

Elaboration d'un protocole expérimental de capture, d'anesthésie et de marquage pour le suivi téléométrique de la Raie Brunette *Raja undulata*



Stage effectué du 5 Mars au 3 Août 2018

Par Kévin Deroyer

Licence professionnelle Métiers de la Protection et de la Gestion de l'Environnement spécialité
Biologie Appliquée aux Ecosystèmes Exploités
Université de Pau et des Pays de l'Adour, Anglet (64)

Sous la direction de Thomas Trancart

Dr., chargé de recherche au sein du Muséum National d'Histoire Naturelle
Centre de Recherche et d'Enseignement sur les Systèmes Côtiers (CRESCO), Dinard (35)

Remerciements

Pour avoir retenu ma candidature pour ce projet et m'avoir accueilli au sein du prestigieux Muséum National d'Histoire Naturelle, m'offrant une superbe première expérience professionnelle dans le monde de la biologie marine, je tiens à remercier Eric Feunteun, directeur du CRESCO, ainsi que Thomas Trancart, chargé de recherche, qui m'a également supervisé et conseillé tout au long de ce stage.

Pour leurs nombreux conseils, je tiens à remercier l'ensemble des membres du pôle Elasmobranches, et plus particulièrement Thomas Barreau et Sébastien Mayot, ingénieurs d'étude au sein du Muséum.

Pour son aide et son implication, je tiens à remercier Christophe Boinet, technicien du CRESCO.

Enfin, pour leur sympathie et leurs coups de main, je tiens à remercier l'ensemble des stagiaires rencontrés au sein du Muséum pendant ce stage.

Table des matières

1. Introduction.....	1
2. Matériel et méthodes.....	6
2.1. Capture	6
2.1.1. Méthode de capture	6
2.1.2. Zones de capture.....	7
2.2. L'anesthésie	8
2.3. Marquage	10
2.3.1. Marquage au <i>Passive Integrated Transponder</i>	10
2.3.2. Marquage acoustique	10
3. Résultats et discussion	14
3.1. Capture	14
3.1.1. Méthode de capture	14
3.1.2. Zones de capture.....	14
3.1.3. Influence des facteurs environnementaux	16
3.2. L'anesthésie	17
3.3. Marquage	19
3.3.1. Marquage au <i>Passive Integrated Transponder</i>	19
3.3.2. Marquage acoustique	19
4. Conclusion	22
Bibliographie	23

Table des illustrations

Figure 1 : Face dorsale.....	1
Figure 2 : Face ventrale	1
Figure 3 : Zoom sur l'avant.....	1
Figure 4 : Capsule de Raie Brunette	2
Figure 5 : Aire de répartition de <i>Raja undulata</i> / Source : Fishbase	2
Figure 6 : Statut international de <i>Raja undulata</i> sur la <i>Redlist</i> de l'UICN	3
Figure 7 : Illustration de la transmission du signal à un hydrophone	4
Figure 8 : Embouchure (Nord) de l'estuaire de la Rance.....	4
Figure 9 : Le Louis Fage	6
Figure 10 : Illustration de la pêche au chalut à perche	6
Figure 11 : Bassin de maintien du CRESCO.....	7
Figure 12 : Raie en phase d'anesthésie	9
Figure 13 : Implantation d'un <i>PIT tag</i>	10
Figure 14 : Emetteur acoustique sur raie brunette.....	11
Figure 15 : Raie équipée d'un émetteur HP16	12
Figure 16 : Marque avec émetteur factice	12
Figure 17 : Marquage avec émetteur LP13	13
Figure 18 : Marquage vu du dessous.....	13
Figure 19 : Analyse cartographique données DCE 2012 - 2014	14
Figure 20 : Analyse cartographique données 2018.....	15
Figure 21 : Analyse cartographiques toutes données confondues	16
Figure 22 : Cartographie de la nature des sédiments	17
Figure 23 : Résultats des essais d'anesthésie	18
Figure 24 : Aile abimée après retrait de la marque.....	19
Figure 25 : Aile marquée présentant des traces de frottements	19
Figure 26 : Traces face ventrale après retrait de la marque	20
Figure 27 : Aile inflammée avec marque Ø 16 mm face ventrale	20
Figure 28 : Marquage Ø 13 mm, traces légères sur le contour	20
Figure 29 : Face ventrale sans blessures apparentes	21

1. Introduction

La Raie Brunette, *Raja undulata* Lacépède 1802, est un élaémobranche rajiforme du genre *raja*. Ses individus mesurent jusqu'à environ 1 mètre de long, avec une longueur maximum observée de 114 centimètres à ce jour (Ellis *et al.*, 2012). Pour assurer leur locomotion, ceux-ci possèdent des nageoires pectorales (formant le « disque » de la raie), des nageoires pelviennes ainsi que des petites nageoires dorsales situées sur la queue (fig. 1). La ventilation de la Raie Brunette s'effectue par la bouche, les naseaux et les fentes branchiales situés en face ventrale (fig. 2) mais également via les spiracles (évents) situés en face dorsale, juste derrière chaque œil, qui sont notamment utiles lorsque la raie reste posée sur les fonds marins (fig. 3).

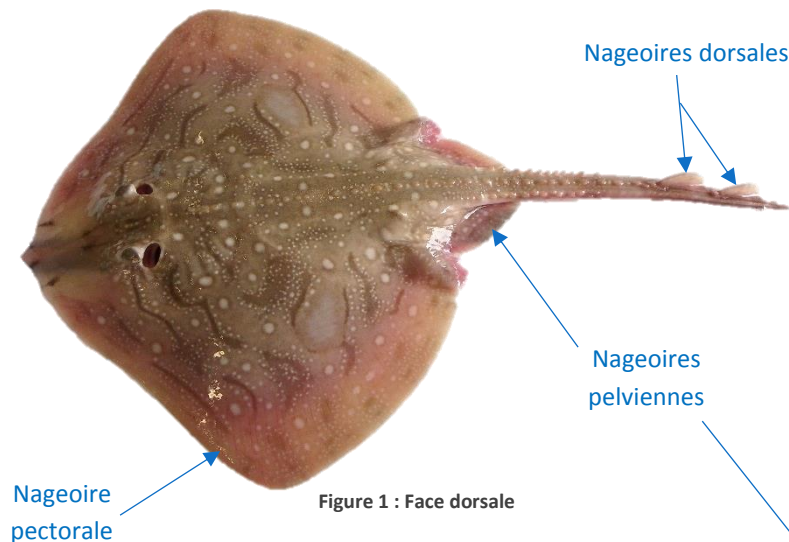


Figure 1 : Face dorsale

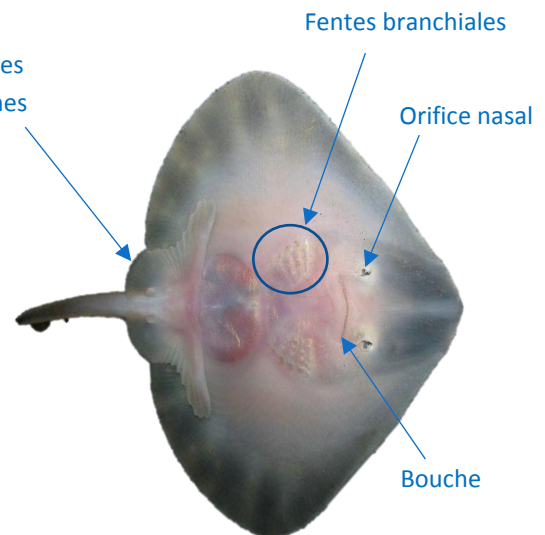


Figure 2 : Face ventrale

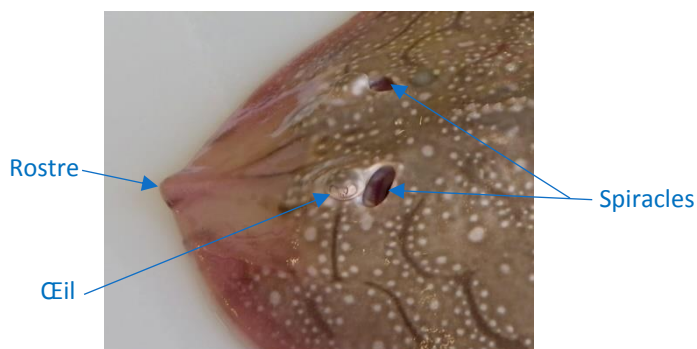


Figure 3 : Zoom sur l'avant

Espèce ovipare, la Raie Brunette produit des œufs dont les capsules cornées mesurent entre 7 et 9 centimètres de long (fig. 4) (Lacourt, 1979).

Ses individus fréquentent généralement les côtes et les estuaires où ils pratiquent un mode de vie démersale, se nourrissant de crustacés et autres organismes de la macrofaune benthique (Bauchot, 1987). Par conséquent on les observe généralement dans des zones dont la profondeur varie de 10 à 50 mètres, bien que certains individus aient déjà été observés à 200 mètres de profondeur (Brito, 1991).

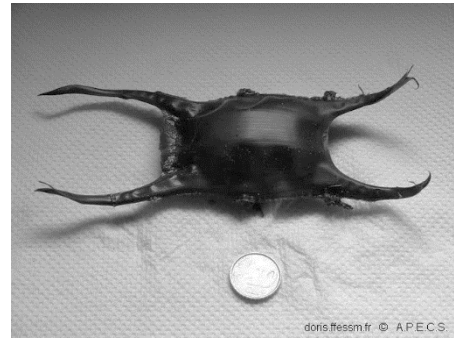


Figure 4 : Capsule de Raie Brunette

La Raie Brunette possède la particularité d'avoir une maturité tardive, apparaissant généralement chez les individus dont la longueur dépasse 80 centimètres (McCully *et al.*, 2012), ainsi qu'un temps de génération relativement élevé, estimé à une quinzaine d'années, ce qui en fait une espèce relativement fragile (Coelho *et al.*, 2002).

Répartie du Sud-Ouest de la mer du Nord aux côtes sénégalaises en passant par le bassin méditerranéen (fig. 5), la population de la Raie Brunette a été estimée à la baisse en 2009 (Coelho *et al.*, 2009). Elle a d'ailleurs été classée espèce en voie d'extinction au niveau international sur la *Redlist* de l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN) la même année (fig. 6).



Figure 5 : Aire de répartition de *Raja undulata* / Source : Fishbase



Figure 6 : Statut international de *Raja undulata* sur la Redlist de l'UICN

En 2015, suite à une nouvelle étude faisant état de la découverte de foyers d'abondance en Europe (Ellis *et al.*, 2015), le statut européen de *Raja undulata* a finalement été ramené au rang d'espèce quasi-menacée. Son débarquement, initialement interdit en 2009, a par conséquent été réautorisé dans la limite de certaines mesures (UICN, 2017 ; JORF N°0034, 2017 ; JORF N°0038, 2018).

A l'heure actuelle différentes problématiques concernent la Raie Brunette :

- La nature d'apparence fragmentée de sa population laisse présager l'existence de foyers de population isolés, fragiles, et rend l'estimation de l'état des stocks de l'espèce difficile (Ellis *et al.*, 2015)
- Elle est également très vulnérable face aux méthodes de pêches démersales (pêche au filet maillant et au chalut de fond notamment) (UICN, 2009)
- Elle est sujette au *Mislabelling*, vendue par exemple sous le nom de Raie Fleurie dans la Manche (la Raie Fleurie étant une autre espèce relativement proche) ou tout simplement sous le qualificatif de Raie, mélangée aux autres espèces communes (ICES, 2007)
- Sa maturité tardive, précédemment énoncée, en fait une espèce d'autant plus fragile (McCully *et al.* 2012)

Partant de ce constat, le ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer a émis en 2017 une convention de recherche à destination du Muséum National d'Histoire Naturelle pour que ce dernier apporte davantage de connaissances sur l'écologie de la Raie Brunette, afin d'améliorer la gestion de sa pêche et de contribuer plus efficacement à la préservation de son espèce.

Afin de répondre à cette requête, les chercheurs du Muséum, et plus principalement de son antenne située au sein du Centre de Recherche et d'Enseignement sur les Systèmes Côtiers (CRESCO), à Dinard (35), ont décidé de réaliser un suivi télémétrique d'une population de raies brunettes. Ce suivi, programmé au printemps 2019 et devant se dérouler sur deux années, consistera à munir une quarantaine d'individus d'émetteurs acoustiques dont les signaux seront réceptionnés par des hydrophones (récepteurs acoustiques, fig. 7), dispatchés de part et d'autre d'une zone fréquentée par la Raie Brunette. Après analyse informatique de ces données, il sera possible de reconstituer les déplacements des individus marqués.

Le site retenu pour réaliser cette étude est l'estuaire de la Rance (fig. 8). Ce fleuve, dont l'estuaire s'étend sur environ vingt-deux kilomètres carrés, prend sa source dans les Côtes d'Armor et vient se jeter dans la mer de la Manche entre les villes de Dinard et de Saint-Malo situées en Ille-et-Vilaine. Il présente la particularité de posséder un barrage hydroélectrique à son embouchure qui régule le balancement des marées à son gré. En outre, la présence de la Raie Brunette a déjà été attestée au sein de cet estuaire, notamment dans le cadre de relevés effectués par le Muséum entre 2012 et 2014 pour la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Ce site est également situé à proximité du CRESCO, ce qui est un avantage non-négligeable pour faciliter les sorties terrain.

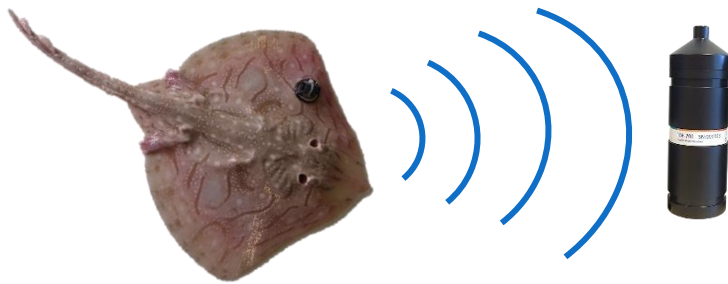


Figure 7 : Illustration de la transmission du signal à un hydrophone

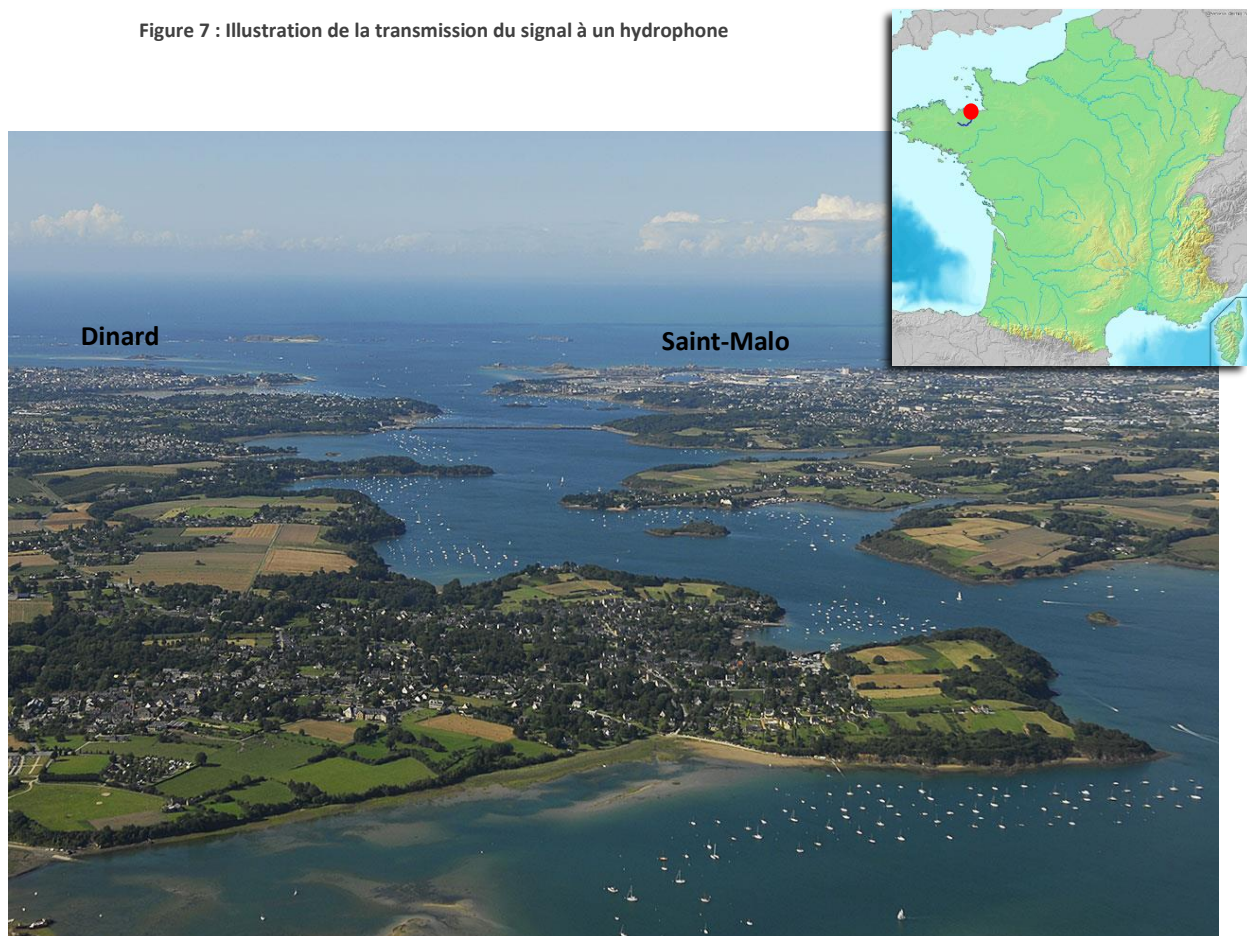


Figure 8 : Embouchure (Nord) de l'estuaire de la Rance

Grâce à ce suivi, l'équipe du Muséum souhaite pouvoir étudier les déplacements des individus au sein de l'estuaire afin d'identifier un éventuel comportement migratoire, de comprendre le rôle de l'estuaire au sein de l'écologie de la Raie Brunette (zone estivale ou annuelle) ou encore d'identifier de potentiels lieux de rassemblement et de reproduction.

Pour mettre en place un tel suivi, il était nécessaire de réaliser une étude préliminaire concernant la capture, l'anesthésie et le marquage des individus, afin de déterminer quelles sont les méthodes les plus efficaces à employer tout en respectant le bien-être animal, en évitant les erreurs ainsi que la perte de temps et d'argent.

C'est dans ce contexte que le Muséum National d'Histoire Naturelle m'a ouvert ses portes et m'a chargé d'élaborer un protocole d'expérimental de capture, d'anesthésie et de marquage pour le suivi télémétrique de la Raie Brunette *Raja undulata* au sein de l'estuaire de la Rance.

2. Matériel et méthodes

Cette partie présente successivement le matériel et les méthodes employés pour étudier les trois grands aspects qui constituent ce projet de stage : La capture, l'anesthésie et le marquage des individus.

2.1. Capture

2.1.1. Méthode de capture

Pour capturer les individus, le Muséum a en sa possession un petit bateau de pêche, appelé Louis Fage (fig. 9), en hommage à un biologiste du XX^e siècle, avec lequel il est possible de pratiquer la pêche au chalut à perche.



Figure 9 : Le Louis Fage

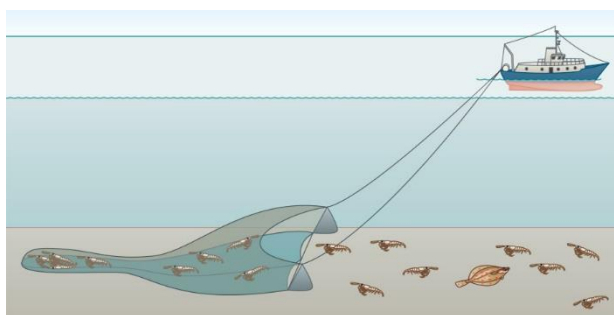


Figure 10 : Illustration de la pêche au chalut à perche

Cette méthode consiste à trainer un filet lesté d'une perche et équipé de patins (le chalut, fig. 10) sur le fond de l'estuaire afin de capturer les espèces qui s'y trouvent. Des « traits de chalut » sont alors réalisés : le chalut est trainé pendant un temps voulu à une certaine vitesse, paramètres qui peuvent varier en fonction des objectifs de pêche et des espèces visées. Il n'est en effet pas exclu que des individus, notamment des raies, peuvent être blessés voir tués si le trait de chalut dure trop longtemps (l'animal est alors tassé au fond du chalut, sujet à des chocs avec les autres prises et à un état de stress intense) ou encore s'il est effectué à trop grande vitesse.

Cette méthode de pêche a néanmoins déjà fait ses preuves au sein du Muséum dans le cadre des relevés pour la Directive Cadre sur l'Eau (2012 - 2014) puisque 36 individus ont été capturés sur ces deux années. Cependant les individus étaient directement relâchés et aucune observation n'a été faite sur les éventuelles conséquences de la pêche au chalut.

L'objectif de cette partie était donc de déterminer si la pêche au chalut à perche est une méthode viable à être utilisée pour le printemps 2019 et le cas échéant avec quels

paramètres. En effet pour que le suivi soit efficient et que le bien-être animal soit respecté, la méthode de pêche ne doit pas infliger de blessures ni provoquer la mortalité des individus.

Pour étudier ce point, plusieurs campagnes de captures ont été programmées entre Mars et Juin 2018, en sessions de trois fois trois jours de pêche. Pour chaque trait de chalut et chaque capture effectuée, les différents paramètres physico-chimiques de l'eau étaient relevés (température, salinité, profondeur) ainsi que les paramètres des traits (vitesse, durée) et enfin les coordonnées géographiques.

Les individus capturés étaient ensuite rapidement ramenés au CRESCO dans des viviers remplis d'eau de la Rance prélevée sur les lieux de la capture puis progressivement acclimatés à un bassin d'eau de mer au laboratoire (fig. 11), bassin de 2000 litres de contenance maintenu à 12°C. Pour alimenter les individus, des crevettes bouquets vivantes étaient également maintenues au sein du bassin.



Figure 11 : Bassin de maintien du CRESCO

L'état de santé des individus (blessures) et leur mortalité éventuelle étaient ensuite observés quotidiennement pendant 1 semaine au sein de l'animalerie du CRESCO afin de déterminer quelles étaient les conséquences de la méthode de pêche employée.

2.1.2. Zones de capture

❖ Analyse cartographique

Afin que les campagnes de capture se déroulent le plus efficacement possible au printemps 2019, une étude cartographique et statistique a été réalisée à partir des données DCE (2012-2014) ainsi que des données obtenues pendant la réalisation de ce projet au printemps 2018. Pour déterminer l'efficacité de la capture dans les différentes zones de l'estuaire prospectées, un calcul d'efficacité a été réalisé au moyen d'un carroyage comprenant des cellules de 500 mètres de côté afin d'obtenir une bonne lisibilité.

Les traits de chalut étudiés ayant tous été effectués à une vitesse de 2.7 nœuds sur une durée de 15 minutes avec le même chalut, l'effort de pêche s'est révélé identique pour tous les traits effectués.

Partant de ce constat, l'unité d'effort de pêche a été assimilée à un trait de chalut, permettant un calcul simplifié du taux de capture par unité d'effort (CPUE) effectué de la manière suivante :

$$\text{CPUE} = \frac{\text{Nombre de raies capturées}}{\text{Nombre de traits effectués}}$$

Trois cartes ont été réalisées sous le logiciel QGIS 2.18.13 en suivant cette méthode : une carte des données DCE (2012 - 2014), une carte des données obtenues au printemps 2018 et enfin une carte compilant l'ensemble de ces données afin de rendre compte de l'ensemble des zones prospectées.

❖ Analyse statistique

Afin d'étudier l'influence de différents facteurs environnementaux sur la présence de la Raie Brunette, un modèle linéaire généralisé (GLM) a été réalisé grâce aux données fournies par le Muséum et l'IFREMER, comprenant notamment les conditions des captures effectuées de 2012 à 2014 ainsi qu'une couche vecteur représentant la nature des sédiments dans l'estuaire de la Rance. Ce modèle a été réalisé sous le logiciel R 3.4.1. et prend en compte la nature des sédiments mais également la profondeur, la température et la salinité de l'eau (PA ~ Prof + Sal + Sed + Temp).

L'objectif de cette analyse était de révéler une éventuelle corrélation entre certains de ces paramètres et la présence de la Raie Brunette afin d'identifier les zones de capture à privilégier dans l'estuaire de la Rance et de pouvoir éventuellement anticiper la présence de l'espèce au sein d'autres estuaires.

2.2. L'anesthésie

Afin d'épargner la douleur éventuelle provoquée par le marquage et de respecter ainsi le bien-être animal, il est nécessaire de prévoir un moyen pour anesthésier les individus. Pour cela, une partie de ce projet a été consacrée à l'étude des effets de la benzocaïne, un anesthésique bien connu, ayant par ailleurs déjà fait ses preuves au sein du Muséum dans le cadre d'expériences sur les anguilles *Anguilla anguilla* (Trancart *et al.*, 2017).

Pour étudier ses effets sur la Raie Brunette, après avoir parcouru la bibliographie concernant l'anesthésie de poissons à l'aide de benzocaïne, plusieurs concentrations comprises entre 25 et 45 mg/L ont été testées sur l'ensemble des individus à disposition.

La benzocaïne, qui se présente sous forme de poudre, a d'abord été diluée dans de l'éthanol (Gilderhus, 1990) puis dans un bac d'eau de mer d'une contenance de 40 Litres (fig. 12). Pour chacune des concentrations testées (25, 30, 35, 40 et 45 mg/L) le temps d'induction, soit le temps nécessaire pour que l'anesthésique fasse effet, ainsi que le temps de récupération étaient mesurés en fonction des critères suivants :

- Perte du sens de l'équilibre
- Perte des fonctions locomotrices
- Rythme respiratoire ralenti

L'objectif, pour rendre les individus insensibles à la douleur, est d'atteindre le stade IV d'anesthésie (Yoshikawa, 1988) qui se caractérise par les symptômes énoncés ci-dessus. Pour observer ces critères chez la raie, qui passe la plupart de son temps immobile au fond de l'eau, rendant l'observation des effets de l'anesthésique difficile, plusieurs manipulations étaient effectuées chaque minute durant les phases d'anesthésie et de récupération.

Dans un premier temps, l'individu était retourné sur sa face dorsale afin d'observer sa réaction (retournement) et de pouvoir apprécier son sens de l'équilibre. Ensuite, l'individu était légèrement tiré vers l'arrière par la base de sa queue pour observer son comportement de fuite et en déduire l'état de ses fonctions locomotrices. Enfin, les fentes branchiales étant difficilement observables (car situées en face ventrale), le rythme de respiration des raies était observé via les spiracles qui sont eux situés en face dorsale.



Figure 12 : Raie en phase d'anesthésie

Avec les données obtenues grâce à ces manipulations, un modèle linéaire a été réalisé sous R afin d'étudier l'influence du poids des individus et de la concentration de Benzocaïne sur le temps d'induction ($\text{Temps} \sim \text{Poids} + \text{Concentration}$).

L'objectif final de cette partie était de déterminer la concentration de Benzocaïne à utiliser pour atteindre le stade IV d'anesthésie (Yoshikawa, 1988) en un temps pratique inférieur à 10 minutes pour que cette manipulation soit réalisable pendant les missions de terrain au printemps 2019 de façon efficace et dans le respect des animaux étudiés.

2.3. Marquage

2.3.1. Marquage au *Passive Integrated Transponder*

Dans un premier temps, par soucis d'identification des individus, un marquage au *Passive Integrated Transponder* (*PIT tag* modèle Biomark HDX12) a été réalisé. Les *PIT tag* sont des puces d'identification de petite taille (12 mm) qui s'implantent juste au-dessous de la peau (fig. 13) et dont le numéro d'identification peut être lu au moyen d'un lecteur.

Ce marquage a permis non seulement d'identifier les individus mais également d'étudier la rétention d'une marque intracorporelle chez la Raie Brunette. Ainsi, après implantation, l'état de la plaie et l'état de santé général des individus ont été observés pendant 1 semaine afin de s'assurer que la marque n'était pas rejetée par le corps et que la cicatrisation était effective.

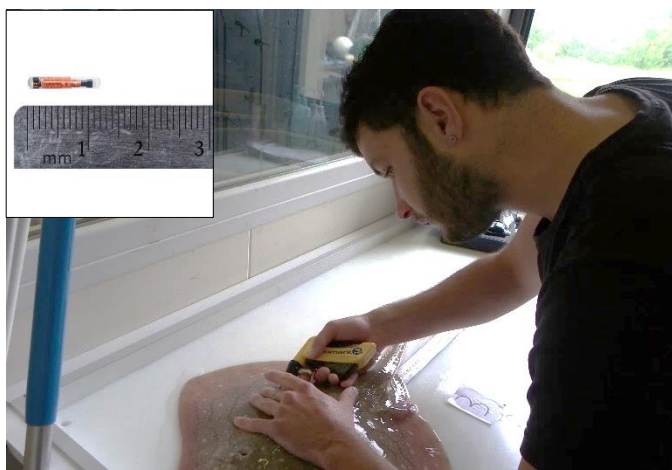


Figure 13 : Implantation d'un *PIT tag*

2.3.2. Marquage acoustique

Le marquage acoustique consiste à équiper les individus d'émetteurs acoustiques dont les signaux sont réceptionnés par des hydrophones (récepteurs implantés de part et d'autre d'un site d'étude). Les émetteurs peuvent être directement implantés dans le corps des individus par chirurgie (marquage intracorporel) ou fixés à l'extérieur par tout autre moyen (extracorporel).

Pour le projet de suivi télémétrique, l'estuaire de la Rance étant un site relativement étendu, les émetteurs doivent posséder une forte puissance d'émission ainsi qu'une autonomie de 2 ans. Par conséquent, leur volume et leur masse, directement proportionnels à ces caractéristiques, doivent être assez conséquents. Par ailleurs, le corps des raies étant relativement plat, cette étude s'est orientée sur une fixation d'émetteur externe qui permet justement d'utiliser des émetteurs plus performants pour les raisons énoncées (fig. 14).



Figure 14 : Emetteur acoustique sur raie brunette

Afin de respecter, ici aussi, le bien-être animal, et après avoir parcouru la bibliographie concernée, les marques acoustiques ont été sélectionnées en suivant la « règle des 2% » (Winter, 1983 ; Jepsen *et al.* 2003). Cette « règle », qui tient plutôt du consensus scientifique, a été énoncée pour la première fois par un biologiste américain, Winter, en 1983. D'après une étude publiée cette année-là, il conclut qu'afin de marquer convenablement un poisson, il convient de lui apposer une marque qui dans l'air ne dépasse pas 2% de la masse totale de l'individu en air ou qui pesée dans l'eau n'excède pas 1.25% de cette même masse. Ceci afin de limiter l'impact du marquage sur le comportement et le bien-être de l'individu. Ce constat est depuis largement accepté au sein de la communauté scientifique bien que parfois débattu (Jepsen *et al.*, 2003).

En suivant ces recommandations, deux modèles d'émetteurs ont été sélectionnés pour réaliser des essais de marquage : les modèles HP16 (Ø16 mm, 70 mm de longueur) et LP13 (Ø13 mm, 31 mm de longueur) de Thelma biotél (Norvège). Sur les 7 individus de l'échantillon, 1 individu n'a pas été marqué, ayant une masse trop faible (62 grammes) pour supporter un émetteur acoustique.

❖ Marquage avec émetteur HP16

Dans un premier temps, les individus ont été marqués à l'aide d'émetteurs HP16, fixés à l'aide de disques de Peterson provenant de Floytag (Etats-Unis) de 33 millimètres de diamètre eux-mêmes fixés sur des disques de néoprène afin d'adoucir le contact avec la peau des individus (fig. 15). Ces disques étaient maintenus par deux clous très fins traversant l'aile de chaque animal et enroulés sur eux-mêmes à leurs extrémités. Pour des raisons matérielles, sur les 6 individus marqués, 4 individus ont été marqués avec des émetteurs factices en laiton conçu pour l'occasion, dont le poids et le volume étaient identiques aux vrais émetteurs (fig. 16).



Figure 15 : Raie équipée d'un émetteur HP16



Figure 16 : Marque avec émetteur factice

La rétention de ces marques a été observée quotidiennement durant 1 semaine (observation du comportement de nage, de l'apparition de blessures éventuelles et de la cicatrisation).

❖ Marquage avec émetteur LP13

Après retrait des marques de diamètre 16 mm, les individus ont été laissés au repos pendant plusieurs jours puis un nouveau marquage a été réalisé sur l'autre aile. Pour ce deuxième marquage, les 6 individus ont été marqués avec des émetteurs LP13, plus compacts que les HP16, mais avec les mêmes disques de support (fig. 17). A noter que le disque de la face ventrale possède des informations destinées aux pêcheurs afin que ceux-ci informent le Muséum en cas de prise accidentelle (fig. 18). La rétention de ces marques a été observée pendant 3 semaines.



Figure 17 : Marquage avec émetteur LP13



Figure 18 : Marquage vu du dessous

L'objectif général de ces essais de marquage était de déterminer une méthode de marquage acoustique viable (respectueuse du bien-être animal) et efficace (puissance de signal, rétention de la marque) pour la mise en place du suivi télémétrique au printemps 2019.

3. Résultats et discussion

3.1. Capture

3.1.1. Méthode de capture

Avec 31 traits effectués entre Mars et Juin 2018, 7 individus ont été capturés au sein de l'estuaire de la Rance. La taille des individus s'étendait de 25 centimètres à 90,5 centimètres et le poids de 62 grammes à 4.6 kilogrammes, ce qui a permis d'étudier les effets de la pêche au chalut sur différentes morphologies. Exceptées quelques légères marques de filet à la remontée des individus sur le bateau, aucune blessure n'a été à déplorer chez l'ensemble des individus. Après une semaine de maintien au sein du bassin du CRESCO, aucune mortalité ni aucun comportement anormal n'ont été observés.

Les traits de chalut, effectués à 2.7 nœuds pendant 15 minutes, n'ont causé aucun dommage aux différents individus. Par conséquent, la méthode de pêche employée semble parfaitement viable pour prélever les individus au printemps 2019.

3.1.2. Zones de capture

L'analyse cartographique des données de la DCE a donné la carte suivante (fig. 19) :

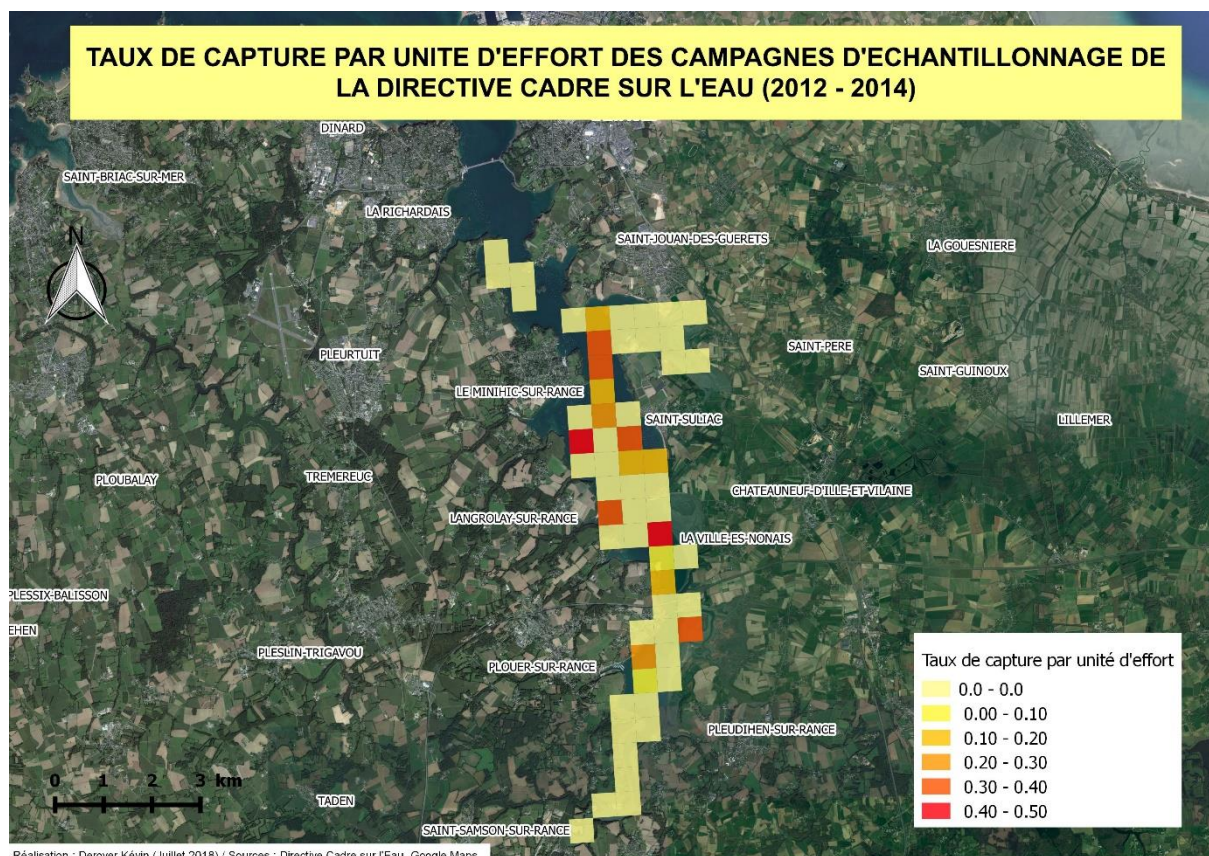


Figure 19 : Analyse cartographique données DCE 2012 - 2014

Le taux de capture par unité d'effort des différentes zones prospectées varie de 0 à 0,5. Aucune capture n'a été réalisée à l'extrême Nord comme à l'extrême Sud de l'estuaire, ce qui laisse présager que la Raie Brunette est peu présente dans ces zones. En revanche les individus semblent en plus grand nombre dans la partie centrale du bassin, avec des taux de capture relativement hauts concentrés auprès du Minihic-Sur-Rance puis répandus de manière éparse jusqu'aux abords de Plouër-Sur-Rance.

Les zones de captures qui se sont révélées les plus efficaces sont les zones centrales où la largeur de l'estuaire est réduite comme entre le Minihic-Sur-Rance et Saint-Suliac ou encore auprès de la Ville-Es-Nonay.

Concernant les données obtenues pendant la réalisation de ce projet au printemps 2018, voici ci-dessous ce que donne l'analyse cartographique du taux de capture (fig. 20) :

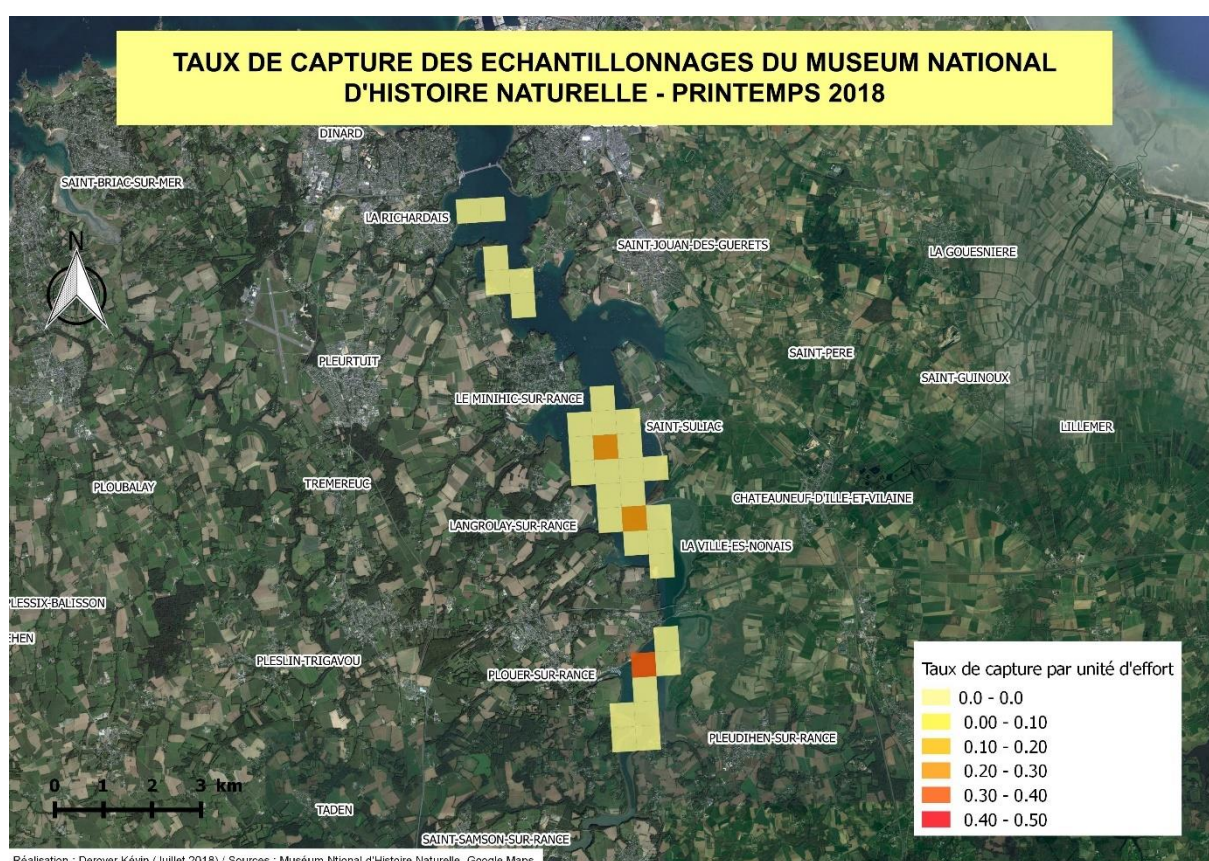


Figure 20 : Analyse cartographique données 2018

Le taux de capture maximum obtenu est moins élevé que pour les relevés DCE (fig. 19), en revanche les zones de capture sont sensiblement les mêmes, avec des zones exclusivement comprises entre Saint-Jouan-Des-Guérets et Plouër-Sur-Rance mais aucune capture avérée plus en amont ou en aval.

L'analyse globale de l'ensemble des données a donné la carte suivante (fig.21) :

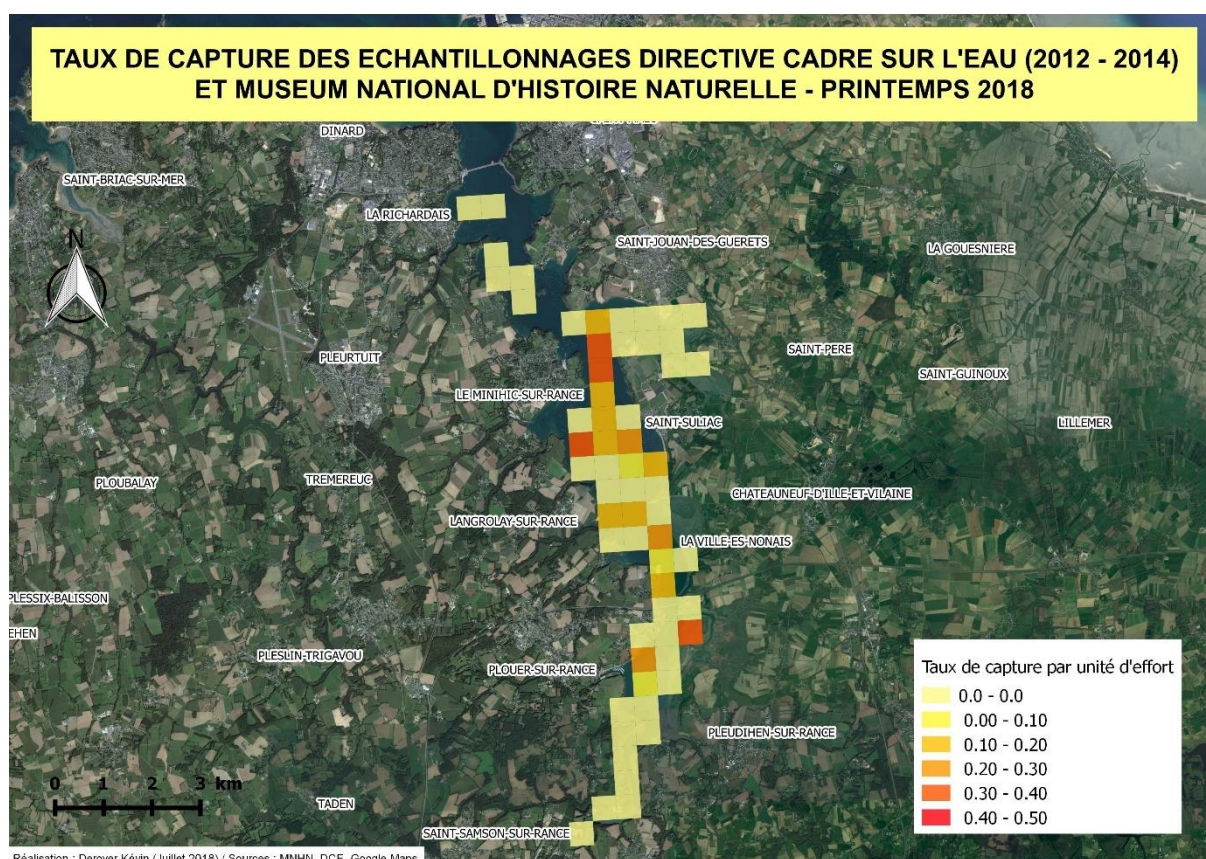


Figure 21 : Analyse cartographique toutes données confondues

Cette carte où figure les taux de capture par unité d'effort pour l'ensemble des données est l'outil destiné aux futurs expérimentateurs en charge de la capture des individus au printemps 2019. Les zones à fort taux de capture y sont clairement identifiées et la compilation de l'ensemble des données permet de réaliser que la quasi-totalité de l'estuaire a été prospectée par le Muséum à ce jour.

3.1.3. Influence des facteurs environnementaux

Le modèle linéaire généralisé réalisé sous R afin d'identifier d'autres zones de présence éventuelle et d'en apprendre davantage sur l'écologie de la Raie Brunette a permis de démontrer une relation significative entre la présence de raies brunettes et les facteurs que sont la profondeur (p -valeur = 0.00124) et la nature sableuse des sédiments (p -valeur = 0.0226).

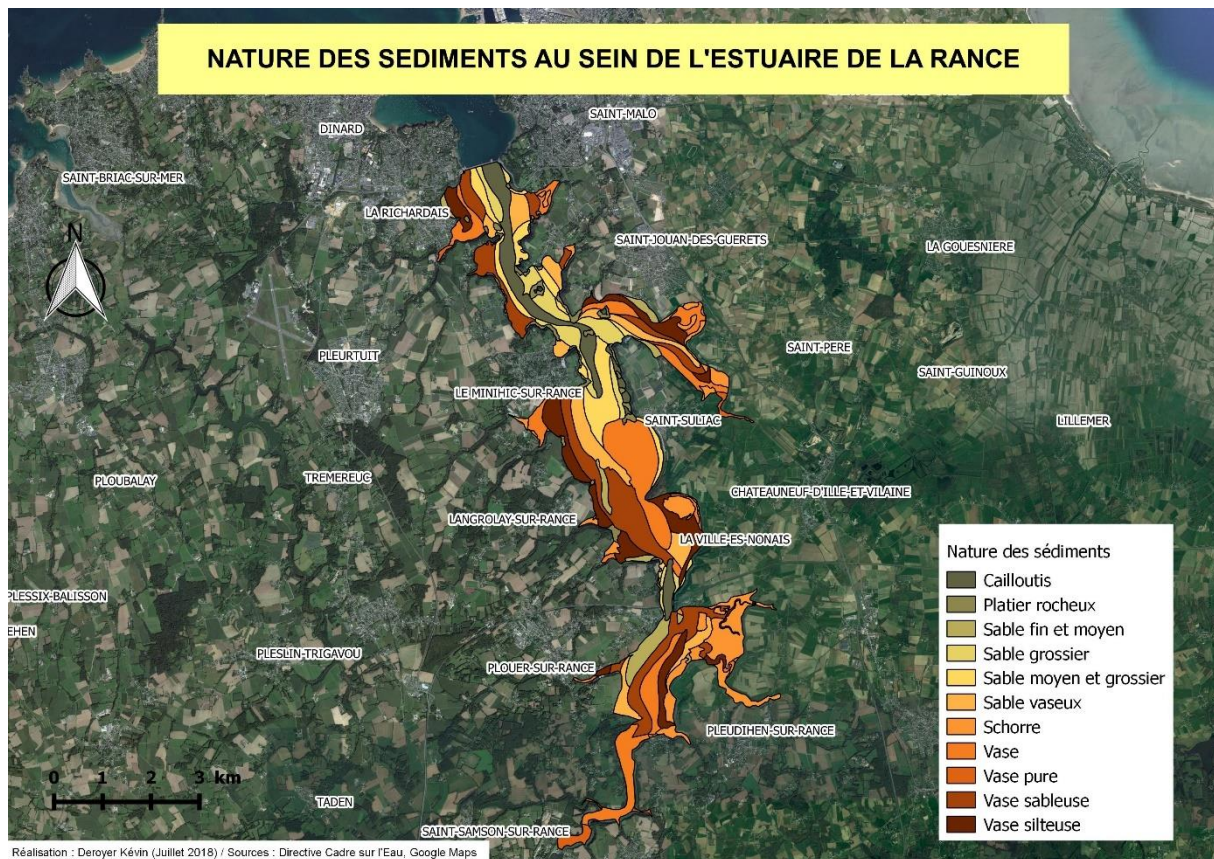


Figure 22 : Cartographie de la nature des sédiments

Les individus semblent davantage fréquenter les zones de l'estuaire dont la profondeur est importante et dont le substrat est de nature sableuse. Ce sont donc des zones de capture à privilégier au sein de la Rance (zones claires, fig. 22) mais également des paramètres à prendre en compte pour augmenter les chances de capture de la Raie Brunette dans le cas où un prélèvement serait souhaité au sein d'un autre estuaire.

3.2. L'anesthésie

Les résultats des différents tests d'anesthésie ont été représentés au sein d'un graphique comprenant le temps d'induction en fonction de la concentration de benzocaïne avec une courbe tracée pour chaque individu (fig. 23).

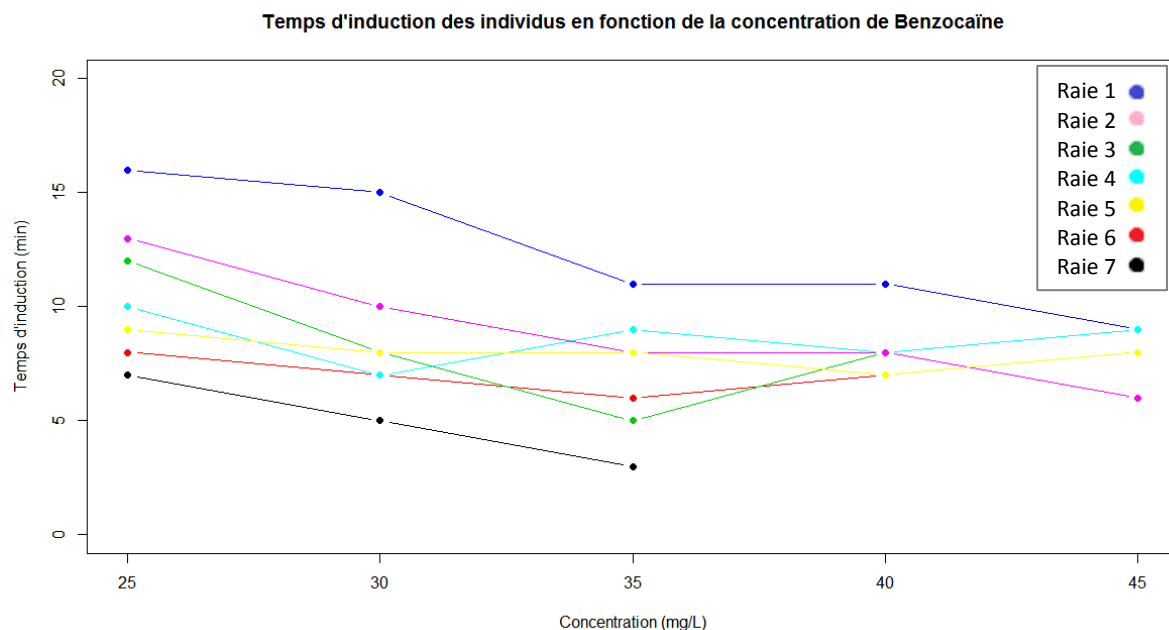


Figure 23 : Résultats des essais d'anesthésie

Cette représentation laisse apparaître un temps d'induction inversement proportionnel à la concentration de benzocaïne. La réalisation du modèle linéaire sous R a permis de confirmer cette hypothèse avec une p-valeur d'environ 0.0001.

Ce modèle a également permis d'établir une relation significative entre le poids des individus et le temps d'induction (p -valeur = $2,94e-7$). Plus la masse d'un individu est importante, plus le temps d'induction de la benzocaïne est long et inversement.

Enfin, ce graphique permet également de montrer qu'à partir de 45 mg/L, il est possible d'atteindre le stade IV d'anesthésie en moins de 10 minutes pour l'ensemble des individus.

A noter que si des concentrations plus élevées pourraient également s'avérer efficaces, elles n'ont pas été expérimentées au cours de ce projet, ceci afin de conserver la marge la plus importante entre la dose utilisée et la dose pouvant s'avérer létale pour les individus, la benzocaïne ayant des effets toxiques (Gilderhus, 1990). A noter également que l'individu n°7 n'a pas pu être anesthésié à 40 et 45 mg/L car celui-ci a disparu après environ 2 mois de captivité. Il semblerait qu'il ait été prédaté par ses congénères, étant d'une taille et d'un poids bien inférieurs au reste des individus.

Compte tenu de ces résultats, la concentration optimale de benzocaïne pour anesthésier des raies brunettes au stade IV en moins de 10 minutes avec la marge la plus confortable possible est de 45 mg/L.

3.3. Marquage

3.3.1. Marquage au *Passive Integrated Transponder*

Après une semaine d'observation, la cicatrisation des plaies s'est avérée effective pour l'ensemble des individus avec rétention de la marque. Par conséquent, aucun rejet ni aucune complication n'ont été à déplorer. Rien à signaler au niveau du comportement général des individus également.

La méthode de marquage au *PIT tag* est viable et efficace pour être utilisée sur la Raie Brunette à des fins d'identification individuelle.

3.3.2. Marquage acoustique

❖ Marquage avec émetteur HP16

Le suivi des raies marquées pendant 7 jours a permis de constater que la marge laissée au niveau du serrage des marques de chaque individu était trop importante (4 - 5 mm), engendrant des frottements et l'apparition de blessures en face dorsale (fig. 24 & 25).



Figure 25 : Aile marquée présentant des traces de frottements

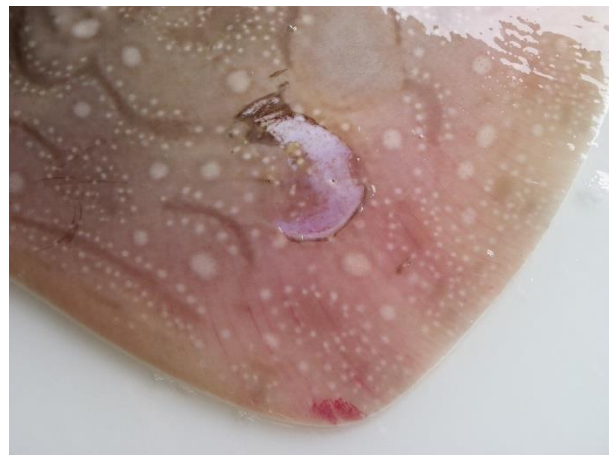


Figure 24 : Aile abîmée après retrait de la marque

Des comportements de gêne (appui sur l'aile et mouvements brusques) indiquaient que les individus étaient manifestement dérangés par la présence des marques de 16 millimètres. Après retrait des marques, la bonne cicatrisation des trous d'aiguilles a pu être constatée malgré les blessures alentours (fig. 26). La totalité des individus présentait également des inflammations au niveau du bord des ailes marquées qui se caractérisaient par des rougeurs (fig. 27).



Figure 27 : Aile inflammée avec marque Ø 16 mm face ventrale



Figure 26 : Traces face ventrale après retrait de la marque

Ce marquage ayant provoqué les difficultés énoncées, il ne semble pas viable pour être utilisé pour le suivi télémétrique.

❖ Marquage avec émetteur LP13

Pour ce second marquage, la marge laissée au niveau du serrage des disques sur l'aile de chaque individu a été revue comme suit : 2 individus avec serrage léger (environ 5 mm de marge), 2 individus avec serrage prononcé (0 mm de marge) et 2 individus avec serrage intermédiaire (1 à 2 mm de marge).

Dans l'ensemble les marques avec émetteurs LP13 offraient un meilleur maintien et des frottements moindres. Les très légères traces observées confirment cette amélioration (fig. 28), avec des marques n'ayant provoqué aucune blessure pour les individus dont le serrage était intermédiaire (fig. 29).



Figure 28 : Marquage Ø 13 mm, traces légères sur le contour

Des inflammations ont nouvellement été constatées au bord des ailes marquées, cependant l'observation sur plus long terme (3 semaines) a permis de constater que ces rougeurs se résorbaient au bout d'une dizaine de jours.

Les individus ont également cessé de manifester leur gêne au bout de deux à trois jours de marquage.



Figure 29 : Face ventrale sans blessures apparentes

L'apparition de blessures permanentes dépendait directement du serrage de la marque :

Serrage prononcé, aucune marge : inflammation autour du disque et escarre.

Serrage faible, marge d'environ 5 mm : blessures dues aux frottements face dorsale.

Avec un serrage ajusté (1-2 mm), le marquage effectué à l'aide des émetteurs LP13 s'est en revanche montré fiable (aucune perte en 3 semaines d'observations) et sans dommages pour les individus. Par conséquent c'est une méthode de marquage qui semble viable pour être utilisée sur le long terme, et qui convient donc pour le suivi télémétrique prévu au printemps 2019.

4. Conclusion

Les différents essais réalisés au cours de ce projet se sont révélés utiles et concluants. Dorénavant, le Muséum dispose de suffisamment d'informations pour lancer efficacement le suivi télémétrique au printemps 2019.

Afin d'exploiter au mieux les moyens mis en place pour ce projet de stage, les 6 individus ayant servi aux essais ont été munis d'émetteurs LP9 (Ø9mm), déjà disponibles au sein du CRESCO, avant d'être relâchés dans l'estuaire de la Rance, à proximité de leur lieu de capture.

Un suivi télémétrique de ces individus, effectué à l'aide d'un récepteur acoustique mobile (Vemco VR100) a débuté au mois de Juillet 2018 en attendant la mise en place d'hydrophones au sein de l'estuaire.

Enfin, voici pour résumer les recommandations qui découlent des résultats obtenus tout au long de ce projet et qui s'adressent directement aux futurs expérimentateurs en charge de la mise en place du suivi télémétrique :

- Pour la capture : les individus pourront être capturés au chalut à perche avec des traits de chalut effectués à 2.7 nœuds pendant une durée de 15 minutes, dans les zones à fort taux de captures répertoriées sur la carte obtenue avec l'ensemble des données (fig. 21).
- Pour l'anesthésie : les individus pourront être anesthésiés à l'aide de benzocaïne préalablement diluée dans de l'éthanol et dosée à 45 mg/L, avec un temps d'exposition compris entre 5 et 10 minutes suivant le poids plus ou moins important de chaque individu.
- Enfin, concernant le marquage acoustique : les individus pourront être marqués à l'aide d'émetteurs acoustiques Thelma biotél LP13 suivant le montage réalisé pour ce projet à l'aide de disques de Peterson et de disques de néoprène.

Ce montage ayant été testé et approuvé pour des individus d'au moins 1.6 kg pour 67 cm, il est à noter que pour des individus de masses et de tailles inférieures, il est actuellement difficile de se prononcer, étant donné que de tels individus n'étaient pas disponibles pour les essais.

Un montage moins conséquent, comprenant des émetteurs de diamètre 9 mm et des disques de Peterson de 25 mm a d'ores et déjà été conçu pendant ce projet pour les individus plus légers. Afin de respecter la règle des 2% et donc le bien-être animal, les individus devront cependant présenter une masse minimale de 160 grammes pour être potentiellement marqués.

Bibliographie

- Bauchot, M.L. 1987. Raies et autres batoidés. In: M. Fisher, M. Schneider and M.-L. Bauchot (eds), Fiches FAO d'identification des Espèces pour les Besoins de la Pêche. Méditerranée et Mer Noire. Zone de Pêche 37. Révision 1. II, pp. 847-885. FAO, Rome.
- Brito, A., 1991. Catalogo de los pesces de las Islas Canarias. Francisco Lemus, la Laguna. 230 p.
- Coelho, R. and Erzini, K. 2002. Age and growth of the undulate ray, *Raja undulata*, in the Algarve (southern Portugal). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 82(6): 987-990.
- Coelho, R., Bertozzi, M., Ungaro, N. & Ellis, J. 2009. *Raja undulata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2009: e.T161425A5420694. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T161425A5420694.en>. Downloaded on 14 July 2018.
- Ellis, J.R., McCully, S.R., and Brown, M.J. 2012. An overview of the biology and status of undulate ray *Raja undulata* in the north-east Atlantic Ocean. *Journal of Fish Biology* 80: 1057-1074.
- Ellis, J.R., McCully, S. & Walls, R.H.L. 2015. *Raja undulata*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T161425A48909382. Downloaded on 14 July 2018.
- Gilderhus, P.A., (1990) Benzocaine as a Fish Anesthetic: Efficacy and Safety for Spawning-Phase Salmon, The Progressive Fish-Culturist, 52:3, 189-191, DOI:10.1577/1548-8640(1990)052<0189:BAAFAE>2.3.CO;2
- ICES. 2007. Report of the Working Group Elasmobranch Fishes (WGEF), 22–28 June 2007. International Council for the Exploration of the Sea, Galway, Ireland.
- IUCN. 2009. IUCN Red List of Threatened Species (ver. 2009.2). Available at: www.iucnredlist.org. (Accessed: 3 November 2009).
- Jepsen, N., Schreck, C., Clements, S., and Thorstad, E. B. (2003) A brief discussion on the 2% tag/bodymass rule of thumb. In Spedicato, M. T., Lembo, G., and Marmulla, G., editors, Aquatic telemetry: advances and applications. Proceedings of the Fifth Conference on Fish Telemetry held in Europe, Ustica, Italy, 9-13 June 2003. FAO/COISPA, Rome, 2005.
- JORF n°0034 du 9 février 2017. *Journal officiel "Lois et Décrets"* ELI : <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/jo/2017/2/9>
- JORF n°0038 du 15 février 2018. *Journal officiel "Lois et Décrets"* ELI : <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/jo/2018/2/15/0038>
- Lacourt, A.W., 1979. Eikapsels van de kraakbeenvissen, roggen, haaien, draakvissen (Chondrichthyes) van Noord-en West Europa. Wetenschap. Meded. (135):1-27 p.
- McCully, S.R., Scott, F. and Ellis, J.R. 2012. Lengths at maturity and conversion factors for skates (Rajidae) around the British Isles, with an analysis of data in the literature. *ICES Journal of Marine Science* 69: 1812-1822.
- Trancart, T., Feunteun, E., Danet, V., Carpentier, A., Mazel, V., Charrier, F., Druet, M., Acou, A. (2017) Migration behaviour and escapement of European silver eels from a large lake and wetland system subject to water level management (Grand-Lieu Lake, France): New insights from regulated acoustic telemetry data. *Ecology of Freshwater Fish*. DOI : 10.1111/eff.12371
- Winter, J.D. 1983. Underwater biotelemetry. In Nielsen, L. A. & Johnsen, J. D. eds., *Fisheries Techniques*. 371-395 pp. Bethesda, Maryland, American Fisheries Society.
- Yoshikawa, H., Ishida, Y., Ueno, S. & Mitsuda, H. (1988a). Changes in depth of anesthesia of the carp anesthetized with a constant level of CO₂. *Nippon Suisan Gakkaishi* 54,457–462.

Annexes

Annexe 1 : Tableau des tâches

Intervenants	Idée originale	Bibliographie	Manipulations	Analyse de données	Rédaction
Principal	TT	KD	KD	KD	KD
Secondaires		TT	TT ; CB ; TR ; HH	TT	

KD : Kévin Deroyer, stagiaire en charge du projet

TT : Thomas Trancart, chargé de recherche, maître de stage

CB : Christophe Boinet, technicien

TR : Thomas Richard, stagiaire M1

HH : Héloïse Hamel, stagiaire L3

Annexe 2 : Calendrier

Semaine	Bibliographie	Manipulations	Analyse de données	Rédaction
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				

Résumé

Classée espèce en voie d'extinction par l'UICN depuis 2009, la Raie Brunette *Raja undulata* est une espèce dont l'écologie et la densité restent cependant mal connues. Dans le but de pallier à ce manque de connaissances, une équipe du Muséum National d'Histoire Naturelle, basée au sein du Centre de Recherche et d'Enseignement sur les Systèmes Côtiers à Dinard a décidé de conduire un suivi télémétrique de l'espèce au sein de l'estuaire de la Rance, en Ile-et-Vilaine (France). Afin que la mise en place de ce suivi se déroule de manière efficace tout en respectant le bien-être animal, des essais préliminaires devaient être réalisés pour développer et définir les méthodes à utiliser pour les différentes phases du projet : la capture, l'anesthésie et le marquage des individus.

Sept individus ont donc été prélevés au sein de l'estuaire de la Rance afin d'observer les effets de la pêche sur leur état de santé, de réaliser des essais d'anesthésie à différentes concentrations de benzocaïne et enfin d'étudier différentes méthodes de marquage.

La méthode de capture utilisée, la pêche au chalut, s'est révélée efficace et sans dommages pour les individus. L'anesthésie à l'aide de benzocaïne à 45 mg/L a permis d'atteindre un état d'anesthésie satisfaisant en moins de 10 minutes pour l'ensemble des individus. Enfin, le marquage effectué à l'aide d'émetteurs acoustiques LP13 Thelmahotel fixés grâce à des disques de Peterson et de disques de néoprène s'est montré viable et respectueux du bien-être animal pour effectuer le suivi télémétrique.

Les individus ont finalement été relâchés dans l'estuaire équipés d'émetteurs acoustiques pour débiter le suivi télémétrique à l'été 2018.

Mots-clés : *raja undulata* télémétrie acoustique rance benzocaïne