de l'invasion de l'espèce sur leurs sites ou les dégâts causés par le crustacé sur leur activité. A cet effet, trois réunions ont été animées par le Parc lors de cette saison :

- réunion technique du 5 juin 2025 : réunissant autour de la table les gestionnaires, chercheurs, techniciens et agents concernés du Parc pour exposer les différentes stratégies envisagées contre le crabe bleu, et recueillir les lieux d'observation de l'espèce dans les différentes zones du delta.
- réunion de contact du 11 juin 2025 : regroupant les pêcheurs professionnels pour déterminer les personnes ouvertes à aider le Parc dans son étude de répartition du crabe bleu au sein du delta. Les trois pêcheurs présents étaient volontaires pour aider lors des actions qui seraient mises en place, notamment pour donner des crabes bleus pêchés dans le Rhône ou les lagunes. Deux autres pêcheurs professionnels ont accepté de participer, malgré leur indisponibilité le jour de la réunion.
- réunion de restitution des résultats du 15 septembre 2025 : invitant toute personne ayant participé à l'étude à prendre en compte les résultats des actions menées par le parc tout en partageant leurs résultats de pêche sur la saison.

Cette phase de concertation peut être vue comme le travail de terrain le plus important. En effet ces réunions ont permis de mettre en place une veille constante de l'état d'avancement du crabe bleu, sur tout le delta. Une communication se mettait en place pour prévenir de nouveaux lieux d'invasion mais aussi pour prévenir de l'arrivée de femelles grainées. Cette animation permet aussi de mettre en lien des acteurs qui n'ont pas forcément l'habitude de travailler ensemble. Tout ceci permet de conserver un partenariat fort avec tous ces acteurs. Il n'y a qu'en travaillant conjointement que la pression de la présence du crabe bleu pourra être diminuée.

2.2 Détermination de la répartition théorique du crabe bleu appliquée au delta du Rhône

Pour rechercher des pistes de réponses à l'hypothèse H1, il s'agirait de répertorier les observations de crabe bleu et les corrélér aux caractéristiques du site dans lequel ils se trouvent. Ainsi, en plus d'obtenir une répartition du crabe, des informations seront récoltées sur le type d'habitat optimal pour la présence de l'espèce. Avant toute analyse terrain, il est possible de modéliser la présence de l'espèce en fonction de la salinité de l'eau (Marchessaux, 2024). C'est ce qui sera réalisé dans un premier temps.

2.2.1 Délimitation de la zone d'étude

La zone d'étude se définit par les limites terrestres du PNRC et la zone marine adjacente. Elle s'étend donc des Saintes-Maries-de-la-Mer à Port-Saint-Louis-du-Rhône en

incluant Arles (Figure 3). Le site recouvre 101 200 ha dont 8 041 ha d'espaces naturels protégés et 75 km de façade maritime (PNRC, s.d). Un large panel de zones humides est recensé au sein d'un réseau aquatique complexe, en lien direct avec la mer. Les milieux aquatiques y sont très diversifiés : lagunes, étangs, zones humides (marais), roubines, canaux, salins, les deux bras du Rhône et la mer. Cette diversité entraîne une grande variabilité de salinité liée aux différences de température, de profondeurs des eaux et de leurs distances à la mer (BIPREB, 2022). Or, sachant que le crabe a un cycle de vie dépendant de plusieurs niveaux de salinités et températures, l'ensemble des milieux aquatiques du territoire est à prendre en compte pour la récolte des données, chacun d'entre eux étant défini par une salinité qui lui est propre.

La délimitation de la zone d'étude est donc choisie en conséquence, en optant pour la zone d'étude la plus large possible. Ce choix permettra de répondre à l'objectif de comprendre la dynamique globale du crabe bleu sur le delta du Rhône.

Au sein de ce territoire, douze structures (PNRC y compris) gèrent les différents sites concernés par les zones humides (Figure 4). Sur les zones qui ne sont pas gérées par le Parc, des autorisations ont dû être demandées pour les différentes investigations de terrain, un mois et demi au préalable. Il était ainsi important de prévoir les délais administratifs avant de réaliser la phase de terrain.

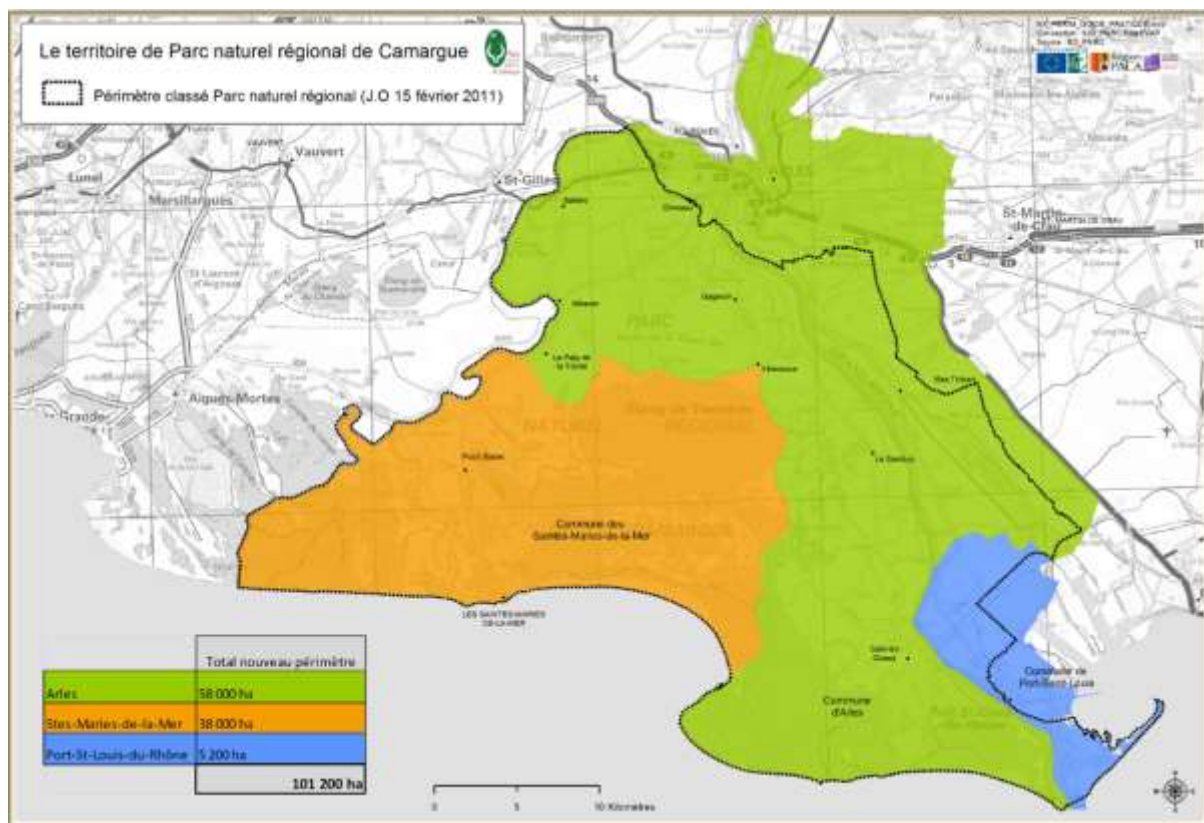


Figure 3 : Cartographie du périmètre du Parc naturel régional de Camargue
Source : PNRC, 2011

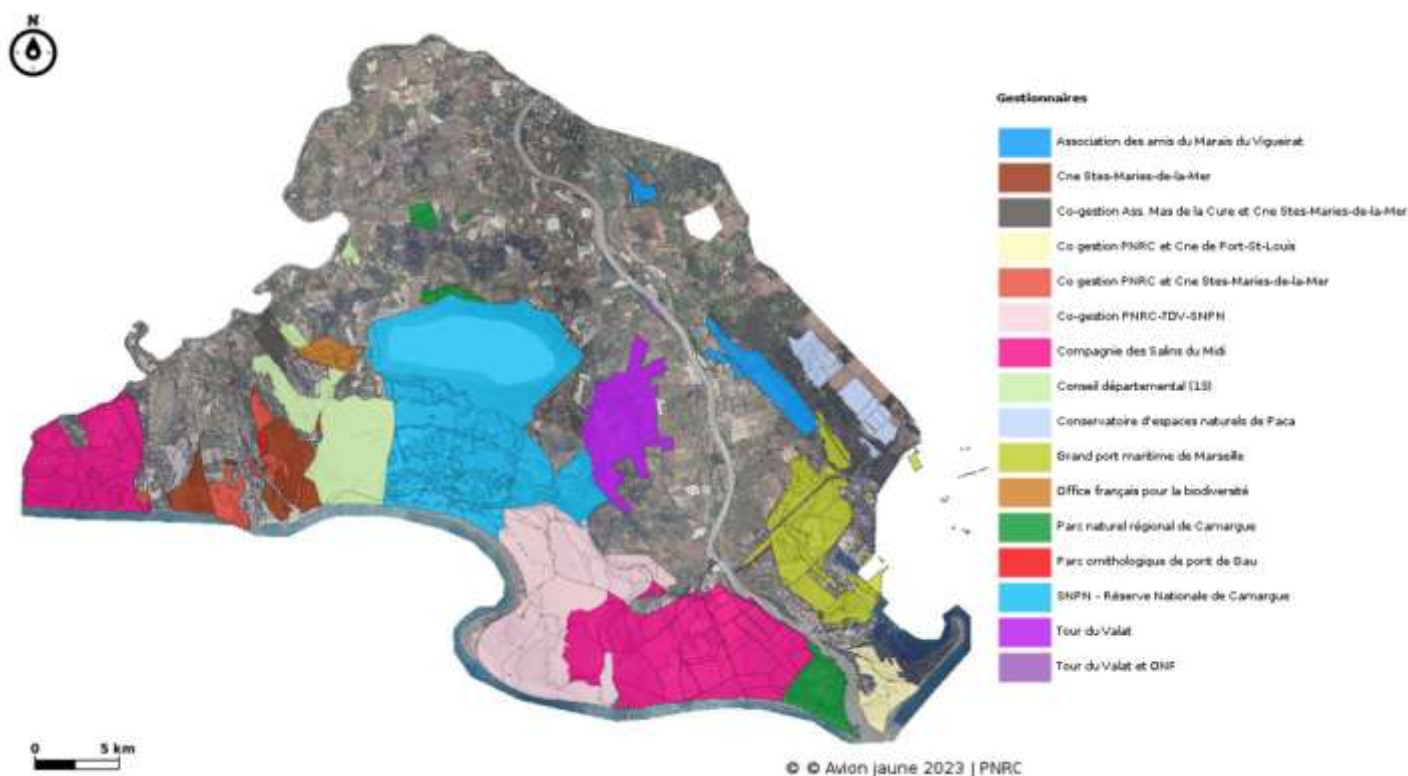


Figure 4 : Cartographie des gestionnaires du territoire de la Camargue -
Source : SIT des PNR Sud, 2023

2.2.2 Récupération des données et construction de bases de données

Une récolte de données a été déployée par le biais d'échanges téléphoniques ou de courriels. Chaque gestionnaire du périmètre du PNRC a été interrogé pour la récupération de données de salinité des milieux aquatiques les concernant. Les résultats d'enquête sont finalement composés des données issues :

- des campagnes Fil-Med de 2024-2025 transmises par la Société Nationale de Protection de la Nature (SNPN) (communication personnelle Silke Befeld, chargée d'étude scientifique)
- de la mairie de Port-Saint-Louis-du-Rhône (communication personnelle Sandrine Kiramarios, responsable du pôle « Développement durable et gestion des espaces naturels »)
- du département des Bouches-du-Rhône (communication personnelle Stéphanie Bertrand, responsable de l'Unité Crau – Camargue – Alpilles au sein du service en charge de la gestion de leurs espaces naturels)
- du PNRC (données internes).

Fil-Med est un réseau de gestionnaires de lagunes d'Occitanie et de Provence-Alpes-Côte d'Azur, qui réalisent un suivi physico-chimique de l'eau pour adapter la gestion hydraulique de ces espaces (Pôle relais-lagunes, 2011).

Les mesures de salinité qui ont pu être récoltées pour ce stage doivent ensuite être formatées dans une base de données à la structure standardisée, pour être plus tard prises en compte par le logiciel de cartographie Ocean Data View (ODV).

Station	dd/mm/yyyy	hh:mm	Lon ('E)	Lat ('N)	Station_1	SHS 2022
Tampan	15/07/2025	09:15	4,5840837	43,4468395	S5	0.3

Figure 5 : Tableau de présentation du formatage de la base de données pour ODV
Source : Berthoud, 2025

Chaque station de prise de salinité est associée à un code. La première étape est d'entrer le code sur la plateforme Système d'Information Territorial Eaux (SIT¹), pour récupérer les données GPS du point. Ensuite, la salinité doit se faire convertir en taux SHS. La valeur est calculée grâce au tableur distribué par Guillaume Marchessaux, associé à son article introduisant la notion de SHS (Marchessaux, 2024). Elle correspond à l'attractivité d'un milieu (pour le crabe bleu) en fonction de sa salinité. Une fois ces étapes de conversion réalisées, il reste à appliquer un formatage brut, pour obtenir la base de données finale. Doivent être présentes uniquement les colonnes contenant le nom, la latitude et la longitude de la position de la station, l'heure et la date de prise de mesure et la donnée SHS (Figure 5). Une fois la base de données formatée et convertie en fichier csv, elle peut être utilisée par le logiciel.

2.2.3 Réalisation des cartes de Salinity Habitat Suitability (SHS)

A partir de cette collecte de données, des cartes de Salinity Habitat Suitability sont intéressantes à créer pour initier la compréhension de l'espèce, autour de l'hypothèse H1. Ces cartes permettront de mettre en valeur l'attractivité des zones du système lagunaire du delta du Rhône pour l'espèce, et de prédire son évolution au sein de cet écosystème complexe.

Les cartes de SHS ont été modélisées via le logiciel Ocean Data View 5.8.1 (version utilisée par les chercheurs travaillant sur le crabe bleu). La standardisation de la base de données est un point clé pour le bon fonctionnement de la création des cartes. Au préalable, un fichier shape a été construit sur le logiciel QGIS version 3.34.8 (choix de la version la plus stable), à partir de données géographiques issues du portail SIT du PNRC (données internes, SIT occupation du sol 2023). Ce tracé représentera les limites des zones humides.

A partir des points géoréférencés dans la base de données, associés chacun à une valeur SHS, le logiciel extrapole les valeurs pour délimiter une masse dans un rayon plus large autour du point GPS. Ce qui renvoie un gradient de SHS (palette colorimétrique du

¹ Le Système d'Information Territorial est un dispositif mutualisé des parcs naturels régionaux de Provence-Alpes-Côte d'Azur créé en 2006. Sous forme d'un portail cartographique accessible, il rassemble les données produites par les territoires et leurs partenaires. Consultable à l'adresse suivante : <https://geo.pnrsud.fr>

blanc au rouge) contenu dans les limites du complexe aquatique précédemment introduit avec la couche shape. Le SHS représentant une probabilité de trouver un crabe bleu, le gradient montre donc en rouge les espaces les plus attrayants pour cette espèce. Il est donc possible de faire ressortir des espaces susceptibles d'être des berceaux d'invasions de crabe bleu.

La répartition théorique du crabe bleu ayant été modélisée, il faut ensuite vérifier la présence ou non de l'espèce au sein des espaces pris en compte. Ainsi, la présence théorique du crabe bleu sera réfutée ou confirmée par un suivi biométrique sur la zone générale.

2.3 Evaluation de la répartition réelle du crabe bleu en fonction de son cycle biologique appliquée à la zone d'étude

2.3.1 Mise en place d'un suivi biométrique sur l'ensemble de la zone d'étude

2.3.1.1 Localisation des zones de pêche et opérateurs impliqués

Pour répondre à l'hypothèse H1, un suivi biométrique a été mis en place à l'échelle du delta camarguais. Un suivi biométrique consiste à capturer des crabes pour prendre des mesures biométriques utiles à une future analyse. En comparant les tailles des individus il est possible de cerner l'habitat favorable à chaque stade de développement de l'espèce. Pour ce faire, des zones de pêche ont été identifiées avec des enjeux et des opérateurs différents. Cinq pêcheurs professionnels agissant sur plusieurs types de milieux se sont portés volontaires pour approvisionner l'étude en crabes bleus.

- Les **deux bras du Rhône** sont couverts grâce à l'activité de deux pêcheurs professionnels.
- Les **embouchures du Petit et Grand Rhône** sont des zones riches en apports nutritionnels et sont les premiers espaces mettant en communication de l'eau douce et de l'eau de mer. La probabilité d'y trouver des femelles mûres est donc élevée. Ces zones seront encadrées par les mêmes pêcheurs professionnels cités auparavant.
- Les crabes des **lagunes** sont capturés par l'un des pêcheurs professionnels.
- Pour la **mer**, trois pêcheurs professionnels ont fourni des crabes issus de leurs filets et de leurs propres expérimentations de nasses.

Quatre zones de pêches accessibles sont utilisées par les agents du Parc. Toutes deux sont situées aux embouchures des bras du Rhône, et sont différentes de celles recouvertes par les pêcheurs professionnels.

- Un renforcement d'eau au sein du bras du Petit Rhône, surnommé le « **Tikki** » (du nom du navire à passagers dont c'est le quai), a été choisi comme lieu de test de la pêche à pied avec épuisettes, suite aux retours des pêcheurs professionnels sur la présence du crabe en ce lieu.
- Un plan d'eau formé il y a deux ans sur la plage Napoléon (de Port-Saint-Louis-du-Rhône) juxtaposé à l'embouchure du Grand Rhône, appelé localement la « **Bassine** » est une autre zone sélectionnée pour le test de pêche à pied.
- Des données ont aussi pu être obtenues sur deux sites du Conservatoire du Littoral gérés par le PNRC, l'**étang d'Icard** et l'**étang du Palun, du domaine de la Palissade**, situés respectivement à l'embouchure du Petit Rhône et du Grand Rhône. Les crabes seront

récupérés grâce aux pêches scientifiques et à des pêches de test réalisées par les agents du PNRC.

2.3.1.2 Planification d'un relevé mensuel de crabe bleu

Pour mettre en place un suivi biométrique, plusieurs paramètres ont dû être pris en compte. Pour récolter des crabes bleus au niveau des différents points de la zone, des pêcheurs professionnels petits métiers ont été contactés via le réseau interne du PNRC. Une réunion dédiée aux pêcheurs petits métiers a été organisée le 5 juin 2025, afin de les informer des expérimentations à venir sur le crabe, et de leur faire des retours au sujet des financements projetés par la Région Sud destinés à les accompagner dans la lutte contre le crabe bleu. Les quatre pêcheurs professionnels cités précédemment se sont portés volontaires lors de cette réunion, prêts à accompagner le PNRC lors des expérimentations à venir, et à fournir des crabes en cas de besoin, notamment pour le suivi biométrique.

Ensuite, des autorisations de pêche à pied ont été demandées pour permettre la pêche à l'épuisette du crabe dans des points d'eau facilement accessibles. Les trois communes du PNRC ont donc été contactées. De plus, sur la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône, un partenariat fort a pu être engagé grâce au concours régulier d'un garde du littoral, qui apporte son aide lors des pêches et lors de la conception de méthodes de piégeage actives et passives. En ce qui concerne la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer, les deux gardes digues mènent une veille, et donnent l'alerte lorsque des crabes sont visibles au pertuis de la Fourcade pour qu'un agent du Parc vienne retirer les crabes.

Deux protocoles de pêches peuvent donc être décrits. Le premier est basé sur une pêche opportuniste, qui, lors d'autres missions effectuées à « Beauduc » ou au pertuis de la Fourcade, permet de capturer les crabes visibles. A cette fin, un agent utilise l'épuisette fortifiée (Annexe 2) fabriquée par le PNRC, grâce aux schémas de construction du garde du littoral. Cette épuisette se compose d'un manche, lié à une jointure et un encadrement d'épuisette rigides, enrobé de grillage à clôture rigide, sous forme de parallélépipède rectangle ou de cône. Le grillage positionné sur les mailles d'un potentiel filet est utilisé pour limiter les dégâts des pinces de crabes capturés. Le deuxième protocole de pêche est adapté à la « Bassine » de Port-Saint-Louis-du-Rhône. Il consiste à rechercher des crabes bleus en arpentant les bords de cet étang à pied, en faisant plusieurs fois le même tour, matérialisé par l'itinéraire jaune (Figure 6), le même modèle d'épuisette à la main. La personne chargée de la pêche s'arrête dès qu'elle observe un crabe et tente de le capturer. Parfois, il peut y avoir recours à de l'appâtage, avec le dépôt de poulet au fond de l'eau, maintenu par un fil. Le poulet a été jugé comme appât le plus efficace en Corse (communication personnelle Marie Garrido), ce qui a été validé par les pêcheurs professionnels de Camargue.

De plus, la pêche en lagune est interdite en été dans le cadre de l'application du règlement européen à viser de restaurer les populations d'anguilles (Conseil de l'Union Européenne, 2024). Il faut donc prévoir de demander des crabes en conséquence de cette période qui s'étend du 15 juillet au 15 août.

Un calendrier prévisionnel (Figure 7) a été dressé avant la période de terrain, pour anticiper les imprévus comme cette période de fermeture de pêche ou les intempéries qui

pourraient freiner les captures. Il permet aussi de planifier les pêches quotidiennes réalisées à Port-Saint-Louis-du-Rhône au niveau de la « Bassine ». Ces pêches sont donc calées tous les vendredis de chaque mois, le but étant d'y aller le plus souvent possible pour retirer un maximum d'individus. Il était demandé un minimum de 30 crabes par mois (communication personnelle, Guillaume Marchessaux), avec des captures réparties sur les zones définies avec les pêcheurs.



Figure 6 : Vue aérienne de la zone de pêche à pied de la « Bassine » et itinéraire de marche - *Source : Berthoud, 2025*

	Avril 01-15	Avril 15-30	Mai 1-15	Mai 15-31	Jun 01-15	Jun 15-30	Jullet 01-15	Jullet 15-31	Août 01-15	Août 15-31	Septembre 01-15	Septembre 15-30
Bibliographie												
Entretiens avec des chercheurs												
Demande d'autorisations												
Réunions de lancement												
Réunions de valorisation des résultats												
Récoltes de données de santé												
Commandes de matériel												
Fabrication des collecteurs												
Pose des collecteurs de mégaloïdes												
Relève des collecteurs de mégaloïdes												
Confection d'épuisettes												
Pêches à la Bassine												
Récoltes de données biométriques												
Périodes de fermeture de la pêche												
Points stage avec la tutrice												
Rendu synthèse bibliographique												
Rendu mémoire												
Soutenance de mémoire												

Figure 7 : Planning prévisionnel de stage - *Source : Berthoud, 2025*

Cependant, même si la pêche est professionnelle, elle reste incertaine, puisqu'elle dépend du vivant. Il n'a donc pas été possible de récolter un nombre fixe de crabes par zone. La répétabilité des résultats a donc été différente d'un lieu à l'autre, à cause de variabilité d'effectifs de crabes. Il a finalement été récolté :

Mois de prélèvement	Lieu	Effectif réel
Juin	Petit Rhône	10
	Beauduc	8
	Bassine	20
Juillet	Etang d'Icard	30
	Etang du Palun	25
	Bassine	60
Août	Etang du Palun	35
	Bassine	50

Pour réaliser un suivi biométrique avec un biais le plus faible possible, il est bien rappelé aux pêcheurs professionnels qu'il ne faut pas sélectionner les plus beaux spécimens, comme s'ils étaient destinés à la vente. Il faut aussi prendre en compte les juvéniles ou petits adultes. On réalise donc un échantillonnage aléatoire.

2.3.1.3 Prise de mesures biométriques

Le suivi biométrique est effectué en adéquation avec le protocole distribué par Guillaume Marchessaux et Marie Garrido lors de la 3^e conférence interrégionale sur le crabe bleu. En ce sens, une série de mesures est prise sur un seul individu. Sur la face ventrale, c'est le segment abdominal sexuel qui sera mesuré en longueur et en largeur, alors que pour la face dorsale, c'est la carapace qui sera répertoriée par les mêmes mesures (Figure 8). De plus, il est mesuré la hauteur du crabe ainsi que sa masse humide. Il faut donc être vigilant si l'individu a des membres en moins ou s'il est manipulé suite à une congélation. Les mesures sont répertoriées dans un tableau (Figure 9).

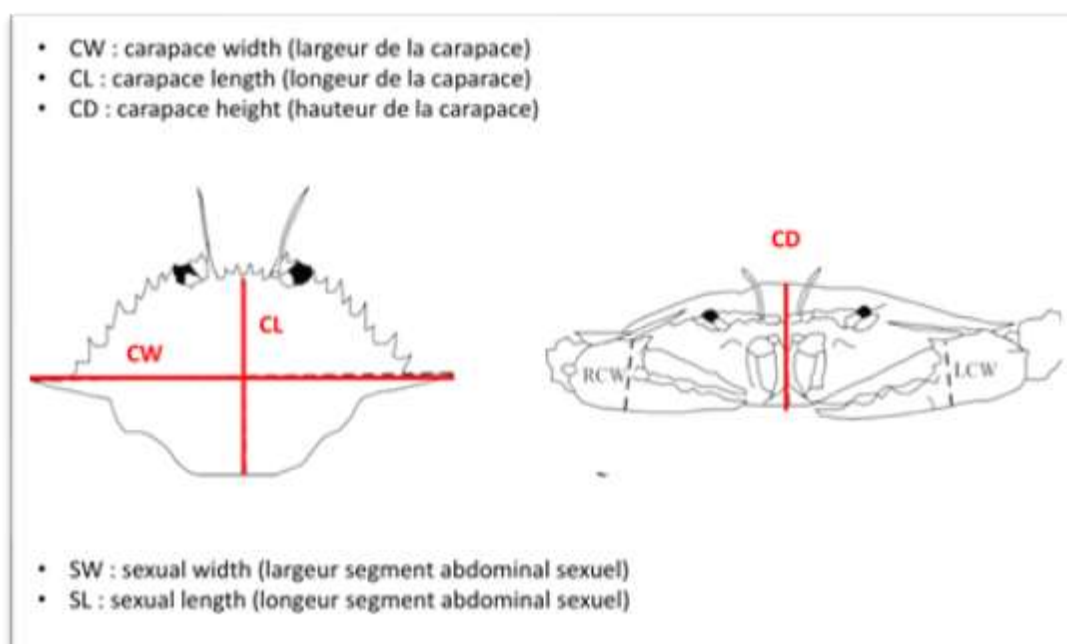


Figure 8 : Mesures à prendre sur le crabe bleu - Source : Marchessaux, 2024

Provenance du crabe	Lieu	Point GPS	date	Sexe	WW(g)	CW (cm)	CL(cm)	CD(cm)	SW(cm)	SL(cm)	Maturité sexuelle
Pêche scientifique	Icard	43°27'31.0"N 4°23'07.6"E	17/07/2025	femelle	202	18,2	7,5	4,2	4,7	1,7	mature

Figure 9 : Tableau de présentation du formatage de la base de données de suivi biométrique - *Source : Berthoud, 2025*

En effet, la congélation ou simple passage au froid est une étape clé lors de la manipulation des crabes vivants. Il faut calmer les crabes pour les manipuler, que ce soit pour la sécurité de l'opérateur ou pour la réduction de stress de l'animal. Bien que la manipulation se termine par une mise à mort, due au caractère invasif de l'espèce, ce protocole se veut le plus éthique possible. Ainsi, comme les crabes expérimentent durant leur cycle biologique une phase de léthargie (dans des eaux inférieures à 10°C (Noël, 2017)), leur mise à mort se fera lente et indolore par exposition au froid. Si la rencontre avec le crabe se fait durant un autre protocole qui ne nécessite pas de glacière, la mise à mort se fera d'une façon fulgurante.

Pour l'analyse de données, seule la valeur de la largeur de la carapace (cw) est retenue, ce qui reflète le plus simplement la taille de l'individu. En effet, la masse d'un crabe peut varier malgré une taille similaire, en général selon le sexe de l'individu. Si la femelle est grainée, elle sera plus lourde qu'un mâle de la même taille. Or la mesure de largeur de carapace correspond uniquement à la taille de l'individu, et ne dépend d'aucun autre facteur. De plus, il est plus simple dans l'imaginaire collectif, de se représenter une taille qu'un ordre de grandeur de poids.

2.3.1.4 Traitement statistique des données

Le traitement de données se fait sur le logiciel R 4.4.1, qui est une version stable. Les bases de données auront été formatées au préalable sur le logiciel Excel.

Dans un premier temps, seuls le sexe de l'individu et son lieu de capture seront utilisés dans le tableau de suivi biométrique. Pour répondre à l'hypothèse H1 et étudier le lien entre la salinité et la répartition des individus selon leur sexe, un test exact de Fisher va être réalisé pour chaque mois de suivi biométrique. Le test exact de Fisher a été choisi plutôt qu'un test Chi² en vue des petits effectifs de chaque classe liée au lieu. Les résultats seront plus fiables. L'hypothèse statistique H0 retenue est la suivante : il n'y pas de lien entre le sexe du crabe et le lieu où il est capturé.

Comme le lieu est associé à sa salinité, lors de l'analyse, la réponse à l'hypothèse reviendra à dire si le sexe du crabe dépend de la salinité de son milieu.

De plus des diagrammes circulaires représentant le sexe-ratio des populations de chaque lieu ont été dressés, par mois. Ils seront disposés sur une carte pour avoir une vision globale facilitée de l'évolution du sexe-ratio de la population de crabe bleu d'un lieu, en fonction de la salinité de ce dernier.

Dans un second temps, seul le stade de maturité de l'individu et son lieu de capture seront utilisés dans le tableau de suivi biométrique. Pour répondre à l'hypothèse H3, des diagrammes circulaires ont été érigés sur les différentes classes de maturité, par lieu et par mois. Ils seront disposés sur une carte pour avoir une vision globale facilitée.

Enfin, des boîtes à moustaches des largeurs de carapace (cw) moyennes ont été créées pour comparer les mesures des individus mâtures de chaque lieu, permettant de déterminer à partir de quelle taille un crabe peut être mûre. Cette connaissance serait une aide visuelle lors de pêche, qui favoriserait le choix de type d'individu qu'il est urgent de sortir de l'eau. Mais il pourrait aussi s'avérer utile, pour prioriser le lieu où mener les actions de luttés, s'il est décidé d'extraire en priorité les gros individus, donc capables de se reproduire.

2.3.2 Mise en place d'un suivi larvaire au niveau de lieux d'échanges mer-lagune

Maintenant que la répartition du crabe commence à se dessiner, il est possible d'affiner les connaissances en repérant les lieux d'arrivée des larves de crabe bleu, autrement appelées mégaloopes. Un suivi larvaire est donc nécessaire à mettre en place dans les lieux les plus susceptibles de les accueillir. Ce suivi permettra de répondre à l'hypothèse H2. Le suivi consiste à poser trois répliquas de collecteurs de larves au fond de l'eau, dans une zone à choisir méticuleusement. Le plus compliqué de ce protocole était le choix des lieux de pose. Les zones aquatiques recherchées sont des zones ouvertes sur la mer et qui disposent d'un herbier.

2.3.2.1. Comparaisons des zones susceptibles de capter des larves

Pour mettre en place un suivi larvaire, il faut déterminer au préalable les zones où il est le plus intéressant de tester la présence de ce stade de développement du crabe bleu. Autrement dit, la zone de recrutement des larves de l'EEE est recherché. Comme évoqué précédemment, les femelles pondent en mer et les zoés s'implantent dans les herbiers par le biais des courants marins. La logique a donc été de placer des collecteurs de larves dans des lieux d'échange entre mer et lagune, répartis sur les trois communes du Parc.

Le premier lieu choisi est le grau de Beauduc, dont l'herbier de zostère est le plus dense, et les ouvertures sur la mer sont les plus larges. Les sites de poses de capteurs sont donc assez éloignés. Ainsi, les trois collecteurs recouvrent une surface de 1.96 ha. Le point B1 (Figure 10) est situé en arrière de la langue de sable, qui pourrait être une barrière de protection pour les larves. B2 et B3 (Figure 10) sont disposés dans une partie respective de l'herbier. L'herbier n'est pas entièrement recouvert par les collecteurs car des lieux sont inaccessibles. En effet, il faut éviter au maximum la pression de piétinement pour la conservation de l'herbier, et des zones sableuses étaient recouvertes d'anémones. La santé des opérateurs a donc été privilégiée.



Figure 10 : Vue aérienne des sites de collectes larvaires de la zone de l'herbier de Beauduc - *Source : Berthoud, 2025*

Ce fut ensuite à la « Bassine » à Port-Saint-Louis-du-Rhône d'être sélectionnée. Certes, il n'y pas de zone d'échange avec la mer permanente mais durant les pêches de suivi biométriques à cet endroit, de nombreux juvéniles ont été pêchés. Il paraissait donc logique d'y trouver des larves. De plus, dès que des vents forts (3 à 4 Beauforts) sont enregistrés, la mer passe la langue de sable et entre dans cette lagune temporaire. Il peut donc tout de même avoir des apports en larves dans ce plan d'eau. Les sites de collecte ont été placés aux extrémités du plan d'eau, dont une contiguë à la mer. Il est considéré, par l'aspect fermé du plan d'eau que les collecteurs recouvrent toute la surface de ce dernier, soit 2.05 ha. Les points sont nommés P1 , P2 et P3 (Figure 11).

Enfin, le dernier lieu n'est pas l'endroit optimal envisagé initialement, et semble être un peu trop éloigné de la mer. En effet, il était prévu d'installer les capteurs au niveau du pertuis de la Fourcade des Saintes-Maries-de-la-Mer, le grau aménagé d'ouvrage à vannes qui relie le complexe lagunaire du Vaccarès à la mer. Cependant, la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer a souhaité que le PNRC trouve un autre site du fait de travaux à venir sur le pertuis en 2026. Il a donc fallu déplacer le lieu de pose plus en amont du grau, sur un canal en lien avec l'étang des Impériaux et situé sur le site du Conseil Départemental des Bouches-du-Rhône (CD13), le « canal des Impériaux ». Une installation spéciale est prévue sur ce canal, puisque le fond étant trop vaseux, et dangereux d'accès, le lest des fleurs de douches est accroché par une ficelle à un pilier de pont ou un bout de bois apparent. C'est pour cela que les points C1 et C2 (Figure 12) sont rapprochés, accroché à un pilier de pont différent, tandis que le point C3 est éloigné vers l'étang, attaché à un bois ancré dans le sol.



Figure 11 : Vue aérienne des sites de collectes larvaires de la zone de la « Bassine »
Source : Berthoud, 2025



Figure 12 : Vue aérienne des sites de collectes larvaires de la zone du canal des Impériaux - *source : Berthoud, 2025*

Cette configuration recouvre alors 0.37 ha. Les collecteurs sont plus éloignés de la mer donc il peut être attendu de récolter de moins bons résultats.

En comparant les résultats de chaque lieu, l'un d'eux émergera comme un point clé du Delta, où des actions pourront être menées spécifiquement contre les mégaloïdes.

2.3.2.2. Mise en pratique du protocole de la FAO 2024

Les collecteurs sont composés d'un lest en béton et d'une fleur de douche (Figure 13), facilement trouvable dans le commerce et à moindre prix. Cette dernière pourrait recueillir des mégaloïdes au sein de ses replis, imitant les herbiers marins. Ces appareils sont disposés au fond de l'eau pendant sept jours, et sont ensuite retirés du milieu pour récupérer les organismes piégés sur la fleur de douche. La fleur de douche doit être totalement immergée. Il est assuré que les fleurs de douche ne restent pas plus longtemps sur place, car il faut éviter de perturber trop longtemps la faune déjà présente.

Pour récupérer la faune benthique sous forme d'échantillons à analyser, il faut d'abord retirer la fleur de douche de l'eau et la mettre à tremper dans un bocal d'eau douce. L'eau douce est en théorie censée tuer les larves, mais comme il y a de nombreuses espèces lagunaires, l'absence de sel ne déclenche pas de choc osmotique.

Une fois au Parc, une fleur de douche sera sortie de son bocal et mise à tremper dans une bassine d'eau douce. L'opérateur veillera à frotter délicatement les plis du collecteur, pour éviter de broyer des individus et pour en amasser un maximum dans l'eau. L'eau de la bassine est ensuite filtrée dans un tamis de maille 250 µm ; les larves y restent alors en suspension. L'étape est répétée jusqu'à ce que la fleur de douche ne semble plus contenir de larves. Si certaines sont encore accrochées, une pince brucelles peut être utilisée pour les retirer.

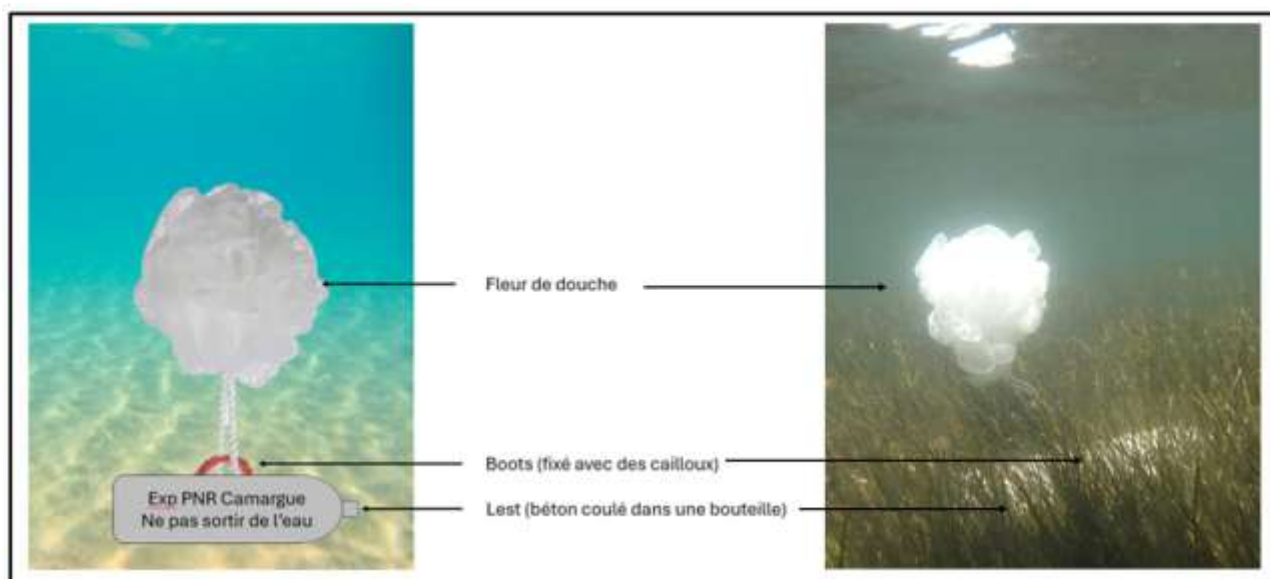


Figure 13 : Description du collecteur larvaire sous forme schématique et photographique
Source : Berthoud, 2025

Ensuite, les larves sont versées dans un flacon en verre de 250 mL. Y sera ensuite ajouté un mélange équimolaire d'éthanol à 70° et d'eau pour fixer l'échantillon. Les pots sont ensuite marqués, puis stockés, dans l'attente d'être emmenés pour analyse à l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (M.I.O) de Marseille.

Ce processus est réalisé pour chaque fleur de douche. Il est impératif de bien rincer le tamis d'un collecteur à l'autre, pour ne pas risquer de fausser les résultats. De même, pour être stockées avant la prochaine pose, les fleurs de douches doivent être remises dans les mêmes pots, dans le cas où elles n'auraient pas été correctement débarrassées de toutes larves. Ainsi, le risque d'erreur dans la localisation des larves sera évité.

2.3.2.3. Manipulations de Zooscan et analyse de résultats.

Les échantillons sont emmenés au M.I.O pour passer dans un ZooScan, appareil d'imagerie pour la mesure et la classification d'organismes et de particules (de 150 µm à 5 cm) présents dans un milieu liquide. Il est très utilisé dans les études planctoniques.

Dans un premier temps, les échantillons sont standardisés par rapport à ceux réalisés dans toute la région, en étant tamisés de nouveau avec une maille de 300 µm. Le mélange d'eau et alcool est conservé pour être remis dans le bocal, en fin d'analyse au ZooScan.

L'appareil est préparé ainsi que les logiciels associés Viewscan et Zooprocess. L'échantillon de larves est ensuite versé avec de l'eau dans le ZooScan. L'appareil renvoie ensuite un scanner de l'échantillon (illustration 2). C'est dans un second temps que Zooprocess isole chaque individu en vignette, grâce à une analyse chromatique basée sur un gradient de noir et blanc. Ainsi, il est plus simple de faire de l'identification, sur les larves recherchées lors de l'étude, donc ici les mégaloopes de crabe bleu.

La recherche taxonomique se fait ensuite avec des clés d'identification trouvées en bibliographies (Stuck, 2009 ; Weiss, 2017) ou en manuscrits au M.I.O. Il est donc retenu l'absence ou la présence de mégaloopes de crabe bleu. Dans le cas d'une présence, il sera noté l'abondance relative de l'espèce au sein de l'échantillon.

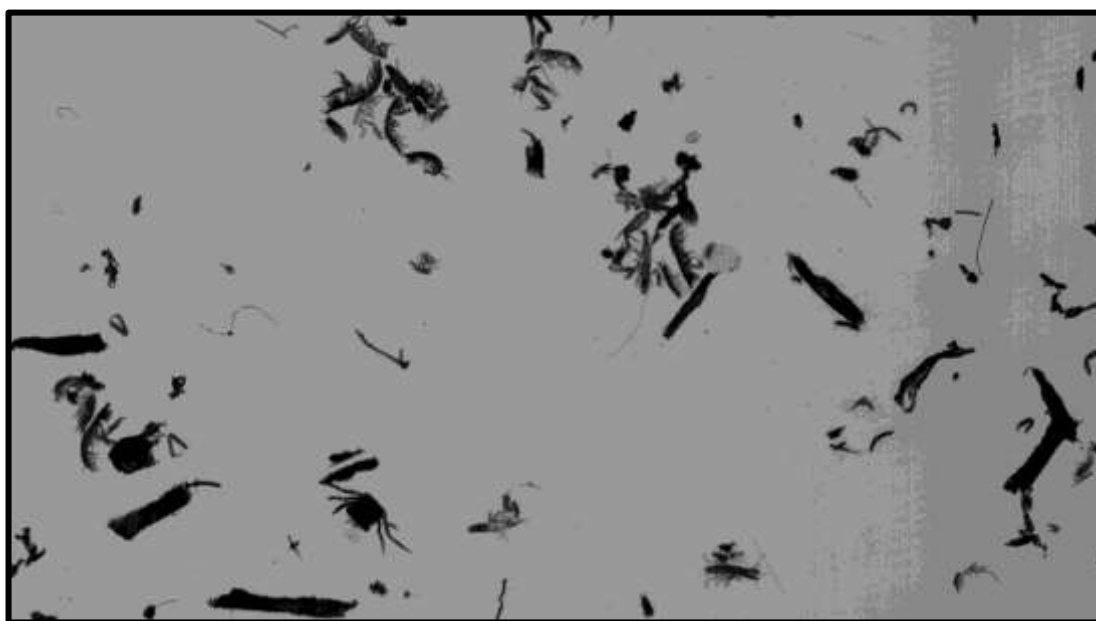


Illustration 2 : Fragment de scanner issu du traitement de l'échantillon de B2 de juin au ZooScan - Source : Marchessaux, 2025

PARTIE 3 : Exploitation des résultats

3.1 Résultats de dispersion spatiale du crabe bleu au sein du delta du Rhône, une dispersion dépendant de critères physico-chimiques

3.1.1 Mise en perspective des prédictions faites au préalable

La cartographie ODV réalisée a fait transparaître que la présence du crabe bleu variait d'un mois à l'autre. Ceci est lié au fait que les données de salinité ont été variables. Des zones de colonisation forte (zones rouges sur la Figure 14), ressortent ainsi que l'extrême opposé avec des zones ne semblant pas être attractives pour le crustacé (zones blanches sur la Figure 14).

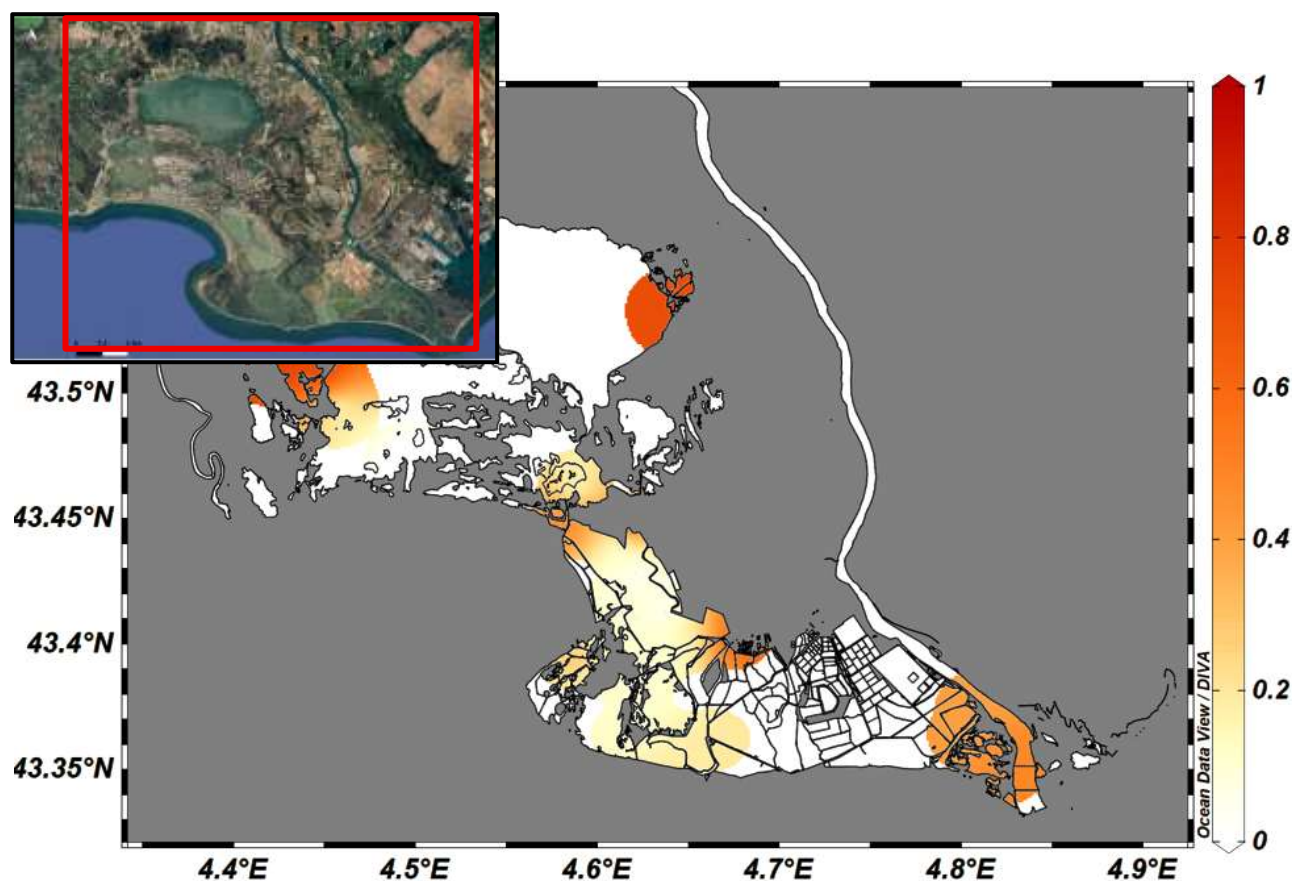


Figure 14 : Cartographie SHS du delta de Camargue du mois de septembre 2024
Source : Berthoud, 2025

Pour analyser les résultats, la cartographie de septembre sera prise en compte (Figure i). Certaines zones du complexe aquatique semblaient être des berceaux de colonisation, comme l'étang du Vaccarès tandis que les observations de terrain de cette zone ne relèvent qu'un crabe par jour la semaine du 23 au 29 mai (communication personnelle Delphine Nicolas, Tour du Valat 2025). De même, le cas inverse est observable au niveau de « Beauduc ». Selon la modélisation, le crabe ne se disperserait pas jusque-là, alors qu'il est fréquemment observé dans cette zone refuge, surtout en septembre où des femelles grainées sortent par les graus.

Selon l'ensemble des cartes dressées, le mois où le crabe bleu serait observable sur tous les milieux aquatiques serait le mois de mars. Cependant, d'après les observations réalisées l'an passé, les mois d'août et octobre comptabiliseraient les pics d'observation (par les pêcheurs) et traduiraient une expansion de la population les rendant donc plus visibles sur l'ensemble du delta.

L'outil a tout de même permis de montrer que la Camargue est une zone à risque pour le développement du crabe bleu. Chaque mois comporte une zone d'un taux SHS de 1, donc en risque de colonisation. Il permet donc de faire ressortir la nécessité d'action contre l'espèce exotique envahissante sur ce territoire. Il peut aussi permettre de guider la décision de mise en place d'actions sur un site en particulier. Cependant, afin d'être certain d'optimiser les moyens mis en œuvre sur un lieu vraiment prioritaire, il faut comparer ces résultats théoriques avec les résultats de pêche obtenus sur le terrain.

De nombreuses limites sont à apposer sur le modèle utilisé. La modélisation est basée sur un système d'extrapolations de valeurs, à plus ou moins grand rayon. Des biais de valeurs peuvent donc altérer l'efficacité de la perception du gradient SHS. Ensuite, le modèle n'est adaptable qu'en système lagunaire, dès que l'on utilise une donnée de salinité proche de celle de la mer, la valeur SHS affichée est 0. Ce qui, en pratique, n'est pas le cas puisque les femelles crabe bleu sont observables dans des salinités importantes et que les femelles utilisent le milieu marin pour la dispersion de leurs larves. De plus, lors de la mise en forme des cartes, le gradient se trace indépendamment des limites géographiques. La modélisation ne prend donc pas en compte les barrières physiques. Elle peut donc faire dépasser des projections sur des lieux aux propriétés totalement différentes.

En résumé, cette technique de modélisation est utile pour une étude se réalisant sur une seule zone humide. En effet, faire une carte SHS permet de savoir si celle-ci sera susceptible d'abriter l'espèce. Mais, si cette méthode est utilisée pour extrapoler à un ensemble d'écosystèmes lagunaires complexes comme ceux de la Camargue, les résultats transmis par cette carte ne sont pas réellement exploitables. Malgré le lien entre la valeur SHS et la salinité de l'eau, cet outil de carte ODV ne permet pas de répondre à l'hypothèse H1. Il est donc préférable de croiser les informations obtenues par la carte avec les observations réelles, réalisées sur le terrain.

3.1.2 Impact de la salinité sur le sexe ratio

Pour répondre à l'hypothèse H1, les données du suivi biométrique ont été récoltées, et des graphiques représentant le sexe ratio de chaque lieu de capture ont été réalisés.

L'objectif est donc de suivre l'évolution du sexe ratio des populations de crabe bleu par lieu, donc en fonction de la salinité de ces derniers. Ces analyses se font donc par rapport au mois d'étude. Ces diagrammes sont intégrés à la carte de la zone d'étude, pour situer plus facilement les résultats, et simplifier les analyses.

L'analyse des résultats du test exact de Fisher (Annexe 4) est à prendre en compte avant présentation d'autres résultats. Pour le mois de juin, le test exact de Fisher indique une relation significative entre le sexe des crabes bleus et le lieu d'échantillonnage ($p = 0,05$). Le résultat est à la limite de la signification statistique. Il existe une tendance à la variation de la répartition des sexes selon les lieux, mais cette relation doit être interprétée avec prudence. Il est nécessaire de comparer ce résultat à ceux des prochains mois, pour pouvoir émettre une conclusion finale sur H1. Pour les mois de juillet ($p = 4,3e-5$) et d'août ($p = 1,9e-4$), le test exact de Fisher indique une relation significative entre le sexe des crabes bleus et le lieu d'échantillonnage. L'hypothèse H0 est rejetée, ce qui signifie qu'il existe une relation entre le sexe des individus pêchés et leur lieu de capture. Puisque les lieux sont associés à des salinités différentes, il peut être extrapolé que la répartition des sexes selon la salinité des sites (H1) est prouvée.

Maintenant que cette relation a été révélée par le test exact de Fisher, il est possible d'affiner l'analyse en déterminant les salinités associées aux mâles et celles associées aux femelles. Pour le mois de juin (Figure 15), il est notable que les observations semblent en contradiction avec ce qui a été retrouvé en bibliographie. En effet, dans l'étang de Beauduc, la salinité se rapprochant de celle de la mer (29,32 psu), seulement des mâles ont été capturés (100%). Or, d'après la bibliographie, il est attendu d'observer des femelles. Sachant que des lagunes sont disposées en arrière-terre de ce lieu de capture, il peut être imaginé que des mâles se sont déplacés pour une chasse de proies plus grosses ou pour une recherche de femelle. De plus, 38 % de ces mâles sont au stade de juvénile. Il est donc logique de les trouver à un endroit salé et comportant un herbier de zostère dense. En effet, les juvéniles ont besoin de sel pour se développer et éviter l'inhibition d'une protéine de développement (Lacerda, 2025). Les jeunes individus, étant plus exposés aux dangers de prédation, vivent, quant à eux, dans les herbiers ou les zones vaseuses pour grandir protégés des potentiels prédateurs. Ce mécanisme de défense est observable morphologiquement, car lors des mesures, tous les crabes juvéniles arboraient des palettes natatoires vertes.

Cependant, pour le petit Rhône et la « Bassine », les résultats semblent plus en adéquation avec la bibliographie. En effet, la zone d'embouchure du Rhône est un lieu de rencontre entre les mâles et femelles, alors le fait de retrouver des mâles (50 %) dans des eaux si salées se justifie par la recherche de partenaire de reproduction. Concernant « la Bassine », de nombreux mâles (60 %) sont observés dans une eau de 42 psu. Mais tous les mâles pêchés ici sont des juvéniles. Le résultat du sexe-ratio paraît donc plus logique, puisque les jeunes individus ont besoin de sel pour se développer.



Figure 15 : Cartographie de la représentation du sexe-ratio des populations de crabe bleu au mois de juin au sein du delta du Rhône - *Source : Berthoud, 2025*

Pour le mois de juillet (Figure 16), les observations ressortent plus cohérentes avec la bibliographie. En effet, dans une eau salée à 11 psu comme à l'étang d'Icard, une majorité de femelles (76 %) ont été capturées. L'étang d'Icard représente aussi une zone d'entrée dans le complexe aquatique pour les femelles. Au contraire, dans une eau présentant une salinité faible de 4,7 psu, au niveau de la Palissade, le sexe-ratio est très largement déséquilibré en faveur des mâles (84 % de mâles). La « Bassine » présente toujours la même forme de résultats (48 % de mâles), la majorité des mâles pêchés sont des juvéniles, donc les résultats restent en adéquation avec la bibliographie.

Enfin, pour le mois d'août (Figure 17), l'étang du Palun du domaine de la Palissade n'abrite que des mâles (100 %), dans une eau saumâtre toujours aussi faible en salinité (6,9 psu). Pour la « Bassine », des vents forts (3 à 4 sur l'échelle de Beaufort), issus des intempéries violentes du mois, ont permis à la mer d'entrer au sein du plan d'eau, ce qui a permis à la population de crabe de se modifier (67 % de mâles) . La suspicion de femelles partant en mer pour pondre, et de mâles matures dans le Rhône, amène à un sexe-ratio en faveur des mâles. Il est à noter que les mâles, devenus adultes pendant cette période, ont été capturés en plein accouplement. Il y aurait donc une explication de la présence de mâles adultes dans une eau plus salée que leur tendance habituelle. Il est aussi important de tenir compte de la fermeture de cet habitat. Les individus y sont moins libres de déplacement que des crabes étant dans des lagunes en contact direct et permanent avec la mer.

Sachant que les juvéniles mettent 18 mois à devenir matures, les adultes qui ont été observés ne peuvent pas être considérés comme les juvéniles de juin ayant atteint leur stade final. Il y aurait donc eu un apport de juvéniles dès l'année passée que l'on peut qualifier de cohorte. Plusieurs générations cohabitent donc dans cet habitat. Il y a donc eu une évolution de l'écosystème et une installation permanente de l'espèce au sein de ce plan

d'eau. Il doit donc y avoir des ressources utiles et suffisantes au développement du crabe bleu.



Figure 16: Cartographie de la représentation du sexe-ratio des populations de crabe bleu au mois de juillet au sein du delta du Rhône - *Source : Berthoud, 2025*



Figure 17 : Cartographie de la représentation du sexe-ratio des populations de crabe bleu au mois d'août au sein du delta du Rhône - *Source : Berthoud, 2025*

En résumé, ce suivi montre clairement que la salinité joue un rôle sur la dispersion du crabe bleu. Ces analyses corroborent l'hypothèse H1. Cependant, pour répondre aux hypothèses H1a et H2b, il faut y apporter davantage de nuances. Certes, il peut y avoir des retours surprenants, qui ne sont pas en totale adéquation avec la bibliographie, mais il ne faut pas oublier que travailler sur cette problématique revient à travailler sur le vivant. Cette espèce s'adapte avec une facilité déconcertante, il se peut donc que certains mâles tolèrent des eaux plus salées pour la reproduction ou que des femelles passent dans des eaux moins salées qu'à leur ordinaire. Il faut sûrement prendre en compte d'autres paramètres que la salinité, comme la température de l'eau, la disponibilité en ressources ou encore la phase dans le cycle de reproduction.

La salinité de l'eau est donc un bon indicateur de présence de crabe, mais pour obtenir une dispersion plus précise du crabe bleu, il faut prendre d'autres paramètres propres à l'espèce en compte.

Les résultats infirment les hypothèses H1a et H1b.

3.1.3 Recrutement des larves de crabe bleu au sein du littoral méditerranéen

Les gestionnaires peuvent maintenant avoir une idée globale de la répartition des crabes bleus, en considérant pêcher des femelles dans les eaux plus salées (mer, graus) et les mâles dans les eaux saumâtres dans des gradients moins salés. Il est possible d'affiner la perception de la répartition de cette EEE. En effet, l'obstacle le plus marquant contre la lutte de l'espèce est son taux de fécondité. Une femelle pouvant produire jusqu'à 2 millions d'œufs (Tagatz, 1968), il est important de pouvoir intercepter les femelles grainées, ou les larves avant le développement de ces dernières. Pour cela, il faut connaître les lieux de recrutement des larves. L'étude se fera sur le stade mégaloïde, car observable à l'œil nu par les chercheurs, lorsqu'il est isolé dans un petit échantillon.

Par des soucis d'organisation dépendants du M.I.O, seulement une session peut être analysée avant la date de parution de ce mémoire. Les résultats vont donc se baser sur les collectes de juin qui n'ont pu se faire qu'à « Beauduc » (herbier de la zone de protection de biotope) et à la « Bassine » de la plage Napoléon. De plus, le travail de mise en vignette n'a pas pu être lancé par souci de temps, puisque ce processus est très chronophage et aurait mobilisé un ordinateur pendant une période utile aux chercheurs de l'institut. Tout cela implique des conclusions n'amenant qu'à la présence ou à l'absence de mégaloïdes au sein des deux sites.

Pour « Beauduc », la présence de mégaloïdes a été affirmée (Illustration 3, Illustration 4) sur deux zones de captures (B2 et B3). Elles sont situées dans la partie la plus dense de l'herbier et à faible distance l'une de l'autre. L'autre collecteur n'ayant pas abrité de larve de crabe bleu, l'hypothèse peut être émise que les larves se regroupent en une zone bien précise de l'herbier et que le recrutement de ces dernières est empêché par la langue de sable, qui était initialement perçue comme une protection pour les larves. Pour repérer des larves, il faut donc se concentrer sur les lieux ouverts et éviter les zones confinées. L'hypothèse H3a est donc confirmée.

Pour le cas de la « Bassine », il y a absence de mégaloques sur les trois collecteurs mis en place. Des juvéniles y ayant été observés, il pourrait être pensé qu'ils arrivaient d'abord sous forme de larves par la mer pour se développer ici. L'absence de larve n'est pas surprenante, puisque l'étang n'est pas en contact permanent avec la mer. Il est impossible de conclure sur H3b pour le moment, mais il peut être amené deux pistes de réflexions sur les analyses des prochains mois. Dans un premier cas, si aucune larve n'était repérée aux mois de juillet et août, il pourrait être conclu que la « Bassine » n'est pas une zone de recrutement larvaire. Un plan d'eau fermé ne peut donc pas accueillir des larves, car il n'y a pas de lien constant avec la mer. Les juvéniles seraient donc arrivés dans la « Bassine » par le biais de déplacements terrestres. Dans le second cas de figure, si des mégaloques sont retrouvées en juillet ou en août, il pourra être conclu que la période de recrutement larvaire est différente d'un côté à l'autre du Grand Rhône. En effet, « Beauduc » et la « Bassine » étant séparés d'une flèche sableuse et d'une embouchure du Rhône, il ne paraît pas étonnant que les zoés, se déplaçant par les courants marins, entrent dans les milieux séparés géographiquement à des périodes différentes. De plus, il peut être supposé que les courants et apports d'eau douce par le Grand Rhône, peuvent avoir une influence sur le retard de recrutement larvaire au niveau de la « Bassine ».

Cependant, l'hypothèse H3c reste en suspens ainsi que l'hypothèse H3, bien que pour l'instant des larves aient été retrouvées dans à proximité d'un grau (herbier de Beauduc) et aient été absentes dans un étang en lien temporaire avec la mer (la « Bassine »).

Le fait d'avoir recouvert le delta avec le suivi biométrique a permis de comparer certains lieux entre eux, pour en faire ressortir un, plus susceptible d'être intéressant pour la lutte contre l'espèce.



Illustration 3 : Capture du scanner de l'échantillon B2 de juin mettant en évidence une mégaloque de crabe bleu- *Source : Marchessaux, 2025*



Illustration 4 : Mégaloque de crabe bleu observée sous loupe binoculaire (Zoom x16)
Source : Marobin, 2025

3.1.4 Repérage d'un lieu clé pour l'extraction de l'espèce

Suite aux différentes périodes de terrain effectuées, un lieu est ressorti comme étant un point clé dans la lutte contre l'espèce. Bien que ce ne soit pas un lieu aussi évident qu'un grau (où toutes les femelles s'agglutinent en période de ponte), il n'en reste pas moins très important. En effet, la zone humide appelé « la Bassine » à Port-Saint-Louis-du-Rhône a été retenue pour plusieurs raisons. Tout d'abord, le fait d'y mener plusieurs pêches a permis aux opérateurs de comprendre en partie, le comportement du crabe à cet endroit précis. C'est un lieu qui a différents rôles pour le crabe : c'est une nurserie, mais aussi un lieu de reproduction. Ensuite, du point de vue de la lutte, l'extraction des individus pourra s'y faire de manière importante. En effet, pour une même biomasse de crabes extraite du lieu, il y aura plus d'individus capturés s'ils sont sous forme de juvéniles. Par ailleurs, les femelles grainées, bloquées en l'attente d'un vent fort ouvrant le passage pour leur sortie en mer, pourront être interceptées avant de pondre leurs œufs. C'est pour cela que le choix ne s'est pas porté sur le lieu ayant la plus grande moyenne de taille cw des individus mûres. La taille des individus capturés n'est pas la plus importante. Les résultats de juin et août sont consultables (Annexe 5). Il est plus flagrant de le montrer avec le mois de juillet, où la largeur de carapace moyenne des adultes est de $(12,5 \pm 0,05)$ cm pour la « Bassine » (Figure 18), $(16,00 \pm 0,05)$ cm pour l'étang d'Icard (Figure 19) et $(18,50 \pm 0,05)$ cm pour l'étang du Palun (Figure 20).

De plus, grâce au partenariat avec la commune de Port-Saint-Louis-du-Rhône, la zone de pêche est facilement accessible, et la pêche peut se réaliser à pied, avec des épuisettes.

De nombreuses actions de pêche ont été menées régulièrement à la « Bassine », et la lutte continuera à se faire par ce plan d'eau.

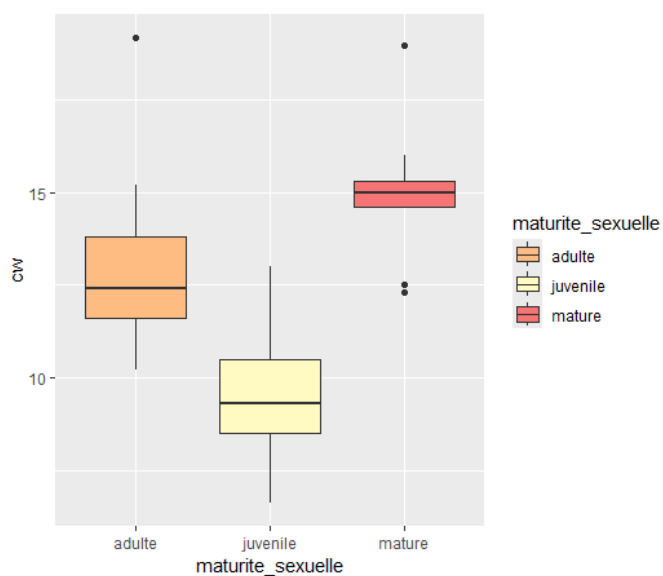


Figure 18 : Box-plot des largeurs de carapace (cw) de chaque classe de maturité de la population de crabe bleu de la « Bassine » au mois de juillet
Source : Berthoud, 2025

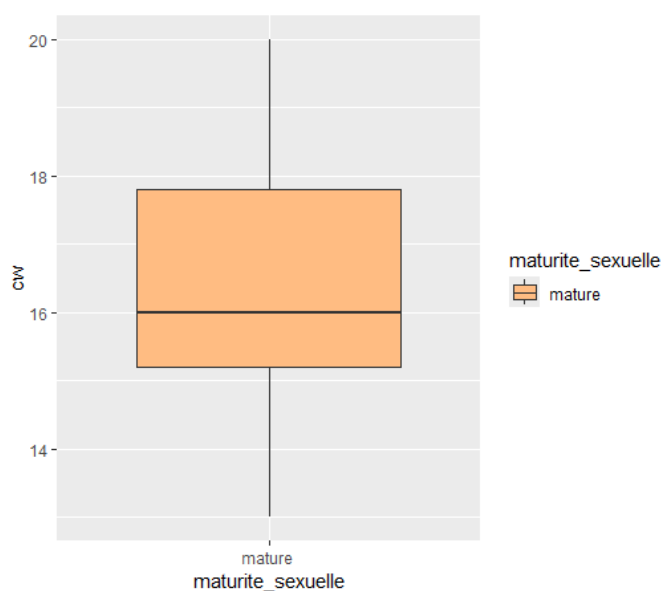


Figure 19 : Box-plot des largeurs de carapace (cw) de chaque classe de maturité de la population de crabe bleu de l'étang d'Icard au mois de juillet
Source : Berthoud, 2025

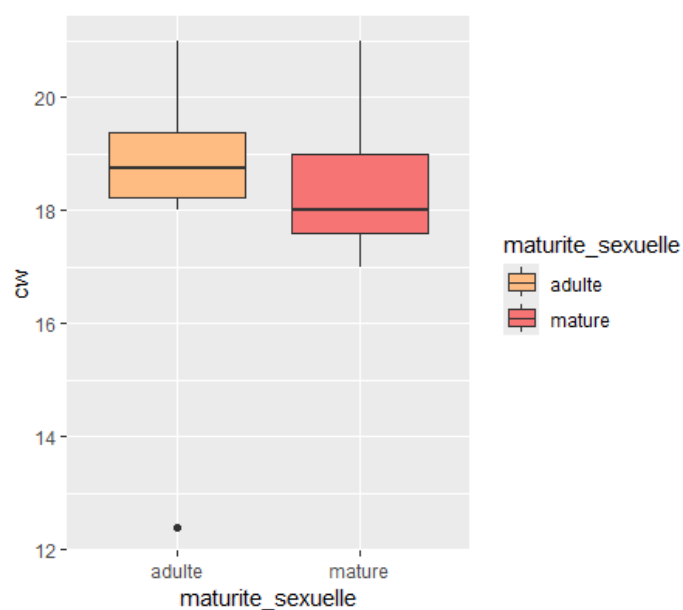


Figure 20 : Box-plot des largeurs de carapace (cw) de chaque classe de maturité de la population de crabe bleu de l'étang du Palun au mois de juillet
Source : Berthoud, 2025

3.2 Résultats de dispersion temporelle du crabe bleu au sein du delta du Rhône, un cycle fidèle à celui décrit par la bibliographie, mais adapté au milieu

Grâce au suivi biométrique, des tendances comportementales durant la période de stage ont été obtenues, sur le crabe bleu. Couplées aux retours des pêcheurs professionnels, ces informations seront précieuses dans la mise en place de lutte pour l'année 2026.

Ce suivi a aussi mis en avant les stades de maturité retrouvés dans chaque lieu, ce qui permet de comprendre une forme de chronologie du développement du crabe bleu lors des mois de juin à août.

Il peut être mis en évidence, qu'en juin (Figure 21), seuls les crabes du petit Rhône présentait une maturité précoce (30 %), alors que dans la partie Est du delta, il n'y avait que des juvéniles et des adultes immatures. Les adultes qui sont recensés en juin, doivent être le résultat des pontes de l'année précédente, puisqu'il faut 18 mois aux juvéniles pour devenir mûres. Les juvéniles pourraient être issus d'une ponte d'avril ou d'une ponte ayant aussi eu lieu l'année dernière. Il y a eu des retours de pêcheurs professionnels de femelles grainées observées en fin avril, début mai, alors qu'auparavant, leurs observations s'échelonnaient durant les mois d'août à octobre. Cette année, il peut être attendu d'observer deux pics de femelles grainées.



Figure 21 : Cartographie de la représentation de la maturité des populations de crabe bleu au mois de juin au sein du delta du Rhône - *Source : Berthoud, 2025*

Avec le mois de juillet (Figure 22), la part des individus mûres dans les pêches augmente de manière uniforme sur le delta. L'étang d'Icard ne comportait que des individus mûres (100%), la Palissade 66% et la « Bassine » 15%. Il peut donc être conclu que les individus se sont développés jusqu'à une maturité qui commence à être atteinte en juillet.

Enfin, il est recensé pour le mois d'août (Figure 23) une majorité d'individus mâtures, bien que la population de la « Bassine » soit encore assez diversifiée et d'une façon équilibrée (10% d'individus mâtures). Les crabes de la Palissade étaient dans la totalité mâtures (100%). De plus, lors des pêches de suivi biométrique, quatre couples en reproduction et quatre femelles grainées ont été sortis du milieu. La présence de nouvelles femelles grainées indique que les individus mâtures de juillet ont déjà eu recours à la reproduction. Et les premières femelles grainées de l'été arrivent désormais en août sur ce site.

De façon résumée, le suivi biométrique a mis en évidence, cette année 2025, que les individus atteignent la maturité sexuelle en juillet et que les femelles ressortent grainées en août. Avec les retours de pêcheurs professionnels sur les femelles grainées d'avril, cette période de juillet peut être considérée comme la deuxième vague de reproduction de l'année.



Figure 22 : Cartographie de la représentation de la maturité des populations de crabe bleu au mois de juillet au sein du delta du Rhône - *Source : Berthoud, 2025*

Ensuite, il peut être ajouté en plus du suivi biométrique et des retours de terrain les retours de pêcheurs professionnels. En février 2025, les pêcheurs professionnels attrapaient encore des crabes bleus, alors que l'année précédente ils étaient en léthargie durant cette période froide et donc, non observables. Les premières femelles grainées de l'année de 2024 ont été pêchées en août avec un pic en octobre.

Autrement dit le crabe bleu s'est déjà adapté aux températures chaudes de la Méditerranée. En effet, en comparaison à l'année précédente, l'année 2025 a été plus critique vis-à-vis de l'expansion du crabe. En février, l'espèce était active, malgré une

période de léthargie observée auparavant. Il y a eu une première période de reproduction en février et les premières femelles grainées apparues en avril. Puis, une deuxième vague de reproduction a eu lieu en juillet, avec une deuxième vague de femelles grainées. Cette année 2025, a donc subi plus de femelles grainées, à cause d'une nouvelle période de reproduction hivernale précoce (Annexe 6).



Figure 23 : Cartographie de la représentation de la maturité des populations de crabe bleu au mois d'août au sein du delta du Rhône

Source : Berthoud, 2025

PARTIE 4 : Discussion des résultats

4.1. Aspect expérimental de l'étude

4.1.1. Absences de récoltes de données

L'aspect expérimental de cette étude comporte certains choix opportunistes, lié au volontariat des partenaires (pêcheurs professionnels, gestionnaires) qui ne se permettent pas tous une approche rigoureuse. En effet, la récolte de crabes était principalement basée sur les dons de pêcheurs professionnels volontaires, ce qui a pu freiner la répétabilité de l'expérience. Or, capturer les crabes bleus pour les transmettre par la suite, représente une charge supplémentaire de travail pour eux. De plus, l'étude ne comporte pas de volet financier permettant d'acheter les crabes aux pêcheurs pour compenser une perte de revenu par les individus retirés pour les mesures. Il était donc normal de travailler selon la volonté des pêcheurs professionnels pour ces dons, et de respecter leurs choix. De plus, certains de ces acteurs avaient des indisponibilités à certaines périodes.

De plus, il est important de noter que la zone à couvrir est grande, avec une mosaïque d'habitats aquatique conséquente. De plus, une partie importante des zones humides de la Camargue est protégée et interdite à la pêche. Enfin, il existe des interdictions temporaires de la pêche dans le cadre de l'application du règlement européen de 2007 sur la gestion de l'anguille du 15 juillet au 15 août. Aussi, tous les milieux aquatiques du delta pouvant être concernés par le crabe bleu ne bénéficient pas tous pour autant de données issues de la pêche professionnelle.

Cette situation conduit notamment à une dispersion des données issues de la pêche entre plusieurs sites et donc à un nombre restreint de crabes bleus dans les échantillonnages pour certaines zones, ce qui peut fausser en partie l'analyse des résultats. En effet, pour certains sites, le nombre d'individus mesuré est inférieur à 10, ce qui n'est donc pas représentatif de la population localisée. A contrario, au niveau de la « Bassine » il a pu être mesuré 60 crabes. Il peut être précisé que les résultats ne sont pas comparables d'un site à l'autre, car le nombre d'individus mesurés par lieu est différent d'un espace à l'autre.

De plus, il aurait pu être envisageable, si le fait d'obtenir des crabes n'était pas aussi compliqué, de réaliser les suivis biométriques sur chaque moitié de mois. En effet, le comportement des crabes pouvant varier du début à la fin du mois, il serait possible d'obtenir une répartition temporelle plus détaillée.

Les résultats ont tout de même permis d'obtenir une première approche de la répartition du crabe d'un point de vue général, à l'échelle du delta. Les efforts pourront être concentrés sur l'analyse de la population de la « Bassine », puisque de nombreux individus y ont été mesurés. Les mesures récoltées pour les autres sites peuvent être utilisées comme complément pour comprendre les dynamiques globales.

4.1.2. Lacunes de résultats du suivi larvaire

Le partenariat avec le M.I.O a pu être mis en place rapidement. Cependant, sur les mois de juin à août, la disponibilité du matériel (Zooscan) et des chercheurs ont été confrontés à l'organisation estivale avec des fermetures ou congés saisonniers. Seule la session de juin a permis de réaliser le travail en laboratoire, tandis que les données de juillet et d'août seront tout de même analysées en septembre. Par souci de coordination avec les indisponibilités du Zooscan, les analyses n'ont pas pu figurer dans ce rapport.

Il a tout de même été possible d'obtenir un début de réponse aux hypothèses, qui doit tout de même être vérifié par les analyses des mois suivants.

Pour l'année 2026, le M.I.O envisage l'encadrement d'un stage pour analyser les échantillons de Camargue, de l'étang de Berre et de l'étang de Villepey. Le PNRC pourrait alors co-encadrer le stagiaire pour la partie « Camargue », . Les agents du PNRC pourraient donc se concentrer particulièrement sur l'aspect de lutte contre le crabe bleu.

De plus, il aurait fallu commencer l'expérimentation dès le mois de mai, pour évaluer si les pontes d'avril avaient éclos assez tôt, et donc si la température de l'eau avait accéléré l'éclosion des œufs. Cependant, les pontes d'avril de cette année étaient une nouveauté, il était donc compliqué d'anticiper le phénomène. Puis, soucis de matériel et d'autorisation, l'expérimentation n'aurait pas pu se mettre en place. Il est donc important de conserver cette idée pour l'année prochaine, lorsque les travaux seront repris.

Il peut être ajouté qu'un changement de zones d'études est à repenser. En effet, seule la zone de l'herbier de Beauduc a permis de récupérer les trois collecteurs déposés à chaque relèvement. Pour le cas de la « Bassine », suite aux intempéries, la plage s'est retrouvée plusieurs fois submergée par la mer. Les collecteurs ont donc été éparpillés au centre du plan d'eau, dans une zone trop profonde (1,70 m) pour avoir une visibilité sur le fond sablo-vaseux, ce qui n'a pas permis de les récupérer. Lors d'une autre session, toujours à cause des intempéries, un collecteur a été retrouvé hors de l'eau, à 5 m du bord. Pour le mois de juin comme pour juillet, seulement deux échantillons ont pu être récupérés, et un seul pour le mois d'août. Pour le canal des Impériaux (zone appartenant au CD13), le temps de mise en place du protocole et des autorisations n'a pas permis de pose de collecteur en juin, mais pour le mois de juillet seulement deux ont été retrouvés. L'hypothèse de la perte, a été le sciage de la corde reliant le collecteur au pont, à cause du vent. Une adaptation s'est donc faite en août où la corde a été remplacée par un fil électrique rigidifié par un fil de fer interne. Ainsi, les forces de friction auraient un impact moindre sur le fil électrique. Cependant, lors du relevé d'août, les fils ont été retrouvés coupés de façon très nette. Il a été supposé que du vandalisme ait eu lieu, et que des personnes mal intentionnées aient délibérément coupé les fils. En effet, le troisième collecteur, protégé par le même fil, a été maintenu intact : son installation plus éloignée, et plus dissimulée que les deux premiers, a pu le protéger du vandalisme .

D'une manière générale, pour tous les protocoles, il est important de faire attention au lieu de pose d'engins. Certains endroits de Camargue, que ce soit en lagunes ou en mer, sont sujets à des vols. Il peut arriver à des pêcheurs de se faire couper leurs filets ou leurs nasses, par d'autres pêcheurs. De plus, en tant que structure territoriale, le PNRC peut avoir

des détracteurs sur le territoire, ce qui peut mener à ce genre de résultats. Aussi, sur certaines zones, il peut être utile de rester discret sans être identifié PNRC. Il faut donc garder en tête le rôle du Parc au sein de son territoire et son rapport aux acteurs.

4.1.3 Rôle de gestionnaire du PNRC

Il faut garder à l'esprit qu'un Parc naturel régional a un rôle d'animateur territorial, parfois de gestionnaire comme en Camargue mais ne s'apparente pas à un centre de recherches. Les protocoles de terrain ne sont pas aussi rigoureux que ceux en laboratoire, et demande parfois une certaine adaptation. De plus, le fait d'être gestionnaire ancre davantage les agents du Parc au sein du territoire. Il est primordial de travailler à l'échelle du delta avec l'ensemble des acteurs et gestionnaires pour comprendre la dynamique du crabe bleu en Camargue. Le PNRC, en tant qu'acteur central de l'animation territoriale a un rôle clé dans la mise en commun des informations et l'organisation des échanges.

En effet, la veille des pêcheurs est primordiale dans la compréhension de l'espèce. D'autant plus qu'ils passent la moitié de leur temps sur l'eau et sont les premiers à se confronter à l'espèce. De même, les retours des autres gestionnaires de zones humides sont importants pour obtenir des retours dans les espaces protégés. Il ne faut pas négliger cet aspect de connexion avec les acteurs, surtout lorsqu'il s'agit d'espèces exotiques envahissantes. La présentation des résultats de stage au cours de réunions et de Comité de pilotage (ex : Comité de pilotage du site Natura 2000 Camargue le 28/08/2025) est importante pour maintenir un échange d'informations avec les différents acteurs du territoire, et remercier tous les partenaires ayant participé à cette étude, de par leur expérience, leur technicité, ou la transmission de leurs données.

4.2 Aspects sociétaux de la lutte contre le crabe bleu et inspirations internationales

Le mémoire ici présenté, donne des pistes de réflexion sur les lieux à privilégier pour la lutte contre le crabe bleu. Bien que la pêche soit la seule solution pour diminuer la pression exercée par l'espèce, il ne pousse pas à la surpêche. Il faut éviter de créer une filière de valorisation du crabe qui se voudrait pérenne mais n'encouragerait pas du coup la lutte.

L'EEE, se transforme en ressource mais il faut qu'elle soit une ressource temporaire, et qu'une économie du crabe bleu ne s'enracine pas dans le monde de la pêche professionnelle française. En ce sens, il conviendrait d'éviter que les actions de lutte s'inspirent de ce qui a été fait dans les pays voisins. En effet, en Espagne, le crabe bleu est devenu une ressource, et un pêcheur retirant un individu dans le milieu sans autorisation est considéré comme braconnier. Il faut un permis de pêche du crabe bleu et respecter des quotas de pêche (permettant de maintenir les prix d'achat), car la volonté du pays est de conserver l'espèce, pour en faire un revenu constant. Dans la même optique la Tunisie a basé son économie de pêche sur le crabe bleu, puisqu'ils y ont vu une apparition de ressources en grande quantité, pour le moment quasiment illimitée. Mais il est inenvisageable de prendre exemple sur les actions du pays, puisque les femelles grainées sont relâchées en mer pour faire perdurer l'espèce, et que les pêches se font à la drague, un engin de pêche de la famille des arts traînants (comme les chaluts) qui ont un impact fort

sur les fonds marins, notamment les herbiers. Or, afin de protéger et restaurer les fonds marins, les pêcheurs professionnels de Camargue et le Parc, se sont battus pour mettre fin à la présence de chalutiers pêchant illégalement dans la bande des trois milles marins. La prud'homie de pêche a par ailleurs interdit la pratique de la drague en Camargue. Le PNRC protège les fonds sableux du golfe du Lion, qui est un habitat mis en danger par les arts trainants de la pêche. Un retour à ces modes de pêche pour lutter contre le crabe bleu est impensable. De plus, le crabe bleu a bouleversé la Tunisie d'un point de vue sociétal. En effet, les femmes des pêcheurs artisanaux, qui auparavant préparaient librement les poissons de leurs maris, sont désormais enfermées dans des usines de crabe bleu, travaillant de jour comme de nuit pour les préparer à un export de masse. En effet, la Tunisie contrôle le marché du crabe bleu puisqu'ils vendent l'animal 4,50 € pièce, contre 10,50 € maximum à la criée du Grau du roi (où vont vendre les pêcheurs camarguais). Les pêcheurs de Camargue ont donc du mal à travailler avec des conserveries locales, qui privilégient un prix de revient bas, plutôt qu'un soutien à des pêcheurs locaux en souffrance et dans le besoin.

Il est donc primordial d'avoir un regard critique sur les méthodes de lutte des pays voisins, pour ne pas toujours s'en inspirer. La valorisation devrait donc être temporaire et adaptée à une présence aléatoire de l'espèce.

4.3. Année 2025, une année spéciale pour la mer

Cette année 2025 a été étonnante, notamment pour les observations de biodiversité. Il est présumé, que c'est à cause des orages à répétitions en juillet et août, du Mistral qui a été persistant, ou encore à cause des fortes températures en plus de l'épisode de canicule marine. En tous cas, il a été observé la première ponte de tortue Caouanne (*Caretta caretta*, Linnaeus 1758) sur la plage de Napoléon à Port-Saint-Louis-du-Rhône. Les raies Diable de Mer (*Mobula mobular*, Bonnaterre 1788) ont été observées en nombre près des côtes en méditerranée française alors qu'elles vivent plus au large dans des zones plus profondes. Ainsi, trois individus de cette espèce ont été vues en Camargue dont deux sont échouées sur plages des Saintes-Maries-de-la-Mer où elles sont mortes. L'absence de Grand dauphin (*Tursiops truncatus*, Montagu 1821) à la côte, dans les trois milles marins, était exceptionnelle par rapport aux précédentes années, tandis que les pêcheurs professionnels ont fait part de productions très faibles sur toute l'année. La faune marine a montré des comportements différents des années précédentes, ce qui laisse place à des questionnements sur ce qu'il s'est passé au niveau de l'écosystème en général.

Vient alors une nouvelle incertitude : le comportement du crabe bleu a-t-il aussi été altéré ou favorisé par cette année spéciale ? Faut-il s'attendre à un même comportement et une même répartition spatio-temporelle l'année prochaine ? Seule la continuité du suivi biométrique couplé aux retours de pêcheurs pourra répondre à ce questionnement.

Pêche de la Bassine 19/06 - Durée 1h45 (2 épuisettes) = Donnée suivi biométrique					
femelles juvéniles	mâles juvéniles	femelles adultes	mâles adultes	femelles mûres	males mûres
8	11	1	1	0	0
TOTAL TOUT =					21
Pêche de la Bassine 04/07/2025 - Durée 3h (3 épuisettes) = Données suivi biométrique					
femelles juvéniles	mâles juvéniles	femelles adultes	mâles adultes	femelles mûres	males mûres
4	19	3	0	4	0
TOTAL =					30
Reste de la pêche					
femelles juvéniles	mâles juvéniles	femelles adultes	mâles adultes	femelles mûres	males mûres
26	39	2	0	0	0
TOTAL =					67
femelles juvéniles	mâles juvéniles	femelles adultes	mâles adultes	femelles mûres	males mûres
30	58	5	0	4	0
TOTAL TOUT =					97
Pêche de la Bassine 11/07 - Durée 1h45 (4 épuisettes)					
femelles juvéniles	mâles juvéniles	femelles adultes	mâles adultes	femelles mûres	males mûres
29	46	0	1	4	0
TOTAL TOUT =					80
Pêche de la Bassine 18/07 - Durée 2h (3 épuisettes)					
femelles juvéniles	mâles juvéniles	femelles adultes	mâles adultes	femelles mûres	males mûres
14	37	0	5	22	0
TOTAL TOUT =					78
Pêche de la Bassine 25/07/2025 - Durée 1h30 (3 épuisettes) = Données suivi biométrique					
femelles juvéniles	mâles juvéniles	femelles adultes	mâles adultes	femelles mûres	mâles mûres
8	3	7	4	5	3
TOTAL =					30
Reste de la pêche					
femelles juvéniles	mâles juvéniles	femelles adultes	mâles adultes	femelles mûres	mâles mûres
5	13	0	4	1	0
TOTAL =					23
femelles juvéniles	mâles juvéniles	femelles adultes	mâles adultes	femelles mûres	mâles mûres
13	16	7	8	6	3
TOTAL TOUT =					53
Pêche de la Bassine 04/07/2025 - Durée 1h30 (3 épuisettes) = Données suivi biométrique					
femelles juvéniles	mâles juvéniles	femelles adultes	mâles adultes	femelles mûres	males mûres
6	13	3	5	1	2
TOTAL =					30
Reste des récoltes de la Bassine 04/07/2025 - Durée 1h30 (3 épuisettes)					
femelles juvéniles	mâles juvéniles	femelles adultes	mâles adultes	femelles mûres	males mûres
25	10	11	5	1	3
TOTAL =					55
femelles juvéniles	mâles juvéniles	femelles adultes	mâles adultes	femelles mûres	males mûres
31	23	14	10	2	5
TOTAL TOUT =					85
Pêche de la Bassine 14/08 - Durée 1h30 (3 épuisettes)					
femelles juvéniles	mâles juvéniles	femelles adultes	males adultes	mâles adultes	femelles mûres
14	13	10	13	6	5
TOTAL TOUT =					61
Pêche de la Bassine 08/08 - Durée 2h (3 épuisettes)					
femelles juvéniles	mâles juvéniles	femelles adultes	males adultes	mâles adultes	femelles mûres
12	9	0	1	5	1
TOTAL TOUT =					28
TOTAL JUIN - AOÛT =					418

Figure 24 : Tableau récapitulatif des pêches menées à la « Bassine »

Source : Berthoud, 2025

PARTIE 5 : Sensibilisation et Valorisation de l'étude

5.1 Sensibiliser aux impacts du crabe bleu sur l'écosystème laguno-marin

5.1.1 Sensibiliser les pêcheurs amateurs

Durant la saison, la garde régionale marine, composée de deux écogardes marins, a participé à la campagne régionale de sensibilisation sur le crabe bleu, coordonnée par le CPIE Iles de Lerins. Cette opération consistait à échanger avec les pêcheurs amateurs autour d'un questionnaire pour recueillir les ressentis et les connaissances de ces acteurs autour de l'espèce. Lorsque les personnes interrogées ne connaissaient pas le crabe bleu, une présentation de l'EEE s'en suivait. Si les interrogés avaient déjà des connaissances il était enrichissant de les recueillir tout en initiant une discussion avec eux pour répondre à leurs questions ou apporter des informations supplémentaires. 38 pêcheurs amateurs ont été sensibilisés lors de cette deuxième année de sensibilisation spécifique. Il a été intéressant de constater que certains pêcheurs amateurs avaient déjà été sensibilisés l'année précédente et avaient intégré l'habitude de pêcher et de consommer le crabe bleu.

5.1.2 Sensibiliser le grand public

La sensibilisation du grand public s'est faite lors d'animations ponctuelles au cours de la saison. Les adultes étaient aussi bien touchés que les enfants, puisque les discours étaient ludiques mais adaptés à la tranche d'âge ciblée lors des événements.

La première sensibilisation a été organisée lors du festival ACTES (Figure 25). Le parc de Camargue tenait un stand d'information sur le milieu marin, et le crabe bleu y avait sa place. De plus, il a été créé une animation courte, pour apprendre, aux enfants en priorité, mais aussi aux parents, des informations globales sur le crabe bleu ainsi que son déplacement au sein des différents milieux aquatiques de la Camargue, et les impacts de ces déplacements invasifs.

Le second événement était l'accompagnement de la sortie embarquée avec le navire les Quatre Maries sur le thème « Biodiversité marine et Pêche » aux Saintes-Maries-de-la-Mer, lors du festival de la Camargue (Figure 26). En effet, durant cette visite le parc est intervenu pour parler de la biodiversité marines et de ses actions en mer. Un point d'informations sur le crabe bleu a été ajouté ainsi qu'un échange avec les passagers pour répondre à leurs questions.

5.2 Valorisation de l'étude menée durant la saison

Les deux Comités de pilotage des sites Natura 2000 « Camargue » et « Rhône aval » ont permis de présenter les résultats de l'étude face aux élus et acteurs du site.

Par ailleurs, un webinaire sera enregistré et diffusé sur la chaîne YouTube du parc pour rendre accessible à toute la connaissance acquise sur le crabe bleu. Une vidéo sera également présentée lors de la quatrième conférence interrégionale sur le crabe bleu américain (*Callinectes sapidus*). Le Parc de Camargue y interviendra également lors d'une

table ronde des gestionnaires. Enfin, le pôle-relais lagunes a prévu, dans sa « lettre des lagunes », un numéro spécial sur le crabe bleu, qui contiendra un témoignage des actions menées au sein du Delta.



Figure 25 : Photographie de l'animation du festival ACTES
Source : Berthoud, 2025



Figure 26 : Photographie de l'intervention durant la sortie découverte du vivant
Source : Berthoud, 2025

Conclusion :

Durant ces six mois, il a été possible de faire une ébauche de propositions d'actions de lutte contre le crabe bleu américain au sein du delta du Rhône. En effet, suite à un suivi biométrique couplé à un suivi larvaire, il a été possible de visualiser en partie, la dispersion de l'espèce au sein du système lagunaire, ainsi que les périodes clés du stade de développement du crabe. En effet, il a été montré que les femelles se trouvaient préférentiellement dans les eaux salées, aux embouchures des bras du Rhône et dans des étangs et lagunes très salés. En revanche, les mâles sont plus observés au niveau des bras du fleuve et d'étangs à la salinité basse. Il y a donc bien corrélation entre la salinité de l'eau et le sexe-ratio de la population observée. De même, une forme de chronologie du développement du crabe bleu a pu être érigée sur l'année 2025, puisqu'avec les données biométriques associées aux retours de pêcheurs, il a été assuré que la période de reproduction estivale a débuté en juillet, avec l'apparition de premières femelles grainées en août, mais qu'il y a eu un écho, semblable en février et avril. Auparavant, cela n'avait jamais été recensé ; les reproductions et pontes se sont observées en deux temps sur une seule année, contre une unique fois pour l'année précédente. Ceci relève l'adaptation du crabe bleu aux températures qui n'ont cessé d'augmenter cette année. Il est possible que l'espèce ne vive plus de période de léthargie totale.

Ensuite, l'analyse des résultats du suivi larvaire étant inachevée à ce stade du stage, les conclusions ne peuvent pas être considérées comme acquises, puisqu'il faut vérifier avec la réplicabilité de l'expérience. Mais pour ce qu'il en est des larves, elles n'ont été récoltées que dans l'herbier de Beauduc au mois de juin. Ce qui concorderait de nouveau avec la ponte d'avril.

Il est tout de même important à noter, que les pêches de suivi biométrique réalisées durant ces trois derniers mois à la « Bassine », ont permis de lutter contre le crabe bleu, en extrayant un maximum d'individus du plan d'eau. En effet, certaines pêches étaient si efficaces, que tous les individus n'ont pas été sélectionnés pour l'échantillonnage. Pour le mois de juin, à la découverte du site, seulement 20 crabes ont été pêchés, et ont servi pour le suivi biométrique. En juillet, en plus des 30 utilisés pour le suivi, 308 individus ont été capturés. En août, 174 crabes (dont 4 femelles grainées) ont été retirés du milieu en plus des 30 mesurés. Un total de 562 crabes bleus a été éliminé en trois mois. Ce chiffre peut paraître peu en comparaison de la ponte d'une unique femelle (2 millions d'œufs) mais si les chiffres s'inversent, et que l'on considère qu'une femelle grainée retirée représente 2 millions d'œufs, le total de crabes retirés revient alors à 8 000 562 crabes bleus. Ce chiffre peut sembler extravagant ou exagéré, mais c'est finalement une réalité de la lutte. Sachant que ce total représente un ensemble de huit pêches de deux heures, à trois opérateurs, la méthode d'extraction de crabe peut paraître efficace. Il serait intéressant de fortifier ces pêches en trouvant une méthode passive de capture, pour attraper plus de crabes en parallèle de cette méthode de pêche active.

Pour ce qui l'en est de la modélisation, l'étude des cartes SHS, mise en comparaison avec les observations réalisées sur le terrain par le biais du suivi biométrique, rend compte de l'impertinence d'utilisation de ce modèle. En effet, sur les cartes créées cette année, de

nombreuses zones ont été décrites comme à risque, alors qu'en réalité, il n'y a pas de crabes dans ces eaux. L'outil paraît inadapté à la situation d'un système lagunaire aussi complexe que celui du delta de Camargue où les gradients de salinité sont forts.

Cette étude au sein du PNRC, qui entraîne de nouveaux questionnements, ne restera pas isolée. Les résultats seront utilisés comme référence de périodes de cycle de développement du crabe bleu pour l'année suivante. De plus, l'élaboration et la mise en place de protocoles de cette année représente une base pour l'année suivante. En effet, les suivis devront être idéalement poursuivis, et si possible sur l'année entière, pour avoir une représentation réelle de la répartition du crabe bleu pour une année donnée. Dans la mesure du possible, il faudrait débloquer des fonds, pour acheter les crabes aux pêcheurs volontaires, et leur en prendre régulièrement, minimum une fois par mois, et sur chaque zone d'étude (dans la mesure de l'accord des pêcheurs). Cette fois-ci, il faut tendre à récolter 30 crabes par station et par mois. Bien sûr, les mois où le crabe n'est pas abondant ou absent, il est important de le noter. Car l'absence de donnée est une donnée à analyser, surtout sur la recherche de présence de l'espèce. Une concertation plus poussée pourra s'envisager au niveau des gestionnaires. Il pourra être demandé à chaque structure, le nombre d'individus repérés, voir pêchés, sur leur site.

De plus, les prochains travaux associés au crabe bleu en Camargue pourraient se concentrer sur l'évaluation d'efficacité des engins de pêche, qui n'a pas été abordée durant ce mémoire. Cette approche pourrait permettre une amélioration des techniques pour les pêcheurs professionnels, mais aussi permettre d'adopter une méthode de pêche plus efficace pour les opérateurs du PNRC. Ce sujet pourrait être soutenu par des aides financières (proposées par la région Sud), qui permettraient la fabrication d'engins de pêche, qui pourraient être prêtés par la suite aux pêcheurs professionnels. Ceci représenterait un échange équivoque. Si cette étude est menée, il faut en parallèle continuer celle débutée cette année, car il est important de connaître les zones les plus intéressantes pour la lutte contre le crabe bleu, pour faire un choix stratégique sur les actions à mener, et surtout les lieux de lutte.

Dans tous les cas, l'étude réalisée durant ces six mois engendre davantage de réflexion sur le crabe bleu.

- Est-il capable de se déplacer d'un milieu aquatique à l'autre (éloigné et séparé par une barrière terrestre) en se déplaçant hors de l'eau ?
- Quelle distance peut-il parcourir hors de l'eau ?
- Quels gradients de salinité peuvent tolérer les mâles ou les femelles ? Combien de temps peuvent-ils vivre dans un milieu aquatique n'étant pas compris dans leur gradient préférentiel ?
- Quel comportement a un juvénile face à un prédateur ? Et quel comportement de prédation peut être retenu du crabe bleu adulte ?
- Comment se fait la recherche de partenaire sexuel ?

Des réponses pourront être apportées par des études scientifiques, ou le PNRC

pourrait récolter des éléments de réponse en mutualisant les observations des acteurs du territoire. Cette problématique reste une problématique collective, qui ne peut se régler en isolant les résultats de ses recherches. Puisque le phénomène de recrutement de larves est lié aux courants marins, et que de nouvelles populations peuvent arriver des côtes espagnoles ou italiennes, la problématique passe à une dimension hors territoire du PNRC. Il est donc primordial de compter sur le réseau de gestionnaires et acteurs du territoire, pour lutter contre le crabe bleu. Maintenant que la phase préalable de reconnaissance de la répartition du crabe bleu au sein du delta de Camargue a été effectuée, la partie lutte active peut être lancée pour les années à venir.

Les acteurs de Camargue sont conscients qu'il est impossible de stopper l'espèce ou d'avoir un impact très fort sur celle-ci. Mais il reste primordial de diminuer la pression de l'espèce sur les pêcheurs, pour éviter un cas de figure similaire à celui de la Corse où la pêche en lagune est arrêtée, ou celle de l'Italie où la disparition des palourdes dans le lac de Po n'a pas pu être évitée. Il n'y a donc aucune prétention de réussir à faire disparaître le crabe bleu en Camargue, mais la lutte contre l'espèce reste primordiale et importante à perpétuer jusqu'à ce que l'écosystème laguno-marin trouve un équilibre dans lequel le crabe bleu y aura une place atténuée et moins lourde de conséquences.

Bibliographie

Amanieu M. et Le Dantec J. (1961). Sur la présence accidentelle de *Callinectes sapidus* M. RATHBUN à l'embouchure de la Gironde , pp339-343.

Basilico L. et Garrido M. (2024). Invasion du crabe bleu en Méditerranée : pour une gestion coordonnée sur le littoral français 3ème conférence interrégionale sur le crabe bleu. Office de l'Environnement de la Corse. 14p.

Bowman H. A. (1971) Annotated Bibliography on the Fishing Industry and Biology of the Blue Crab, *Callinectes sapidus*. NOAA Technical Report NMFS SSRF-640 U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. National Oceanic and Atmospheric Administration. National Marine Fisheries Service.

Chanzy A. et. al. (2017). Les ressources en eau et le changement climatique en Provence Alpes-Côte d'Azur. 44 p.

Chiesa S. et.al. (2025) Impacts of the blue crab invasion on Manila clam aquaculture in Po Delta coastal lagoons (Northern Adriatic Sea, Italy),

Estuarine, Coastal and Shelf Science. Volume 312. Collectivité de Corse (2024). Plan territorial de lutte contre le crabe bleu (*Callinectes sapidus*) en Corse (2024-2027). 65 p.

Conseil de l'Union Européenne (2024) RÈGLEMENT (UE) 2024/257 DU CONSEIL du 10 janvier 2024 établissant, pour 2024, 2025 et 2026, les possibilités de pêche pour certains stocks halieutiques, applicables dans les eaux de l'Union et, pour les navires de pêche de l'Union, dans certaines eaux n'appartenant pas à l'Union, et modifiant le règlement (UE). 2023/194

Daehler C.C. et Carinon D.A. (2001). Hybridization Between Native and Alien plants and its consequences. Biotic Homogenization. pp 81-102.

Doray M. et. al (2025). Rapport du projet FORESEA 2050 : scénarios de contribution des produits de la mer à la sécurité alimentaire française en 2050. Ref. RBE/HALGO/EMH 25-03. Ifremer. Consultable à l'adresse : <https://doi.org/10.13155/105669>

DREAL Occitanie (2025) Présentation et réglementation. Plan d'action régional crabe bleu. Consultable à l'adresse <https://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/presentation-et-reglementation-a25426.html>

Duluc E. (2025). Bilan climatique de mars 2025 : un contraste inhabituel entre une moitié nord ensoleillée et une moitié sud pluvieuse, venteuse et grise. Météo France. Consultable à l'adresse : <https://météofrance.fr/actualite/presse/bilan-climatique-de-mars-2025-un-contraste-inhabituel-entre-une-moitie-nord>

FAO (2020). Guide des bonnes pratiques de pêche des crabes bleus aux nasses polyvalentes.

FAO (2023). Scientific Advisory Committee on Fisheries. Twenty-fourth session. Methodologies for sampling blue crabs. 43p. Forward R et. al.(2003) Effects of chemical

cues on orientation of blue crab, *Callinectes sapidus*, megalopae in flow: implications for location of nursery areas. *Marine Biology*. 142 p.

BIPREB (2022) Les écosystèmes des lagunes côtières. Qu'est-ce qu'une lagune méditerranéenne ? Consultable au lien : <https://etangdeberre.org/comprendre/les-ecosystemes-lagunaires/> (Consulté le 06/08/2025).

Goulletquer P.(2024). Les invasions biologiques marines. Editions Quae. 129 p

Hines Anson H. (2007) Ecology of juvenile and adult Blue Crabs. 90 p.

Hourdez S. (2024) Ce que nous savons de *Callinectes sapidus* dans l'étang de Canet-Saint Nazaire. Présentation de la 3e conférence interrégionale sur le crabe bleu. Office de l'Environnement de la Corse. 21/10/2025

IUCN (2014). 2014 Annual Report of the Species Survival Commission and the Global Species Programme. 212 p.

Labrune C. et.al. (2021) The arrival of the American blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Decapoda: Brachyura: Portunidae), in the Gulf of Lions (Mediterranean Sea). *BioInvasions Records*. Volume 8, Issue 48. pp 76–881.

Lacerda T. J. et.al. (2025) The effect of thermal stress on the X-organ/sinus gland proteome of the estuarine blue crab *Callinectes sapidus* during the intermolt and premolt stages. *Journal of Proteomic*. Volume 313.

Marchessaux G et. al (2024) Salinity tolerance of the invasive blue crab *Callinectes sapidus* : from global to local, a new tool for implementing management strategy. *Science of The Total Environment*, Volume 954.

Millikin M. R. and Williams A. B. (1984) Synopsis of Biological Data on the Blue Crab, *Callinectes sapidus* Rathbun. NOM Technical Report NMFS 1. U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE. National Oceanic and Atmospheric Administration. National Marine Fisheries.

Ministère de la Transition écologique (2017). Espèces exotiques envahissantes – Réglementation européenne. Consultable au lien : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/especes-exotiques-envahissantes#reglementation-europeenne-4> (Consulté le 10 mai 2025).

Noël P. (2017). Le crabe bleu américain *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896). in Muséum national d'Histoire naturelle [Ed.], 11 octobre 2017. Inventaire national du Patrimoine naturel, pp. 1-30.

Petr Pyšek et. al. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*. Volume 95, Issue 6. Cambridge Philosophical society. pp 1511-1534.

Pezy J. et. al. (2019). A Well Established Population of the Atlantic Blue Crab *Callinectes Sapidus* (Rathbun, 1896) in the English Channel ? Laboratoire Morphodynamique Continentale et Côtière.

Pisanu B. et. al. (2020) Proposition d'espèces non-indigènes pour les façades maritimes du territoire métropolitain à soumettre à réglementation. UMS Patrimoine Nature. 18 p.

PNR de la Camargue s.d. Histoire du delta du Rhône. Evolution du paysage en Camargue. Consultable au lien : <https://www.parc-camargue.fr/evolution-du-paysage.htm>. (Consulté le 26/05/2025).

Pôle-relais lagunes méditerranéennes (2011). Le FILMED, un réseau de suivi des milieux lagunaires. Consulté au lien : <https://pole-lagunes.org/en-action/le-filmed-un-reseau-de-suivi-des-milieux-lagunaires/#> (Consulté le 13/05/2025).

Pôle-relais lagunes méditerranéennes (2023). Pôle-relais lagunes méditerranéennes, Stratégie d'action 2023-2030. Consulté au lien : <https://pole-lagunes.org/pole-relais/pole-relais-lagunes-mediterraneennes/> (Consulté le 13/05/2025).

Sanna A. (2013) Modélisation du climat méditerranéen et projections climatiques. Forêt Méditerranéenne. HAL. XXXIV (4) pp.329-334

Sarat E. et al. (2015). Les espèces exotiques envahissantes. Connaissances pratiques et expériences de gestion. Volume 1- Connaissances pratiques. Onema. Collection Comprendre pour agir. 252 p.

Serge D. Muller et al. (2017). Stratégie nationale relative aux espèces exotiques envahissantes. Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, en charge des Relations Internationale sur le Climat, 44 p.

Stuck K. et al. (2009). Morphological Characteristics of Early Life History Stages of the Blue Crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, from the Northern Gulf of Mexico with a Comparison of Studies from the Atlantic Seaboard. Volume 21. pp 37-55.

Sulkin S. et al (1980) "The behavioral basis of larval recruitment in the crab *Callinectes sapidus* Rathbun: a laboratory investigation of ontogenetic changes in geotaxis and barokinesis." The Biological Bulletin 159, no. 2. pp 402-417.

Tagatz M. E. (1968) Biology of the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, in the st. Johns river, Florida. Bureau of commercial fisheries biological laboratory beaufort, N.C. 18516

Thalles Lacerda J. (2025). The effect of thermal stress on the X-organ/sinus gland proteome of the estuarine blue crab *Callinectes sapidus* during the intermolt and premolt stages. Journal of Proteomics, Volume 313. :

Thibault M. s.d. Etangs et marais des salins de Camargue. Pôle relais-lagune ? Consulté au lien <https://pole-lagunes.org/les-lagunes/cartographie-interactive/etangs-et-marais-des-salins-de-camargue/> (Consulté le 26/05/2025).

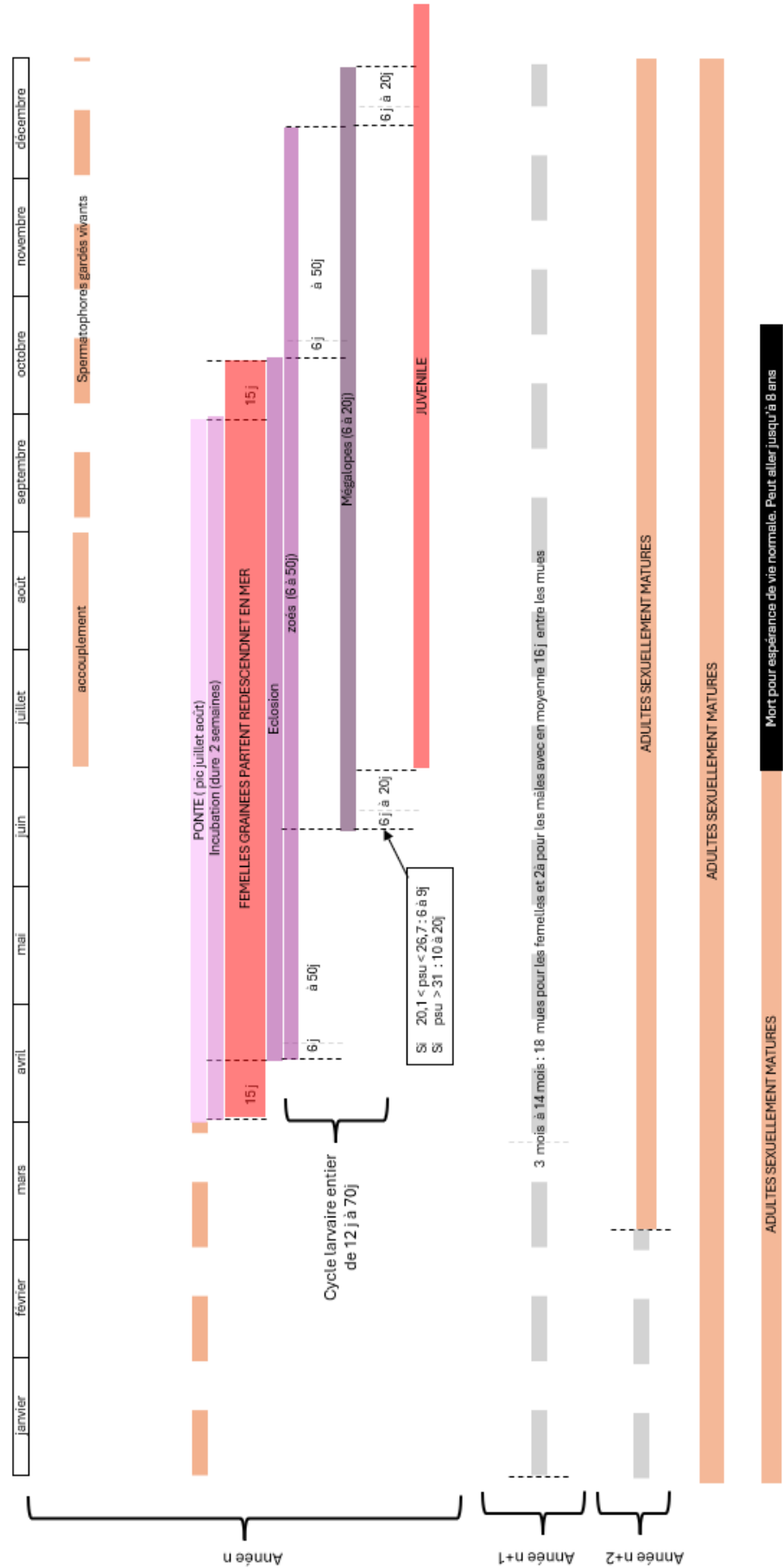
UICN France (2015). Les espèces exotiques envahissantes sur les sites d'entreprises. Livret 1 : Connaissances et recommandations générales, Paris, France, 40 p.

Veyssiere D. et Garrido M. (2022). État des connaissances sur le Crabe bleu, *Callinectes sapidus* (Rathbun, 1896). Focus sur la Méditerranée et la Corse. Rapp. Office de l'Environnement de la Corse, 46p.

Weiss H.M. (2017). Keys to the larvae of commin decapod crusaceans (Lobsters, Crabs and Shrimp) in Long Islanf Sound. Project oceanology. p48

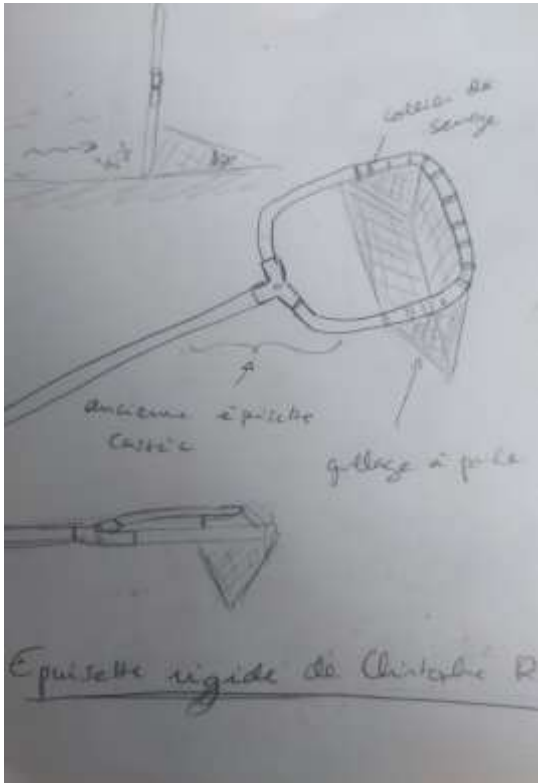
ANNEXES

Annexe 1 : Cycle de développement du crabe bleu
Source : Noël, 2017



Annexe 2 : Photographie et schéma de l'épuisette rigide confectionnée pour la lutte contre le crabe bleu

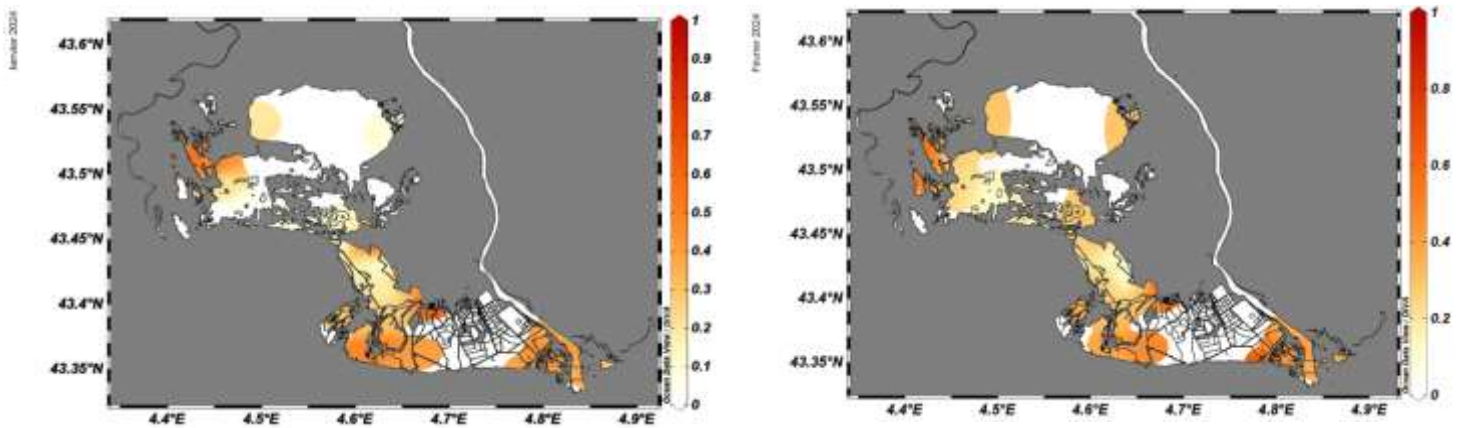
Source : Berthoud, 2025

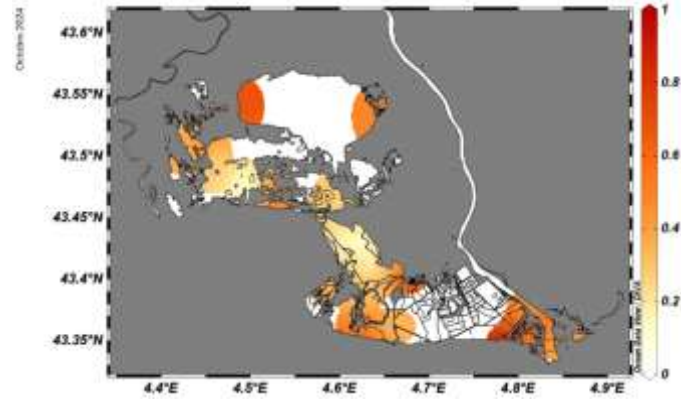
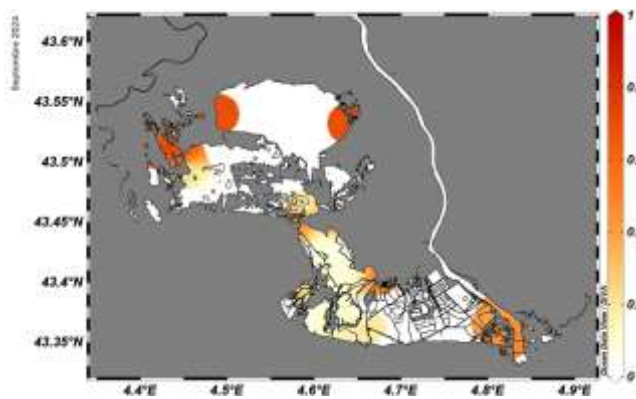
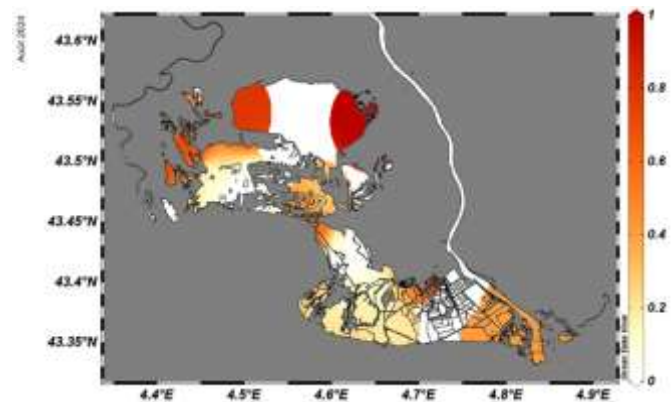
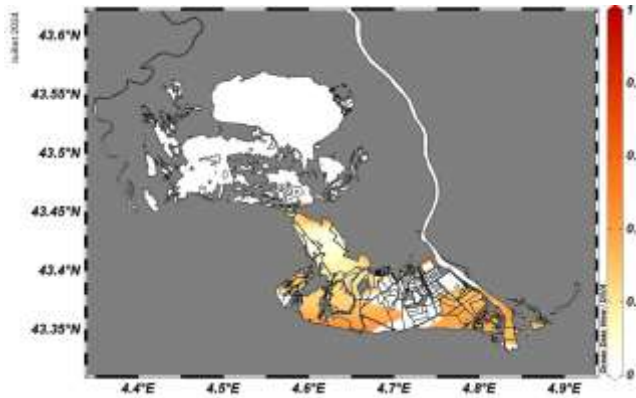
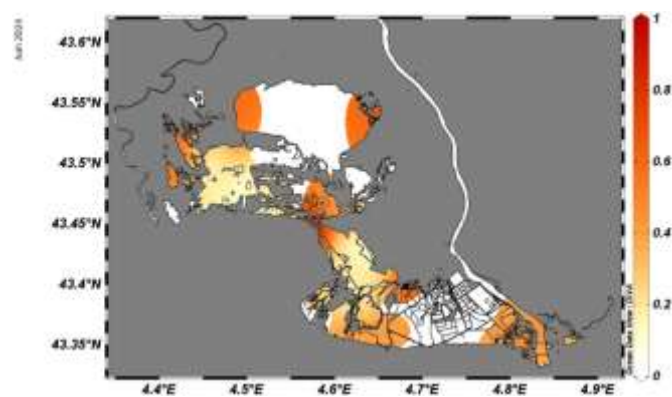
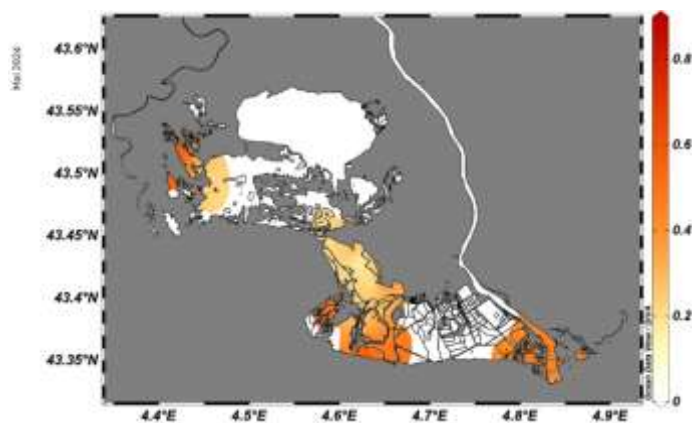
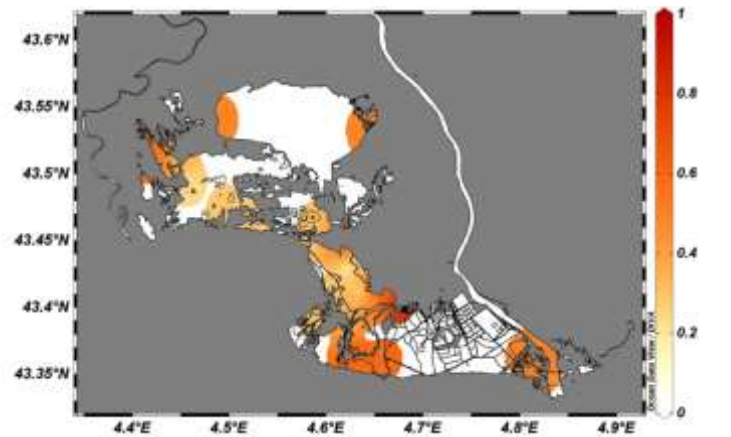
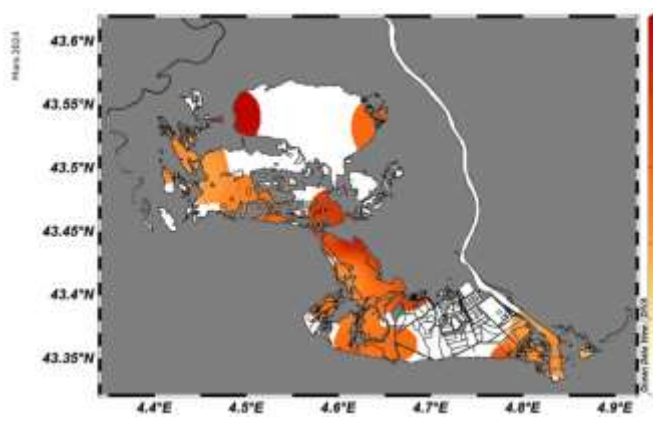


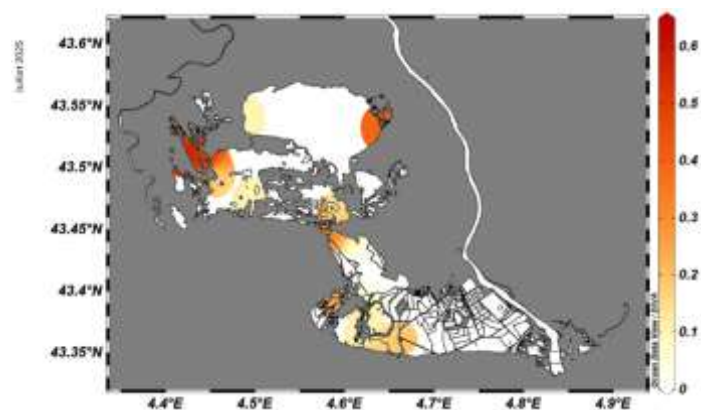
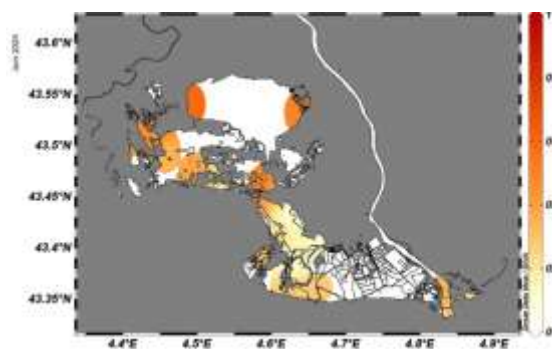
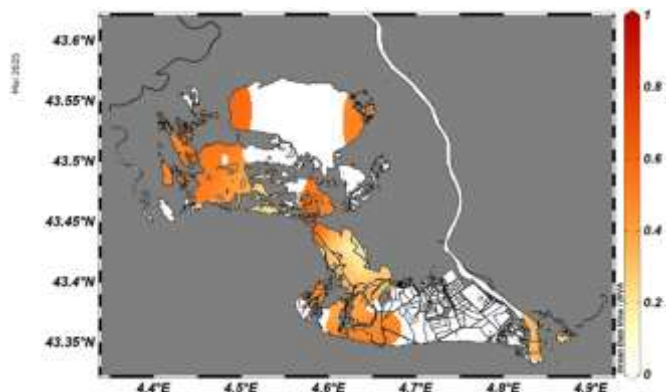
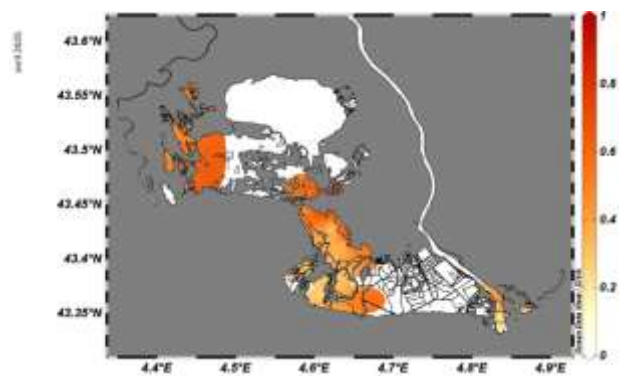
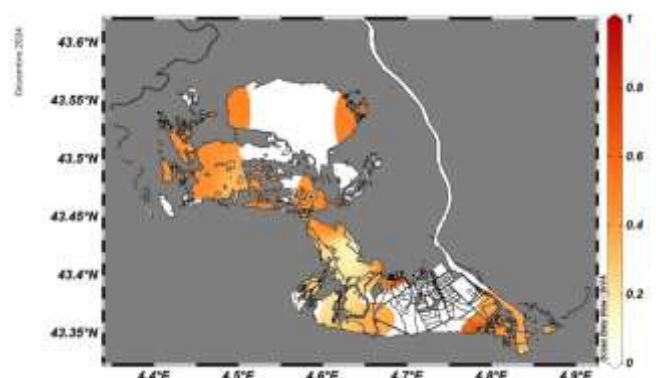
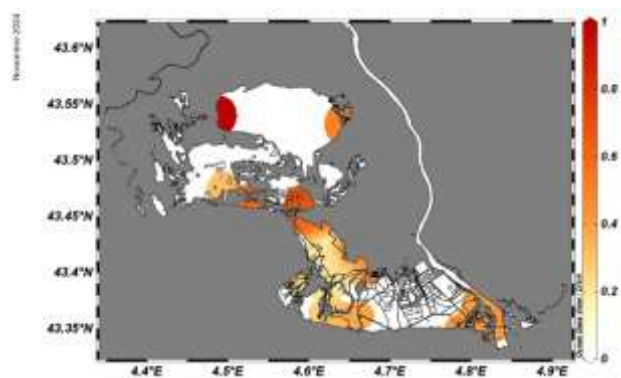
© Berthoud Chloé. 2025.

Annexe 3 : Cartographies SHS du delta de Camargue des mois de 2024 et d'un partie des mois de 2025.

Source : Berthoud 2025







Annexe 4 : Retour de console : résultats du test exact de Fisher des mois de juin, juillet et août

Source : *Berthoud 2025*

- Résultats mois de juin

Fisher's Exact Test for Count Data

```
data:  tab
p-value = 0.05064
alternative hypothesis: two.sided
```

- Résultats mois de juillet

Fisher's Exact Test for Count Data

```
data:  tab
p-value = 4.255e-05
alternative hypothesis: two.sided
```

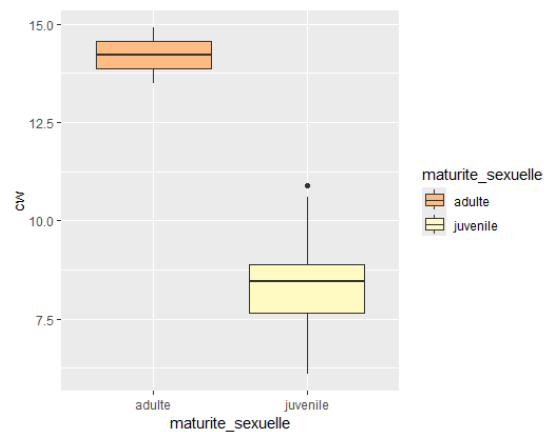
- Résultats mois d'août

Fisher's Exact Test for Count Data

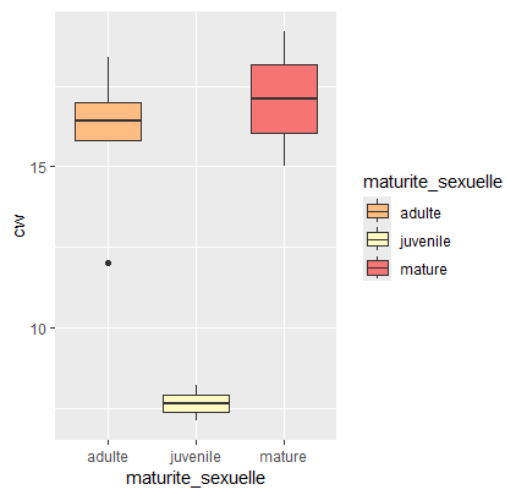
```
data:  tab
p-value = 0.0001984
alternative hypothesis: true odds ratio is not equal to 1
95 percent confidence interval:
 3.284624      Inf
sample estimates:
odds ratio
      Inf
```

Annexe 5 : Résultats statistiques de la largeur de carapace des mois de juin et août
Source : *Berthoud 2025*

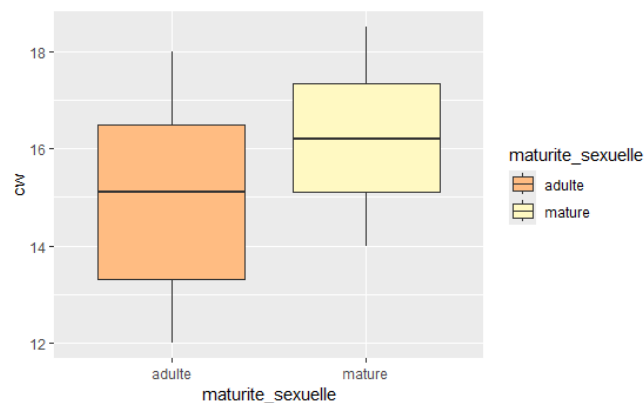
- Box plot des largeurs de carapace (cw) de chaque classe de maturité de la population de crabe bleu de la « Bassine » au mois de juin



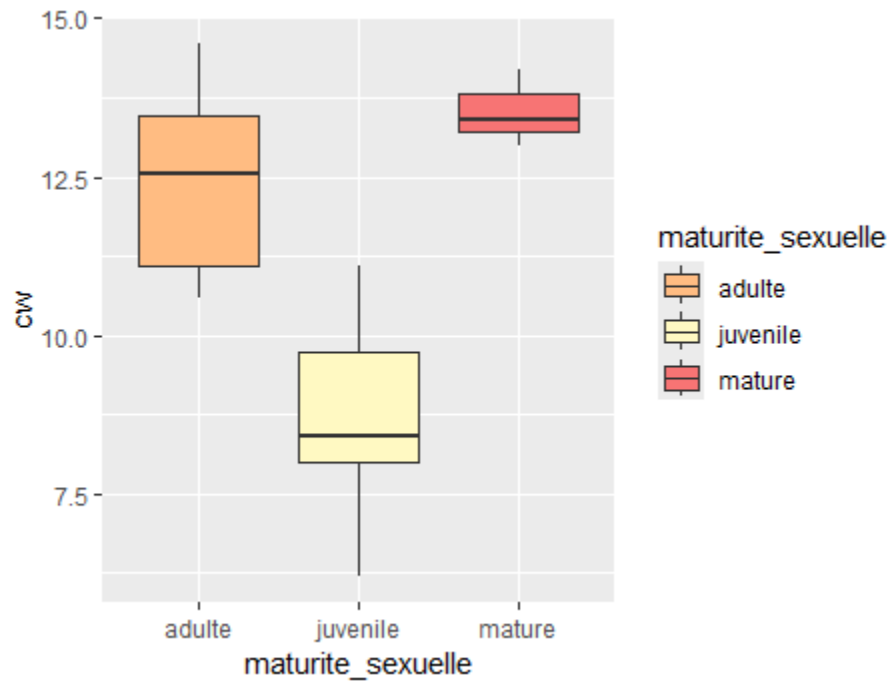
- Box plot des largeurs de carapace (cw) de chaque classe de maturité de la population de crabe bleu du Petit Rhône au mois de juin



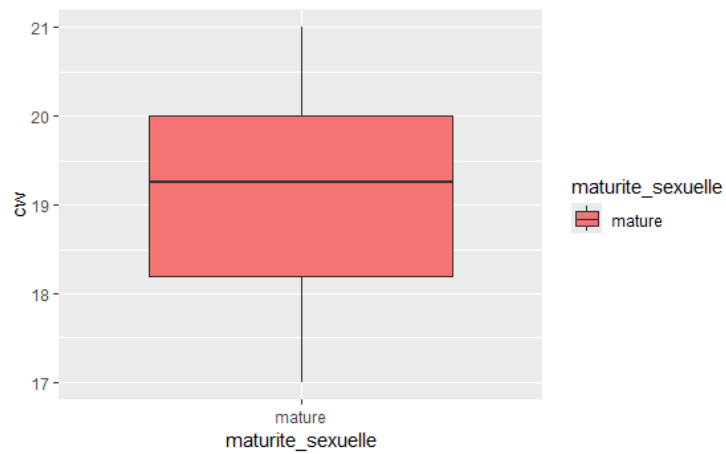
- Box plot des largeurs de carapace (cw) de chaque classe de maturité de la population de crabe bleu de « Beauduc » au mois de juin



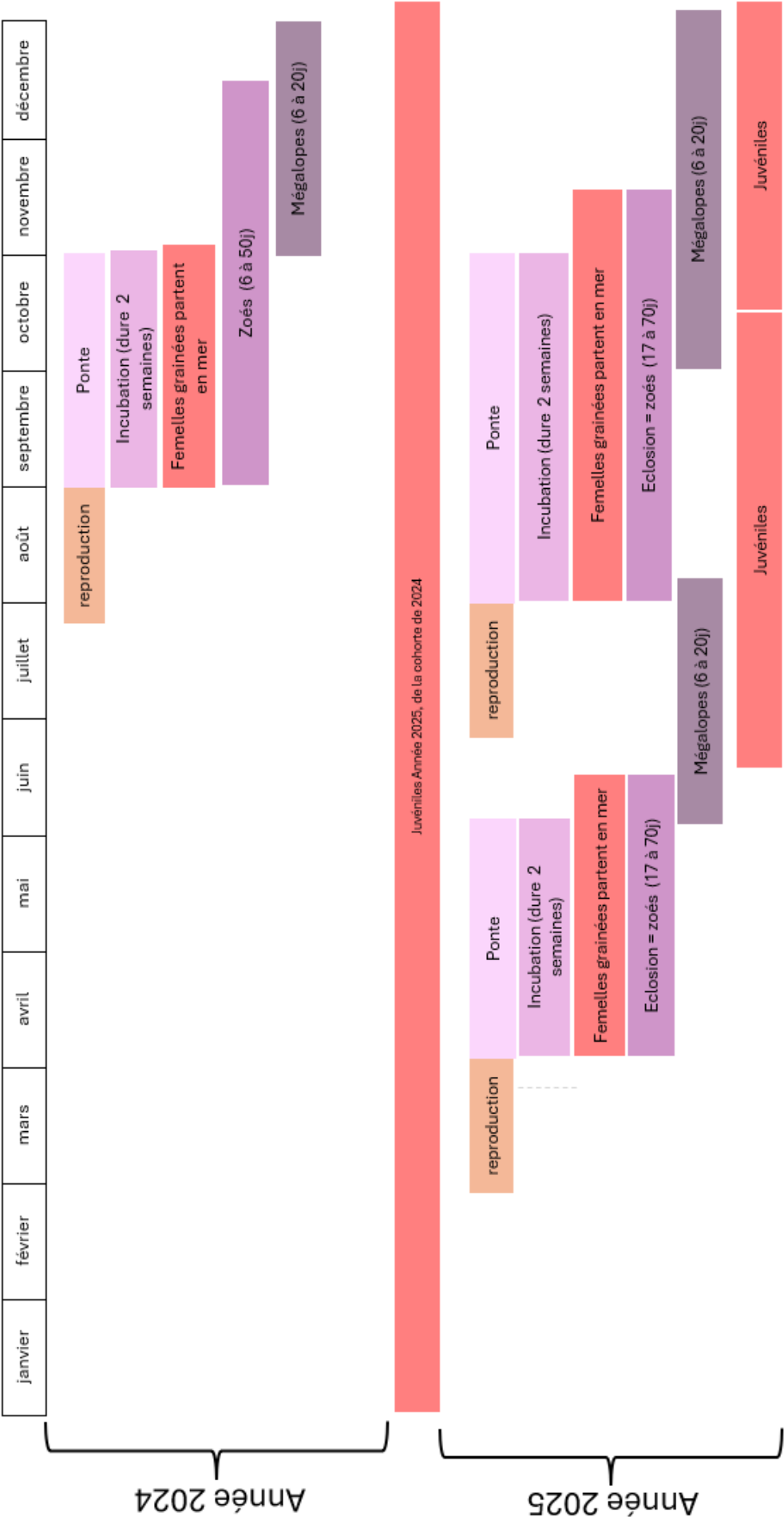
- Box plot des largeurs de carapace (cw) de chaque classe de maturité de la population de crabe bleu de la « Bassine » au mois de août



- Box plot des largeurs de carapace (cw) de chaque classe de maturité de la population de crabe bleu du Palun au mois de août



Annexe 6 : Cycle de développement du crabe bleu en Camargue durant les
*Source : Berthoud 2025*années 2024 et 2025



Annexe 7 : Photos capturant les moments importants du stage

Réunion de technique de concertation avec les gestionnaires du 05/06/2025 :



Capteurs de larves positionné dans l'eau (Beauduc)/



Pêches partenariales :



Chloé Berthoud, Christophe Ruiz, Delphine Marobin Louche



Chloé Berthoud et Lola Rigollet



Pauline Lajarrige



Jenna Da Cunha

Epuisettes de pêche



Etapes de tamisage :



Zooscan :



Guillaume Marchessaux



BERTHOUD Chloé, 2025, *Détermination spatio-temporelle de la répartition de l'espèce exotique envahissante Crabe bleu américain (Callinectes Sapidus) au sein du delta du Rhône*, 30 pages. Mémoire de fin d'études, VetAgro Sup, 2025.

STRUCTURE D'ACCUEIL ET INSTITUTIONS ASSOCIEES:

- ♦ Syndicat mixte de gestion du Parc naturel régional de Camargue (PNRC)

ENCADRANTS :

- ♦ Maître de stage : MAROBIN-LOUCHE Delphine (PNRC)
- ♦ Tuteur pédagogique : MAZAL Lucas

OPTION : Agronomie Environnement Santé et Territoires

RESUMÉ

Sous l'influence du dérèglement climatique, les écosystèmes marins, sensibles aux variations de température, voient leur fonctionnement et structure se modifier. Ainsi, le Crabe bleu (*Callinectes sapidus*, Rathbun, 1896), espèce exotique envahissante provenant des eaux du Golfe du Mexique, dérègle les chaînes trophiques des systèmes marins et lagunaires, de par son arrivée dans le delta du Rhône. Désormais implanté en Camargue, les dégâts se concrétisent par la complication de la pêche professionnelle, qu'elle se pratique en eaux salées et profondes ou eaux saumâtres surfaciques. Face au manque de connaissance lié à cette espèce, le PNR de Camargue instaure un suivi de population, base de la recherche du Crabe bleu au sein des territoires de Camargue. L'objectif de ce suivi est de repérer les zones susceptibles d'abriter l'espèce, à ses différents stades physiologiques et de déterminer la raison de l'attractivité de ces zones. Pour ce faire, plusieurs actions seront menées telles qu'un développement de cartes théoriques de présence, un suivi biométrique des crabes pêchés ainsi qu'un suivi larvaire. Un profil type d'habitat a pu être relevé pour le développement des juvéniles de Crabe bleu. Ces derniers ont été retrouvés dans des zones humides reliées au Petit Rhône, dissimulés dans des herbiers marins ou des fonds vaseux. Une disparité de répartition est flagrante entre les mâles et les femelles, ces derniers ne se rencontrant qu'en période de reproduction. Les femelles sont pêchées en mer et aux embouchures du fleuve tandis que les mâles sont localisés dans les eaux plus douces.

Mots clés : « *Callinectes sapidus* », « espèce exotique envahissante », « cycle biologique », « répartition », « mégaloopes », « salinité », « gestion », « delta de Camargue »



BERTHOUD Chloé, 2025, *Spatio-temporal determination of the distribution of the invasive alien species blue crab (Callinectes Sapidus) within the Rhone Delta*, 30 pages.

Master's thesis, Clermont-Ferrand, 2025

HOST ORGANIZATION AND ASSOCIATED INSTITUTIONS :

- ♦ Syndicat mixte de gestion du Parc naturel régional de Camargue (PNRC)

SUPERVISORS :

- ♦ Internship supervisor : MAROBIN-LOUCHE Delphine (PNRC)
- ♦ Academic tutor: MAZAL Lucas

OPTION : Agriculture Environment Health and Territories

ABSTRACT

Due to climate change, marine ecosystems, sensitive to temperature variations, see their functioning and structure change. For example, the blue crab (*Callinectes sapidus*, Rathbun, 1896), an invasive alien species from the Gulf of Mexico, disrupts the food chains of the marine and lagoon systems, due to its arrival in the Rhône Delta. Now established in the Camargue, the damage is materialized by the complication of professional fishing, whether it is practiced in deep and salt waters or surface brackish waters. Faced with the lack of knowledge related to this species, the PNR of Camargue establishes a population monitoring, that is the basis of the search for blue crab within the territories of Camargue. The objective of this monitoring is to identify the areas likely to be home to the species, at its various physiological stages and to determine the reason for the attractiveness of these areas. To this end, several actions will be carried out, such as the development of theoretical presence maps, biometric monitoring of crabs fished and larval monitoring. A typical habitat profile was identified for the development of juvenile blue crab. The latter were found in wetlands connected to the Petit Rhône, hidden in seagrass beds or muddy bottoms. There is a clear disparity in distribution between males and females, the latter occurring only during the reproductive period. Females are fished at sea and at the mouth of the river while males are located in the softer waters.

Mots clés : « *Callinectes sapidus* » , « alien species » , « biological cycle » , « distribution » , « megalopae » , « salinity » « management » , « delta of Camargue »