

Conception d'un dispositif anti-déprédation du projet PARADEP



Rapport de stage de fin d'étude : par :

Sara BOUTAAM

Projet encadré par :

- MARBEC : Mme Njaratiana RABEARISOA (Sète)
M. Pascal BACH (Seychelles)
- LEME : M. Emmanuel VALOT (Ville d'Avray)
M. Philippe VIDAL (Ville d'Avray)



Remerciement

Mes premiers remerciements vont à l'UMR MARBEC (MARine Biodiversity, Exploitation and Conservation, pour avoir accepté de réaliser mon stage de fin d'étude.

Je remercie également mes maîtres de stage Mme.Njaratiana Rabearisoa et Mr. Pascal Bach pour leur disponibilité à mon égard, et pour leur encadrement tout au long du stage.

Je tiens aussi à remercier mes tuteurs universitaire Mr. Philippe Vidal, enseignant responsable du Master 2 génie industriel: mécanique des structures composite, aéronautique et éco-conception, et Mr. Emmanuel Valot, pour leur judicieux conseils et pour leur encadrement tout au long de mon stage. Ainsi que le reste du corps professoral pour mes deux années de formation au sein de l'université Paris Nanterre.

Table des matières

I.	Chapitre 1 - Contexte et problématique	6
1.	<i>Introduction</i>	6
2	<i>Présentation du laboratoire d'accueil</i>	7
3	<i>Présentation du projet</i>	8
3.1	<i>La pêche à la palangre pélagique</i>	8
3.2	<i>La déprédation</i>	9
3.3	<i>Objectif du stage</i>	9
II.	Chapitre 2 Revue bibliographique : Les solutions existantes anti- déprédation	10
1	<i>Les protections physiques</i>	10
1.1	<i>Les solutions déjà proposées par MARBEC</i>	10
1.2	<i>Les autres protections physiques existantes</i>	12
1.2.1	<i>Cas de la pêche palangrière démersale</i>	12
1.2.2	<i>Cas de la pêcherie palangrière pélagique</i>	13
2	<i>Les dissuasions acoustiques</i>	14
3	<i>Les dissuasions tactiles et olfactives</i>	14
4	<i>Les dissuasions visuelles</i>	15
5	<i>Conclusion</i>	15
III.	Chapitre 3 Les pistes pour la protection physique	16
1	<i>Introduction</i>	16
2	<i>Revue bibliographique : Les techniques de déploiement et les pistes pour la protection physique</i>	16
2.1	<i>Les techniques de déploiement dans le milieu spatial</i>	16
2.2	<i>Les pistes pour la protection physique</i>	20
3	<i>Propositions de modifications sur les systèmes déjà existants</i>	23
3.1	<i>Première réflexion</i>	23
3.1.1	<i>Le dispositif « araignée »</i>	23
3.1.2	<i>Le système « manche »</i>	24
3.1.3	<i>Le système « effaroucheur »</i>	25
3.2	<i>Deuxième réflexion</i>	25
4	<i>Pistes vers d'autres techniques de protection physique</i>	29
5	<i>Pistes pour réaliser un double-déclenchement</i>	32
6	<i>Evaluation des différents systèmes</i>	35

7	<i>Conclusion</i>	36
IV.	Chapitre 4 - Les pistes pour des dissuasions psychologiques	37
1	<i>Introduction</i>	37
2	<i>Revue bibliographique sur les sens des odontocètes</i>	37
3	<i>Contact des delphinariums et des associations</i>	39
4	<i>Conclusion</i>	39
IV.	Chapitre 5 - Les pistes pour des dissuasions électriques	40
1	<i>Introduction</i>	40
2	<i>Electricité en milieu terrestre</i>	40
2.1	<i>Les courants électriques et les animaux</i>	40
2.2	<i>Les courants électriques et l'homme</i>	42
3	<i>Electricité en milieu aquatique</i>	42
4	<i>Les poissons électriques</i>	44
5	<i>La pêche électrique</i>	45
6	<i>Protection par clôtures électriques dans le milieu marin</i>	45
7	<i>Conclusion</i>	48
VI.	Chapitre 6 - Les pistes pour la production électrique	49
1	<i>Introduction</i>	49
2	<i>Le stockage électrique</i>	49
2.1	<i>Les différents types de batteries</i>	49
2.2	<i>Utilisations dans le cadre de notre étude</i>	50
2.3	<i>Synthèse</i>	50
3	<i>Les propositions pour une génération de l'énergie sur place</i>	51
3.1	<i>La conversion électromagnétique</i>	51
3.2	<i>La conversion mécanique</i>	52
3.3	<i>La conversion piézoélectrique</i>	52
4	<i>Conclusion</i>	55
VII.	Chapitre 7 - Conclusion et perspectives	55
1	<i>Conclusion</i>	55
1.1	<i>Les compétences acquises</i>	55
2	<i>Perspectives</i>	56
VIII.	Références	58
IX.	Annexes	63

Liste des figures

Figure 1 : Les composants de la ligne de pêche à la palangre	8
Figure 2:Les espèces cible et la période de pêche de chaque espèce	9
Figure 3: Les espèces déprédatrices (palangre pélagique)	9
Figure 4: un thon capturé et protégé par le système araignée, (a) système plié, (b) système déployé (Rabearisoa, et al., 2012)	11
Figure 5 : Un thon capturé et protégé par le système manche (Rabearisoa, et al., 2012).....	11
Figure 6 : Le système DEPREL (déprédation) (Rabearisoa, et al., 2015)	12
Figure 7: Le système banderole (Molegnana, 2016)	12
Figure 8 : (a), FASTmast plié, (b) FASTmast déployé (St-Onge, 2016).....	17
Figure 9 : Système de déploiement d'antenne en tournesol (a) déployé, (b) plié (St-Onge, 2016).....	17
Figure 10 : Le triangle déployable (St-Onge, 2016)	17
Figure 11 : Représentation schématique d'un triangle déployé (St-Onge, 2016).....	18
Figure 12 : les différentes étapes de déploiement du Hoop/ column Antenna (Gunnar, 2002).....	18
Figure 13 : les différentes étapes de déploiement de la plate-forme de Gough-Stewart (Laurent Blanchard, 2005).....	19
Figure 14 : Mât déployable réalisé avec des rubans mètre (Laurent Blanchard, 2005).....	19
Figure 15 : configuration pliée et scénario de déploiement (MARONE-HITZ, 2014).....	20
Figure 16 : Le bracelet slap,(a) bracelet déployé, (b) bracelet plié	20
Figure 17 : tente de Quechua	21
Figure 18 : fil de plomb	21
Figure 19 : Ruban de plomb	21
Figure 20 : chaînette bille en acier inoxydable	22
Figure 21 : Moustiquaire en acier inoxydable	22
Figure 22 : grille souple en mailles hexagonales	22
Figure 23 :Première proposition pour l'amélioration du système «araignée » par des branches en lames en acier ressort	26
Figure 24 : <i>Augmentation de la couverture en ajoutant de petites tiges</i>	27
Figure 25: Première proposition d'amélioration du système effaroucheur	27
Figure 26 : Deuxième proposition d'amélioration du système effaroucheur	28
Figure 27 : Troisième proposition d'amélioration du système effaroucheur	28
Figure 28: Autres pistes de protection physique « tiges + filet », proposition 1	29
Figure 29 : Autres pistes de protection physique « tiges + filet », proposition 2	30
Figure 30 : Autres pistes de protection physique « tiges + filet » proposition 3, (a) configuration pliée, (b) configuration dépliée	30
Figure 31: Autres pistes de protection physique, proposition 4	31
Figure 32 : Autres pistes de protection physique, proposition 5	31
Figure 33 : Autres pistes de protection physique, proposition 6	32
Figure 34 : Pilotage par un système a double déclenchement, proposition 1	33
Figure 35 : Pilotage par un système a double déclenchement, coincement conique	33
Figure 36 : Système a double déclenchement, Araignée à pattes relevées, (a) configuration pliée, (b) configuration dépliée	34

Figure 37 : Système à double déclenchement « parapluie »	35
Figure 38 : Les types de protection envisagées pour la suite du projet	37
Figure 39 : Résistances corporelles (en kΩ) des espèces animales de rente mesurées entre le mufle ou le bec et les membres au moyen d'électrodes (bovins) ou en conditions d'élevage (porcins, ovins, poules et dindes) (1 kΩ = 1000 Ω) (Rigalma, et al., 2009)	41
Figure 40 : Les seuils de réponses aux courants électriques traversant les animaux	41
Figure 41 : Les seuils de réponse au courant électrique chez l'homme	42
Figure 42 : Les organes électriques d'une raie torpille	44
Figure 43 : la relation entre l'intensité du choc électrique, la magnitude de la puissance électrique, la conductivité de l'eau et la densité de puissance électrique (Kolz, et al., 1995)	46
Figure 44 : Matériels de dissuasion électrique pour les otaries	48
Figure 45 : Batterie Greenworks 60 volts de type G60B4 4.0 Ah (FIXAMI.FR)	51
Figure 46 : Effet piézoélectrique inverse	52
Figure 47 : Effet piézoélectrique direct	52
Figure 46:Manche en filets (Moreno, et al., 2008)	63
Figure 47 : Umbrella-and-stones non déployé à gauche, déployé à droite (Sabine Goetz, 2010)	63
Figure 48 : (a), le système chaîne au repos, (b), système déployé (Hamer, et al., 2015)	63
Figure 49 : (a), le schéma du dispositif cage en position de repos, (b), le schéma du dispositif déployé autour du poisson	64
Figure 50 : le dispositif « The octopus » non déployé (Hamer, 2010).....	64
Figure 51 : (a), dispositif ruban de clôture électrique en position de repos, (b) dispositif déployé (McPherson, et al., 2010)	64

I. Chapitre 1 - Contexte et problématique

1. Introduction

La pêche est une activité qui conduit à des interactions directes et indirectes entre les grands prédateurs marins et les engins de pêche. A travers ces interactions l'homme modifie l'écosystème qu'il exploite, et cette modification peut avoir des conséquences négatives importantes s'elle n'est pas bien contrôlée. L'introduction active de l'homme dans cet environnement marin a impacté négativement certains groupes d'espèces, comme c'est le cas lors des interactions entre les pêcheries, aussi bien hauturières que côtières, et les mammifères marins. Parmi les interactions directes qui peuvent constituer une menace pour les populations des mammifères marins on trouve : les captures accidentelles (qui peuvent occasionner des blessures, voire la mort des animaux impliqués) et la déprédation, qu'on définira plus loin dans le rapport.

Le travail présenté dans ce rapport entre dans le cadre de mon stage de fin d'études qui est inclus dans les modules de ma formation en master 2 génie industriel mécanique des structures composites : Aéronautique et éco conception à l'université Paris Nanterre. Mon stage était piloté par l'UMR MARBEC (MARine Biodiversity, Exploitation and Conservation). Cependant, pour des raisons de facilités de logistique, je l'ai effectué sur le site de l'université Paris Nanterre, au sein du LEME (Laboratoire Énergétique Mécanique Électromagnétisme).

Mon sujet de stage entre dans le cadre du projet PARADEP (<https://paradep.com>), qui vise à lutter contre les problèmes de déprédation impactant les palangres pélagiques qui ciblent les thons tropicaux et les espadons. Mon stage porte plus spécifiquement sur les problèmes de déprédation par les mammifères marins à dents, ou odontocètes (en particulier les pseudorques et les globicéphales tropicaux), et sur le développement d'un dispositif de protection physique des captures vis-à-vis de ces mammifères marins.

Fishing is an activity that leads to direct and indirect interactions between large marine predators and fishing gear. Through these interactions fishermen modify the ecosystem that they exploit, and this modification can have important negative consequences if it is not well controlled. The active introduction of humans into this marine environment has had a negative impact on certain species groups, as is the case of interactions between fisheries, both offshore and coastal, and marine mammals. Direct interactions that may threaten marine mammal populations include: bycatch (which may result in injury or death of the animals involved) and depredation, which will be described later in the report.

The work presented in this report is part of my internship which is included in the modules of my training in the second year of master mechanical engineering of composite structures: Aeronautics and eco design at the University Paris Nanterre. My internship was led by UMR MARBEC (Marine Biodiversity, Exploitation and Conservation). However, due to logistic reasons, the internship was

undertaken on the site of the University Paris Nanterre, within the LEME (Laboratory Energy Mechanical Electromagnetism).

My internship topic is part of the PARADEP project (<https://paradep.com>), which aims to reduce depredation issues impacting pelagic longlines that target tropical tunas and swordfish. My internship focuses more specifically on the problems of depredation by toothed whales, or odontocetes (especially false killer whales and short finned pilot whales), and on the development of a physical depredation mitigation device.

2 Présentation du laboratoire d'accueil

L'Unité Mixte de Recherche (UMR) MARBEC, MARine Biodiversity, Exploitation and Conservation, a été créée le 1er janvier 2015. Ses autorités de tutelle sont l'IRD, l'Ifremer, l'Université de Montpellier et le CNRS. MARBEC est l'un des plus importants laboratoires travaillant sur la biodiversité marine et ses usages en France avec environ 230 agents, dont 80 chercheurs et enseignants-chercheurs. L'unité est implantée à Sète, Montpellier et Palavas-les-flots, ainsi que dans l'océan Indien, en Asie, en Afrique et en Amérique du Sud. Elle étudie la biodiversité marine des écosystèmes lagunaires, côtiers et hauturiers, principalement méditerranéens et tropicaux. Ses recherches portent sur différents niveaux d'intégration, des aspects moléculaires, individuels, populationnels et communautaires, aux usages de cette biodiversité par l'Homme.

Elle concentre ses efforts sur 3 objectifs principaux :

- Décrire la biodiversité marine, comprendre sa dynamique et le fonctionnement des écosystèmes marins.
- Analyser l'impact des pressions anthropiques sur ces écosystèmes et développer des scénarii de réponses au changement global.
- Concilier exploitation (en particulier pêche et aquaculture) et conservation, et répondre aux attentes sociétales (expertise, innovation, remédiation).

Ses activités de recherche sont structurées en 8 thèmes scientifiques :

- Ecologie évolutive et adaptation
- Individus, populations et habitats
- Dynamique et fonctionnement des communautés
- Micro-organismes et interactions avec les macro-organismes
- Contaminants : devenir et réponses
- Aquacultures durables
- Systèmes littoraux d'usages multiples
- Approche écosystémique des pêches

3 Présentation du projet

Le projet PARADEP, financé par le Fonds Européen pour les Affaires Maritimes et la Pêche (FEAMP Mesure 39, Innovation liée à la conservation des ressources biologiques de la mer), est piloté par l'UMR MARBEC. Ce projet de 30 mois a démarré en juillet 2018 et ambitionne de développer un dispositif de lutte contre la déprédation (une interaction négative impliquant les prédateurs marins et les pêcheries). En particulier, nous nous intéressons à la déprédation des palangriers pélagiques ciblant le thon et l'espadon par les mammifères marins.

3.1 La pêche à la palangre pélagique

Les palangres sont des lignes de pêche dormantes, à hameçons uniques ou multiples, montés en dérivation sur une ligne mère (ligne principale). Suivant les espèces recherchées, la palangre peut être calée à différentes profondeurs : palangre de fond ou à proximité du fond (démersale), en pleine eau (pélagique) ou mixte.

La pêche à la palangre pélagique consiste à mettre à l'eau une ligne de pêche équipée d'une guirlande d'hameçons (Figure 1). Cette ligne peut mesurer entre 10 et 150 km de long, et porter entre 100 et 3500 hameçons. Chaque hameçon est fixé à l'extrémité d'un avançon, lui-même fixé à la ligne-mère par une agrafe. La palangre est mise à l'eau une fois par jour (c'est l'opération de filage). Le filage de jour est pratiqué pour cibler thons et requins entre la surface et 400 à 500 mètres de profondeur et le filage de nuit est pratiqué pour cibler l'espadon entre la surface et 100 mètres de profondeur (Figure 2). La palangre pêche en dérivant librement pendant 8 à 10 heures puis est remontée à bord (c'est l'opération de virage).

Cette pêche se pratique dans les eaux tropicales et cible des poissons de surface qui évoluent entre 50 et 500 m de profondeur. En particulier, dans le sud-ouest de l'Océan Indien, elle cible les thons et l'espadon, mais les requins, les daurades et les marlins constituent aussi des prises accessoires importantes.

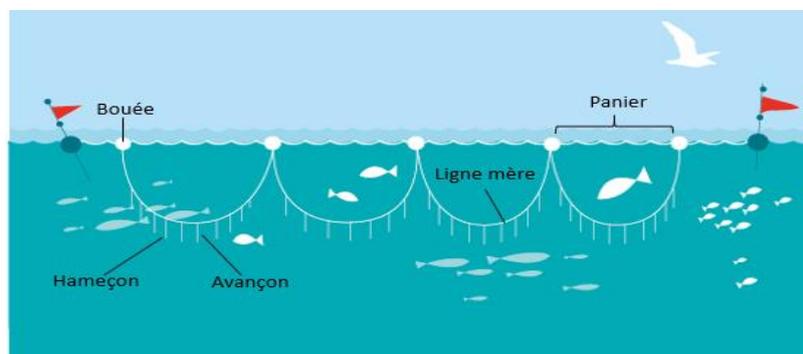


Figure 1 : Les composants de la ligne de pêche à la palangre

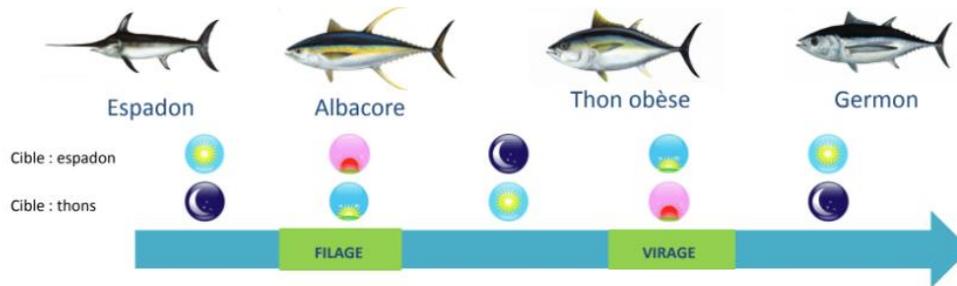


Figure 2: Les espèces cible et la période de pêche de chaque espèce

3.2 La déprédation

Dans le milieu marin, la déprédation se définit comme le prélèvement total ou partiel des poissons déjà capturés sur la ligne de pêche par des prédateurs. Dans le cas de la pêche à la palangre pélagique, ces prédateurs incluent les odontocètes (mammifères marins à dents), les requins (Figure 3), les oiseaux ou les calmars. Cette interaction peut causer des problèmes écologiques sur les espèces impliquées, en engendrant des modifications comportementales qui conduisent à un changement de régime alimentaire et de comportement de chasse chez les prédateurs. De plus, des impacts économiques importants sur le rendement de la pêche sont constatés, compte-tenu de l'endommagement des lignes voire la perte des poissons capturés (Moreno, et al., 2008) (Robearisoa, 2012). En plus des conséquences biologiques, écologiques et financières, la déprédation est un phénomène qui menace la conservation de ces espèces, car les captures accidentelles de requins et de cétacés peuvent causer des blessures mortelles aux individus impliqués (Hamer, et al., 2012).



Figure 3: Les espèces déprédatrices (palangre pélagique)

3.3 Objectif du stage

La pêche à la palangre est impactée par la déprédation par les prédateurs marins. En particulier, elle est affectée par la déprédation par les mammifères marins. Dans le cadre de cette interaction, les mammifères marins prélèvent partiellement ou totalement les poissons capturés sur l'engin de pêche, occasionnant des pertes économiques pour les pêcheurs, et des conséquences écologiques pour les espèces ciblées et les espèces déprédatrices. La plupart des précédents essais de dispositifs anti-déprédation se sont focalisés sur les dispositifs acoustiques qui émettent des sons visant à tenir les prédateurs à l'écart des engins de pêche. Cependant, les mammifères marins finissent par s'habituer à ces systèmes (Brotons, et al., 2008) ; (Jefferson, et al., 1995). A ce jour, aucun système n'a été efficace à long terme pour lutter contre la déprédation impactant la pêcherie palangrière pélagique, et ce problème reste donc encore irrésolu pour cette pêcherie, comme pour les pêcheries palangrières démersales d'ailleurs.

Mon stage consiste à proposer des solutions pour lutter contre la déprédation des thons et des espadons sur les palangres pélagiques par les mammifères marins et en particulier les odontocètes (pseudorques et globicéphales tropicaux). La déprédation pouvant avoir lieu à n'importe quel moment de la pêche, le poisson devient donc vulnérable à cette menace dès lors qu'il a mordu à l'hameçon. L'objectif du stage est donc de proposer une réflexion sur le développement d'un système de protection physique anti-déprédation qui se déclenchera automatiquement lors de la capture et qui protégera le poisson.

Un tel système doit répondre à un cahier des charges détaillé défini par les pilotes du projet PARADEP. Il devra respecter les trois piliers du développement durable : il devra être économiquement efficace, socialement équitable et écologiquement tolérable. En particulier, le système devra répondre à différents critères d'efficacité (réduction de la déprédation), de respect de l'environnement (conception avec des matériaux bio-sourcés, bien-être animal), d'acceptabilité économique (système réutilisable, résistant et inoxydable, sans impact sur la capturabilité de la palangre), et d'acceptabilité opérationnelle par les pêcheurs (miniaturisation, facilité de déploiement, de mise en œuvre, de désinstallation, de rangement).

Cependant, avant de se lancer dans le développement d'un système qui réponde aux différentes exigences, nous avons commencé par l'état de l'art en effectuant une recherche bibliographique sur les systèmes existants et explorer tous les champs possibles.

II. Chapitre 2 Revue bibliographique : Les solutions existantes anti- déprédation

1 Les protections physiques

A ce jour, quelques techniques se basant sur la protection physique du poisson ont été testées pour lutter contre la déprédation. Ces systèmes de protection physique ont été conçus et testés par différentes équipes, dont certains par l'équipe de MARBEC en charge du projet PARADEP.

1.1 Les solutions déjà proposées par MARBEC

Le premier système anti-déprédation conçu et testé en novembre 2007 aux Seychelles est le « système araignée » (Rabearisoa, et al., 2012) (Figure 4). Ce système est constitué d'un disque en plastique, avec 16 trous sur le bord et un trou au centre. C'est un dispositif à 8 bras en polyester. Le système est déclenché à l'aide d'une goupille beta, à la suite d'une traction exercée par le poisson sur la partie inférieure de la ligne, lorsqu'il mord à l'hameçon.

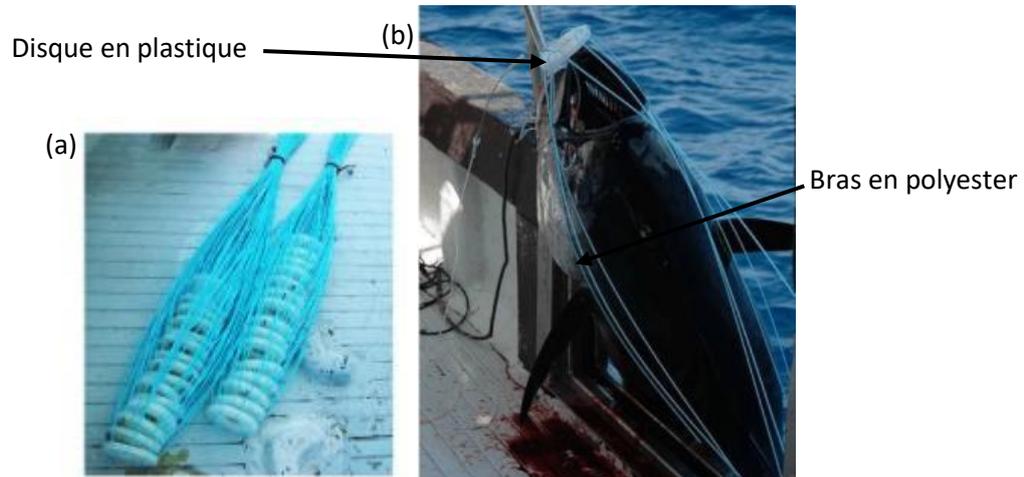


Figure 4: un thon capturé et protégé par le système araignée, (a) système plié, (b) système déployé (Rabearisoa, et al., 2012)

Le second système testé en novembre 2008 dans le Nord-est du plateau de Mahé au Seychelles est le « système manche » (Rabearisoa, et al., 2012) (Figure 5). C'est un dispositif sous forme de cône qui couvre le poisson entièrement. En bas du cône, un anneau en plastique rigide maintient le filet ouvert. Ces filets coniques sont en moustiquaire ou en fibre de propylène. Le système est rattaché au déclencheur de la même manière que l'araignée et il se déclenche à la suite d'une traction exercée par le poisson sur l'hameçon.



Figure 5 : Un thon capturé et protégé par le système manche (Rabearisoa, et al., 2012)

Les tests de ces deux prototypes ont soulevé un certain nombre de contraintes opérationnelles liées à leur mise en œuvre : emmêlement des dispositifs avec les avançons, ralentissement de l'opération de virage, inefficacité des dispositifs face à la déprédation, trop grand volume de stockage, ...

La troisième solution envisagée a donc voulu rajouter un effet effaroucheur aux précédents dispositifs. Ce système, nommé DEPRED ou « système effaroucheur », est constitué d'une protection visuelle sous forme de bandelettes destinées à entourer le poisson pour en réduire l'accessibilité et le masquer visuellement (Rabearisoa, et al., 2015) (Figure 6). Le système comporte en outre des olives en métal pour 1) lester les bandes inférieures pour qu'elles couvrent le poisson et 2) utiliser les propriétés du métal pour gêner le processus d'écholocation des mammifères marins. Des billes en plastiques creuses sont placées à l'extrémité des bandes supérieures pour leur rajouter une flottabilité positive et pour utiliser les propriétés des sphères qui réfléchissent les ondes

d'écholocation émises par les mammifères marins et qui les déforment. Ce système n'a pour l'instant été testé qu'en milieu marin côtier, avec des petits poissons pélagiques comme captures et des dauphins comme prédateurs. Cependant, ces essais ont montré que les dauphins s'habituèrent rapidement à ce type de dispositif.

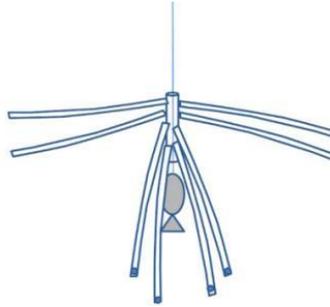


Figure 6 : Le système DEPRED (déprédation) (Rabearisoa, et al., 2015)

La dernière solution repose sur les résultats des précédents dispositifs. Ce système « banderole » (Figure 7) se compose d'une partie fixe « coque » sous forme d'une pièce cylindrique creuse et d'une partie mobile insérée dans la coque. Le disque supérieur porte un système d'aimants constituant l'élément de déclenchement du système. Ce dernier permet d'assurer une fixation temporaire de la partie mobile, et le disque inférieur porte le système de protection physique réalisé en 3 bandes de tissu sous forme rectangulaire (Molegnana, 2016). Ce système n'a pas encore été testé en conditions réelles, mais les premiers essais en milieu aquatique ont montré une certaine fragilité des matériaux utilisés, et surtout des problèmes d'emmêlement avec la ligne.

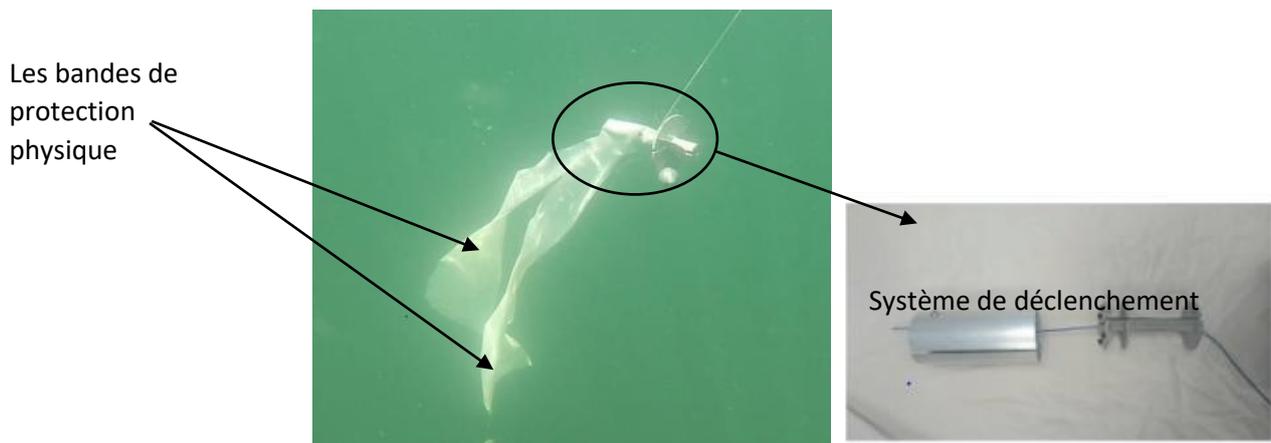


Figure 7: Le système banderole (Molegnana, 2016)

1.2 Les autres protections physiques existantes

1.2.1 Cas de la pêche palangrière démersale

La déprédation touche tous les types de pêcheries palangrières mais aussi les filets. Pour le cas de la palangre démersale, les captures doivent être protégées pendant le virage, situation où les lignes sont accessibles aux déprédateurs. Dans le cas de cet engin de pêche, un système de protection souple sous la forme d'une manche conique en filets flottants a été développé (Moreno, et al., 2008) (Figure 48 annexe1). Cette manche est déployée à l'extrémité supérieure de la ligne secondaire avant le filage. Lorsque la ligne principale est virée, la friction de l'eau sur la ligne verticale fait glisser le manchon le long de cette dernière. Le dispositif coulisse alors de façon mécanique sur le poisson qui aurait mordu à l'hameçon. Ce système a été testé en 2008 par la pêcherie artisanale chilienne au Sud-est de l'Océan Pacifique (cap Horn) qui cible la légine australe et qui est impactée par la déprédation par les orques et les cachalots. Ce système a eu d'excellents résultats pour éviter la déprédation des poissons et les captures accidentelles d'oiseaux de mer.

Un autre système, le « Umbrella-and-stones » (Goetz, et al., 2010) (Figure 49 annexe1), fonctionne sur le même principe que la manche conique en filets flottants. Ce dispositif souple a été testé en 2010 dans l'Océan Atlantique au sud-ouest de l'Espagne, où une forte diminution de la déprédation a été constatée, ainsi que l'élimination des prises accidentelles d'oiseaux de mer et de mammifères marins. Ces solutions sont très proches du système « manche » (Rabearisoa, et al., 2015) (Figure 5).

1.2.2 Cas de la pêcherie palangrière pélagique

D'autres systèmes de protection physique ont été testés dans le cadre de la pêcherie palangrière pélagique, qui cible les poissons de surface. Le premier est un dispositif semi rigide dénommé « chaîne » (Hamer, 2010) (Figure 50 annexe1) et constitué d'un cylindre contenant deux chaînes en acier inoxydable. Ces chaînes sont déployées autour du poisson une fois qu'il a mordu à l'hameçon. Ce dispositif a été testé en 2014 dans la mer de Corail (Australie du nord-est) où une réduction significative du taux de déprédation a été constatée. Cependant, une partie seulement des avançons était équipée : une partie des prises non protégées a été prédatée. L'inconvénient principal reste la taille du système. De plus, ce programme australien s'est brutalement arrêté en 2014 alors que les résultats semblaient encourageants.

La même équipe a aussi testé un dispositif « cage » (Hamer, et al., 2015) (Figure 51 annexe1) dans les mêmes conditions de pêche que le système « chaîne ». Celui-ci est globalement proche du système « manche » (Rabearisoa, et al., 2012). Les résultats de ces tests se rapprochent de ceux obtenus pour le système « chaîne » (Hamer, 2010). Par ailleurs, son montage semble aisé. On peut cependant redouter un emmêlement possible avec la ligne.

Enfin, la même équipe australienne a conçu le système « Octopus » (Hamer, et al., 2015) (Figure 52 annexe1), mais celui-ci n'a pas été testé en situation réelle. Il est globalement proche du système « araignée » (Rabearisoa, et al., 2012) (Figure 4), à la différence près que les bras de l'Octopus sont relevés lorsque le système n'est pas déclenché. Cette technique permet de rapprocher l'octopus de l'hameçon en « position repos ». Il semble facile à manipuler, mais on peut redouter que les mammifères marins s'adaptent à ce système.

Un autre système a été testé en 2010 dans la mer de Corail en Australie sur des palangres pélagiques qui ciblent le thon jaune et qui sont impactées par les odontocètes (McPherson, et al., 2010) (Figure 53 annexe1). Le système est constitué d'un ruban de clôture électrique enfermé dans un tube en polycarbonate. Celui-ci est libéré au moment où un poisson mord à l'hameçon et il se déploie autour de celui-ci. D'après les résultats du test, le taux de déprédation a diminué, la raison invoquée étant que les odontocètes hésitent à s'attaquer à des poissons emmêlés dans des fils. Néanmoins, ils ont constaté une complication de l'attachement des tubes sur chaque hameçon, ainsi qu'un encombrement important malgré la petite taille du dispositif.

2 Les dissuasions acoustiques

Les odontocètes sont des « écholocateurs » actifs, produisant des clics à haute fréquence pour étudier le monde autour d'eux. Des techniques de protection basées sur les ondes acoustiques ont naturellement été tentées. Le système de transmission de bouées « GDS » (global detection systems) (McPherson, et al., 2010) est un dispositif qui peut détecter la présence rapprochée d'activité de déprédation quand il est positionné sur une palangre, et fournit aux pêcheurs les informations qu'ils peuvent utiliser pour modifier la stratégie de pêche.

Les « pingers acoustiques » sont des dispositifs acoustiques ayant un faible rayon d'action, et qui sont placés sur les engins de pêche. Ils sont utilisés pour dissuader les mammifères marins de s'approcher des lignes ou pour les prévenir de la présence de filets (McPherson, et al., 2010). Ce sont des appareils qui génèrent une gamme de sons, choisis selon l'espèce et l'application visées. Ils sont déclenchés par les clics d'écholocation émis par les odontocètes.

Le système AHD (Acoustic Harassment Devices) est un système de protection acoustique basé sur un seuil de tolérance spécifique à l'être humain. Il a été développé afin de dissuader les mammifères marins déprédateurs de s'approcher des lignes (Carzon , et al., 2011).

Les dispositifs acoustiques peuvent montrer une certaine efficacité au début des tests. Mais à long terme, ces systèmes se sont tous révélés avoir un effet inverse à celui recherché : les sons émis par les dispositifs leur permettent de localiser l'engin de pêche et ils finissent par être associés à un appel à venir se nourrir sur la ligne. On peut lier ce phénomène d'habituation au "dining-bell effect".

3 Les dissuasions tactiles et olfactives

Susciter une douleur ou un inconfort très bref pour détourner les déprédateurs est aussi une piste qui a été explorée et testée sur les lions de mer par la création d'impacts par projectiles en caoutchouc. (Scordino, 2010) pour éloigner les lions de mer des échelles à poissons.

Un système de dissuasion électrique a été testé comme moyen pour dissuader les phoques communs du Pacifique qui ciblent le saumon rouge (*Oncorhynchus nerka*) et le saumon rose (*Oncorhynchus gorbuscha*) capturés dans une pêcherie au filet maillant (Forrest, et al., 2009)

D'autres travaux s'appuient sur les autres sens des prédateurs. La libération de dissuasifs chimiques biogéniques (huile de foie de poisson) sur la surface de la mer, derrière le navire pendant la pose des palangres, a été employée afin de dissuader les oiseaux de s'attaquer aux appâts (Lokkeborg, 2011). Une étude s'est aussi intéressée à faire ingérer aux lions de mer un vomitif (chlorure de lithium) en même temps que le poisson accroché à la ligne (Zachary, et al., 2013). Les prises mangées avec le vomitif sont perdues, mais l'objectif est ici de jouer sur la mémoire long terme des mammifères afin qu'ils ne reviennent plus pour déprédater.

4 Les dissuasions visuelles

L'utilisation de la couleur peut s'avérer intéressante dans certains cas. Elle peut être utilisée par exemple pour masquer les appâts vis-à-vis des déprédateurs. Cette solution a été testée pour éviter les prises accessoires d'oiseaux : les appâts ont été teints en bleu pour qu'ils soient moins visibles pour les oiseaux. Mais, elle peut aussi être exploitée pour rendre au contraire plus visibles les engins de pêche (filets) traditionnels en les teignant avec des couleurs opaques (Lokkeborg, 2011).

5 Conclusion

L'état de l'art des différents systèmes anti-déprédation a permis d'identifier plusieurs types de protection ou dissuasion.

Dans l'ensemble, les différents systèmes acoustiques qui ont été conçus pour lutter contre la déprédation se sont révélés inefficaces, car les mammifères marins finissent par s'adapter à ce type de système. Les moyens de dissuasion acoustiques ne sembleraient donc pas être une voie prometteuse pour compléter une protection physique. La suite de ce sujet ne s'y intéressera donc plus.

Pour les dissuasifs tactiles, on peut les répartir en deux familles : 1) impacts par projectiles en caoutchouc ou 2) mise en contact avec un courant électrique à basse tension. Si les impacts sont une technique inexploitable pour notre application (technique de surface et pour protéger une superficie restreinte), les inconforts liés au courant électrique pourraient être plus intéressants.

Les dissuasifs olfactifs semblent donner des résultats positifs et pourraient éventuellement fournir des pistes intéressantes pour la suite de notre projet.

Enfin, les dispositifs de protection physique, qui permettent de protéger le poisson totalement ou partiellement, sont des systèmes intéressants mais qui doivent être améliorés vis-à-vis de l'objectif du dispositif. Dans le chapitre suivant on va présenter les différentes solutions et les pistes pour concevoir une bonne protection physique.

III. Chapitre 3 Les pistes pour la protection physique

1 Introduction

Un système de protection physique doit répondre à plusieurs exigences. En particulier, il doit permettre une bonne protection des captures, il doit être peu encombrant et il doit se déployer à un moment donné sans avoir une influence sur le taux des captures. On a donc décidé d'élargir notre périmètre de recherche en cherchant des solutions potentielles dans les domaines spatial et terrestre. Si les milieux marin, terrestre et spatial n'ont pas du tout la même densité, certaines techniques de déploiement utilisées pourraient cependant être avantageusement transposées dans le milieu marin. En particulier, le domaine spatial fait intervenir de très nombreux systèmes de déploiement (les satellites doivent prendre un minimum de place dans les fusées, mais ont généralement besoin de présenter de grandes surfaces dans l'espace : panneaux solaires entre autres, etc.).

2 Revue bibliographique : Les techniques de déploiement et les pistes pour la protection physique

2.1 Les techniques de déploiement dans le milieu spatial

Les structures déployables ont depuis longtemps montré leur intérêt pour des constructions mécaniques d'usages divers. Elles sont aujourd'hui très utilisées dans le secteur spatial. Ces systèmes permettent en effet de réaliser des dispositifs de grandes dimensions, tout en occupant un volume réduit dans les fusées. Leurs applications dans l'espace sont ainsi variées : mâts, panneaux solaires, antennes planes ou paraboliques.

Le dispositif « FASTmast » contient des articulations cylindriques à chaque coin et des contreventements câblés (St-Onge, 2016) (Figure 8). Son déploiement peut se faire par l'extension selon une seule dimension d'éléments de structure en utilisant une énergie électrique. C'est un système qui prend moins d'espace dans l'état de repos. Sa forme carrée peut fournir une bonne couverture des captures voire même une bonne protection en utilisant des croisillons rigides.

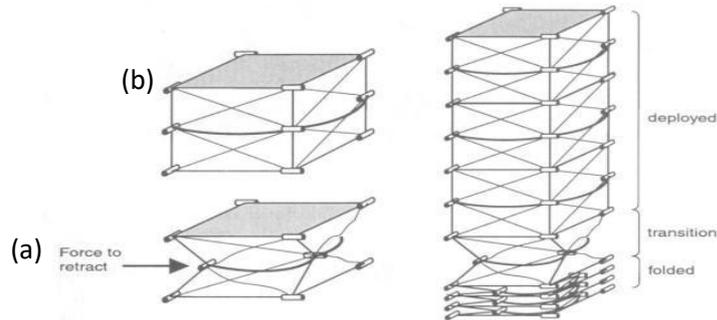


Figure 8 : (a), FASTmast plié, (b) FASTmast déployé (St-Onge, 2016)

Un autre système, l'« antenne TRW Extended Sunflower », basé sur la géométrie d'une fleur de tournesol a été produit par Dornier/ESA (St-Onge, 2016). Des panneaux rigides se déploient à partir de la structure conique centrale en tournant sur leur base, ce qui permet de créer une coupole finale (Figure 9).

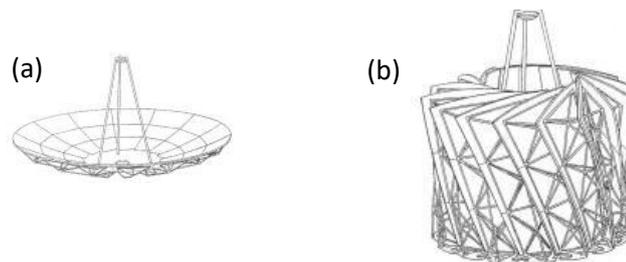


Figure 9 : Système de déploiement d'antenne en tournesol (a) déployé, (b) plié (St-Onge, 2016)

Un autre système, décrit par Gosselin et Gagnon-Lachance sous forme d'un triangle déployable (St-Onge, 2016) (Figure 10), contient deux bases triangulaires. La première base fixe centrale, forme un mécanisme à quatre barres avec les longueurs des membrures du quadrilatère. Elles sont généralement choisies pour former un parallélogramme. Le triangle central (2) peut tourner autour de l'origine (O) par rapport au triangle fixe (1) et doit être actionné par un moteur ou un ressort en torsion (Figure 11)

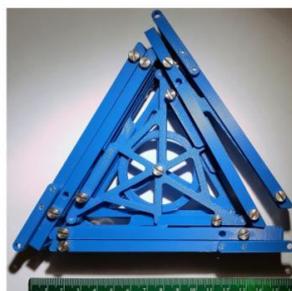


Figure 10 : Le triangle déployable (St-Onge, 2016)

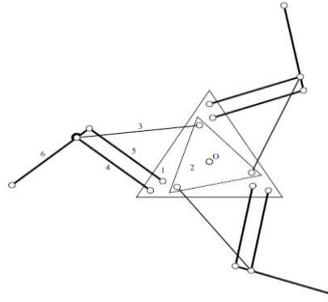


Figure 11 : Représentation schématique d'un triangle déployé (St-Onge, 2016)

Le système « Hoop/column Antenna » prend la forme d'un parapluie qui se déploie en plusieurs parties (Gunnar, 2002). Les éléments de compression sont une colonne centrale et un cerceau de grand diamètre, qui maintiennent la pré-tension dans un réseau de câbles (Figure 12). C'est un système complexe en plusieurs parties et qui demande une énergie importante pour se déployer.

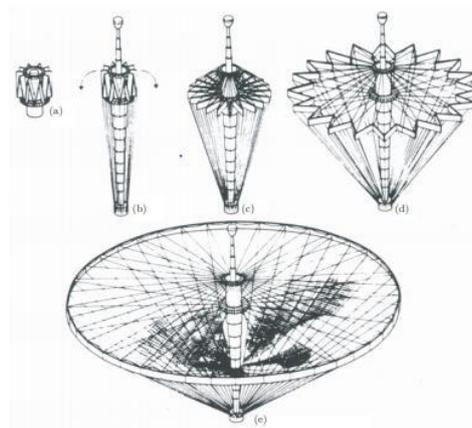


Figure 12 : les différentes étapes de déploiement du Hoop/ column Antenna (Gunnar, 2002)

Dans le spatial, l'énergie de déploiement est fournie par des moteurs électriques. Dans le cas présent, la solution la plus simple serait d'utiliser la force du poisson qui se débat pour actionner le déploiement du système. Ces dispositifs (Gunnar, 2002), (St-Onge, 2016) ont tous une forme compacte avant déploiement (avantage), mais sont souvent composés d'un grand nombre de pièces ce qui pourrait les fragiliser lors de la manipulation sur le bateau (inconvenient).

Une seconde solution de déploiement est donnée par les « mètres rubans », (Laurent Blanchard, 2005) comme sur la plateforme « Gough-Stewart » (Figure 13). C'est un hexapode dont les six pieds sont remplacés par des mètres rubans. Pendant le lancement, la structure est maintenue dans sa configuration gerbée où les six mètres rubans sont enroulés autour de bobines. Très schématiquement, une pièce tubulaire est aplatie. En exerçant un effort vertical, le système emmagasine l'énergie élastique, ce qui permet de l'enrouler sur un support. Dès qu'on libère la rotation du support, la pièce aplatie reprend sa forme tubulaire initiale, ce qui permet de repousser le support jusqu'à plusieurs mètres de distance.

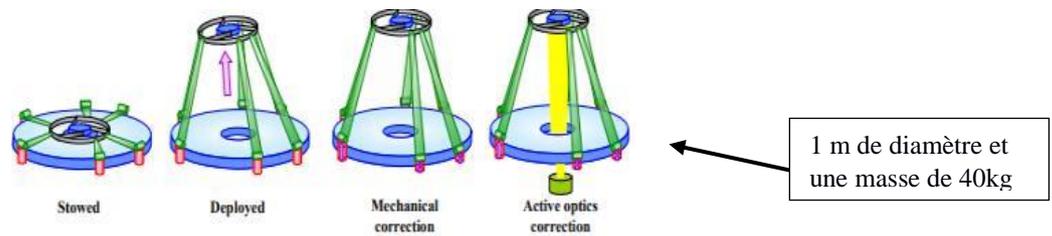


Figure 13 : les différentes étapes de déploiement de la plate-forme de Gough-Stewart (Laurent Blanchard, 2005)

Un autre système similaire à celui de Laurent Blanchard, nommé « Mât déployable », est proposé par Pernelle MARONE-HITZ (MARONE-HITZ, 2014). Trois rubans sont associés en parallèle formant une structure sur laquelle est déposé un panneau solaire flexible (Figure 14). La structure peut alors être enroulée pour le stockage et le lancement. Le déploiement du générateur solaire est ensuite assuré par le déroulement des rubans, une fois le satellite mis en orbite.

Les deux exemples (Laurent Blanchard, 2005), montrent une structure tubulaire 3D créée à partir d'une position de stockage sous forme de disque 2D (Figure 14).

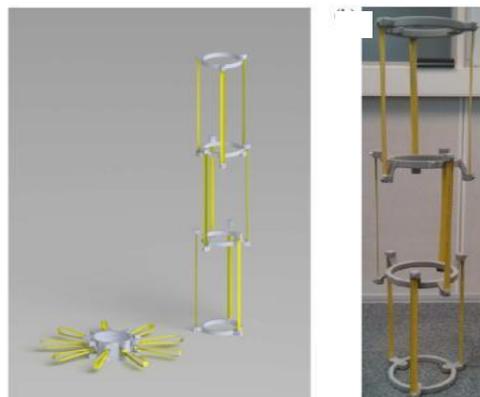


Figure 14 : Mât déployable réalisé avec des rubans mètre (Laurent Blanchard, 2005)

La troisième méthode de déploiement utilise un gaz sous pression pour gonfler une structure creuse initialement pliée, comme par exemple le système décrit par Pernelle Marone-hitz (MARONE-HITZ, 2014). C'est un système sous forme d'un cylindre gonflable replié selon un origami (Figure 15). Les pressions spatiale et marine ne sont pas les mêmes, mais cette technique pourrait être employée pour actionner tout ou partie d'un futur dispositif anti-déprédation.

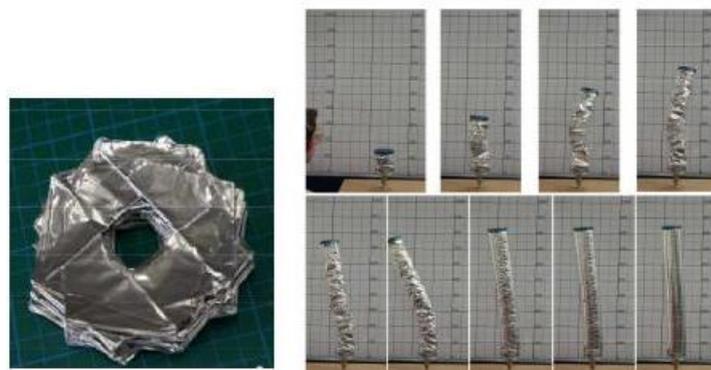


Figure 15 : configuration pliée et scénario de déploiement (MARONE-HITZ, 2014)

2.2 Les pistes pour la protection physique

Il existe des solutions intelligentes et faciles à manipuler dans le milieu terrestre qu'on pourrait utiliser pour construire un dispositif de protection physique : par exemple des solutions actives contenant une énergie stockée au repos, et qui peuvent se déclencher en cas de besoin, ou au contraire des solutions passives sans énergie stockée, et qu'on peut utiliser pour compléter, rigidifier ou assouplir un dispositif de protection.

- Solutions actives avec une énergie stockée

On trouve par exemple le bracelet slap ou auto-serrant (bracelet à mémoire de forme) (Figure 16), une protection ayant un état bistable (qu'on pourrait utiliser comme "état repos" et "état protection physique").

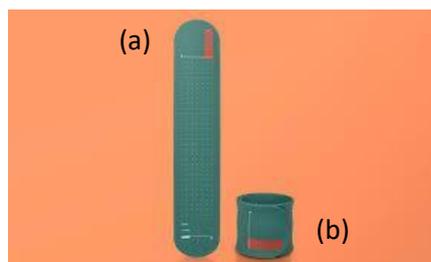


Figure 16 : Le bracelet slap, (a) bracelet déployé, (b) bracelet plié

La tente «2 secondes Quechua » est une tente qui ne nécessite pas une intervention manuelle pour obtenir la forme finale. Elle est composée de parois fines et souples (tissus), soutenues par des tiges en composites (renfort en fibres de verre). A l'état replié, les tiges sont déformées, emmagasinant ainsi de l'énergie élastique. Au moment où on souhaite « monter » la tente, il suffit de retirer les brides pour que les tiges reprennent leur forme initiale en quelques secondes seulement (les parois en tissu sont alors tendues et occupent un espace 3D). L'intérêt de ces tiges en composites pour notre étude est qu'elles peuvent présenter des résistances bien supérieures aux plastiques seuls

(mêmes gammes que les métaux) tout en étant beaucoup plus légères que des tiges équivalentes en acier, et ont aussi une capacité à se déformer bien supérieure aux métaux (Figure 17).



Figure 17 : tente de Quechua

- Solutions passives sans énergie stockée

a) Protection physique partielle

Pour construire un dispositif qui protège partiellement les captures, on peut utiliser par exemple :

- les fils de plomb (Figure 18), qui est un outil constitué d'un fil lesté utilisé pour obtenir des verticales (déjà utilisé dans le milieu de la pêche). Il pourrait permettre d'alourdir certaines parties du futur système (en particulier certaines zones en tissu) afin qu'elles se déploient bien autour de la prise (sans risque d'emmêlement, etc.).



Figure 18 : fil de plomb

- Ruban de plomb qu'on peut utiliser sous forme de tressage inclus dans une bande de tissu, ce qui devrait rendre ce tissu indéchirable par rapport aux dents des odontocètes (et des requins) (Figure 19).



Figure 19 : Ruban de plomb

- Chaînette-Billes en acier inoxydable (Figure 20). Ce type de produit est par exemple utilisé pour les bondes de lavabo à bouchon chaînette. L'intérêt est d'avoir un « fil d'acier souple »

que l'on peut fixer par exemple dans la partie centrale d'un morceau de tissu : il jouerait alors le rôle d'une espèce de colonne vertébrale pour ce tissu (bon déploiement grâce à la gravité, mais en autorisant une mobilité certaine), tout en laissant les zones éloignées de ce tissu se mouvoir librement.



Figure 20 : chaînette bille en acier inoxydable

b) Protection physique totale

Ce sont des solutions qui couvrent totalement les captures, en utilisant par exemple :

- Moustiquaire en acier inoxydable ou en aluminium (Figure 21) qui permet une protection physique rigide. Les fils horizontaux et verticaux sont généralement fixés les uns aux autres (soudures), ce qui garantit qu'ils ne se déplacent pas les uns par rapport aux autres même sous sollicitation (bonne protection des prises, tant que les odontocètes n'exercent pas un effort suffisant pour casser les soudures). L'utilisation du métal permet de plus de gêner le processus d'écholocation des mammifères marins.



Figure 21 : Moustiquaire en acier inoxydable

- Grillage souple (Figure 22) qui est constitué de mailles hexagonales (d'environ 25 mm x 25 mm). Entre chaque maille, les fils d'acier sont torsadés les uns aux autres, ce qui garantit qu'ils ne peuvent pas se déplacer même si les mailles sont déformées par un effort (dents des odontocètes). De plus, la taille de maille devrait être suffisante pour ne pas gêner les pêcheurs au moment d'utiliser la gaffe pour remonter les prises sur le bateau.

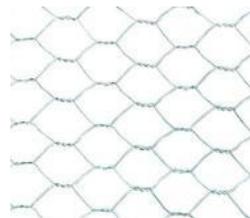


Figure 22 : grille souple en mailles hexagonales

Cependant, au vu des résultats des tests sur les systèmes testés jusqu'à présent, il semblerait que les tissus à base de polymères (nylon, plastique, etc.) ne soient pas assez résistants (certaines manches avaient été déchirées par des odontocètes pour pouvoir accéder à la prise). C'est pourquoi le LEME s'orientera plutôt vers des solutions à base de métaux (sans doute l'acier inoxydable) qui présentent des résistances à la rupture beaucoup plus importantes que les plastiques. Une seconde raison qui pousse à envisager les métaux est que les odontocètes semblent très bien « voir » les pièces métalliques grâce à leur sens de l'écholocation, puisque lors de la déprédation, ils (pseudorques, globicéphales tropicaux) parviennent toujours à éviter de mordre à l'hameçon, tandis qu'ils peuvent se retrouver pris dans des filets dérivants. L'inconvénient principal reste la masse volumique qui est beaucoup plus importante pour les aciers que pour les plastiques, mais il peut y avoir rajout d'un matériau à forte flottabilité positive (mousse expansée type polyuréthane par exemple)

3 Propositions de modifications sur les systèmes déjà existants

Les tests des systèmes conçus par des chercheurs, ingénieurs et doctorants de MARBEC ont montré des avantages et des inconvénients.

Le premier système « araignée » a donné des résultats moyens : il était facile à transporter et les pêcheurs n'ont pas trouvé de problèmes de montage ou d'encombrement. Mais malgré ces points positifs, le système est apparu non efficace face à la déprédation, car les poissons protégés par ce système étaient tout de même déprédés.

Le deuxième système « manche » a démontré des résultats mitigés. Le système permet une bonne couverture des captures (thon en particulier) pendant les tests. Mais plusieurs inconvénients ont été observés : une mauvaise couverture des espadons, un emmêlement de la manche avec la ligne, et une résistance hydrodynamique importante lors du virage. De plus, il se révèle peu efficace face à la déprédation.

Le dernier système « effaroucheur » n'a pour l'instant été testé qu'en milieu marin côtier, avec des petits poissons pélagiques comme captures et des dauphins comme prédateurs. Cependant, ces essais ont montré que les dauphins s'habituèrent rapidement à ce type de dispositif.

3.1 Première réflexion

D'après l'analyse des points positifs et négatifs des systèmes précédemment décrits, nous avons proposé des améliorations pour mieux protéger le poisson des prédateurs comme base de réflexion pour les prochaines parties du projet.

3.1.1 Le dispositif « araignée »

a) Les améliorations possibles :

- 1) Ajouter de la matière entre les branches pour empêcher les odontocètes d'accéder au poisson en poussant les branches.

- 2) Ajouter plus de branches (au nombre de 8 dans le dispositif actuel)
- 3) Changer la forme des branches (par exemple, une forme en zig-zag plus couvrante)
- 4) Assouplir les branches pour venir coller au poisson
- 5) Courber les branches en plastique rigide pour avoir la forme du poisson

b) Faisabilité

D'après les réunions d'avancement : on a conclu qu'ajouter de la matière entre les branches aide à protéger les poissons en utilisant des matières plus rigides comme par exemple des grilles souples en acier (Figure 22).

L'augmentation de nombre des branches risque d'être insuffisante vu que les branches sont d'une matière souple. Il faut donc rigidifier les branches en utilisant par exemple des profilés en fibres de verre (Figure 17 : tente de Quechua) car une fois poussées, les branches faites en cette matière reviennent en place, ce qui va compliquer l'accès aux poissons.

Changer la forme des branches pourrait aussi être envisageable : par exemple, une forme en zig-zag en acier pour une meilleure couverture ou une forme bombée pour épouser la morphologie du poisson.

3.1.2 Le système « manche »

a) Les améliorations possibles

- 1) Les odontocètes réussissent à remonter la manche pour accéder au poisson, on peut donc ajouter par exemple :
 - Un système rigide qui se referme à l'extrémité inférieure
 - Concevoir le cercle du bas en plusieurs tronçons
 - Rajouter un système souple accroché sous le cercle (bandes souples)
- 2) Pour empêcher les prédateurs de déchirer la manche pour accéder au poisson, on peut envisager un autre type de matériau plus résistant
- 3) Augmenter le diamètre du disque de base pour que la manche puisse éviter le rostre des espadons et les englober.
- 4) Changer la forme du système au repos pour réduire le problème de l'encombrement
- 5) Ajouter en partie la manche pour diminuer la résistance hydrodynamique lors du virage et alléger le système

b) Faisabilité

Changer la matière des branches semble une bonne idée, en utilisant des tissus beaucoup plus résistants, comme une moustiquaire ou un grillage à mailles hexagonales (Figure 21, Figure 22).

Pour améliorer la protection de l'extrémité inférieure, on peut par exemple mettre des cercles « dislocables », ou rigidifier la manche mais ça reste très encombrement pour l'utilisation dans les bateaux .

3.1.3 Le système « effaroucheur »

a) Les améliorations possibles :

La seule piste d'amélioration trouvée serait de réaliser un effaroucheur visant un autre sens des cétacés.

b) Faisabilité

Les essais préliminaires du système « effaroucheur » réalisés avec des dauphins ont montré que ces derniers ne sont pas restés longtemps perturbés par la présence des bandelettes et des billes. Il ne semble donc pas pertinent de conserver le côté « protection psychologique par leurre » du dispositif. La protection « psychologique » par effet anxiogène peut en revanche être envisagée. De même, l'efficacité de la protection physique pourrait être augmentée en apportant quelques modifications au système actuel, en utilisant par exemple des bandes en polymère pour adhérer aux poissons, des bandes résistantes et multidirectionnelles pour une meilleure couverture, ou des bandes anxiogènes pour jouer sur la mémoire long-terme des odontocètes.

3.2 Deuxième réflexion

a) Système « araignée » et « manche »

En ce qui concerne les systèmes « araignée » et « manche » une solution optimale se trouverait sans doute entre les deux. En effet, le dispositif « araignée » convient aussi bien pour les thons que pour les espadons, mais couvre trop peu le poisson pour être véritablement efficace. A l'inverse, le dispositif « manche » couvre bien les thons, mais pas du tout les espadons... De plus, les matériaux utilisés se déchirent facilement, ce qui ne représentera pas une grande protection vis-à-vis des pseudorques et des globicéphales tropicaux.

Pour rigidifier le système et avoir une surface couvrante suffisante, les évolutions suivantes pourraient être envisagées :

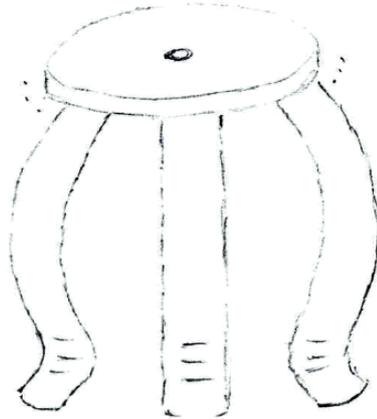


Figure 23 : Première proposition pour l'amélioration du système « araignée » par des branches en lames en acier ressort

- Mode de fonctionnement :

Au repos le système est positionné en hauteur, la descente du système sera actionnée par la traction appliquée par les poissons. Le passage entre les branches se fait par le mouvement du poisson (qui les pousse progressivement).

- Caractéristiques

Réaliser les branches avec des lames et non plus des tiges de section circulaire (Figure 23), et en employant de l'acier « ressort » plutôt que des plastiques car l'acier est beaucoup plus visible au système d'écholocation des odontocètes, et surtout beaucoup plus résistant. La section fortement rectangulaire des branches permettrait de garder une souplesse importante dans le sens radial (ouverture des branches pour laisser passer le poisson), mais ne pourrait pratiquement plus bouger dans le sens tangentiel (les odontocètes ne pourraient alors plus pousser les branches autour du poisson pour pouvoir ensuite déprédaté). Mais ce système est envisageable pour des pêches avec des palangres verticales car peu sont mises à l'eau. Il est impossible à utiliser sur un palangrier déployant entre 800 et 2500 hameçons.

Pour augmenter la surface couverte par le dispositif, on pourrait rajouter des tiges d'acier disposées en épis (tournés vers le haut) (

Figure 24). Le système pourrait avoir une couverture équivalente à celle du système « manche », mais conviendrait cette fois-ci aussi aux espadons. En effet, le rostre des espadons pourrait remonter le long des lames mais il ne redescendra pas à cause de l'inclinaison des tiges supplémentaires en acier.

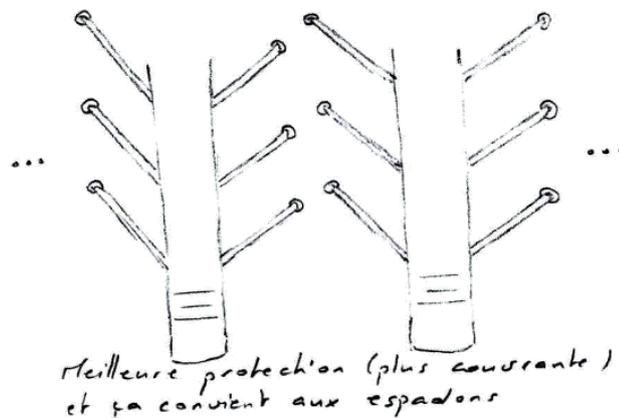


Figure 24 : Augmentation de la couverture en ajoutant de petites tiges

- b) Système « effaroucheur »
- Première proposition

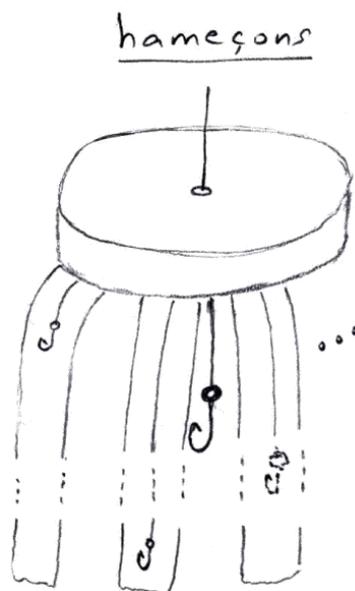


Figure 25: Première proposition d'amélioration du système effaroucheur

La première réflexion consiste à insérer des hameçons dans les bandelettes : les odontocètes ont appris à éviter les hameçons lorsqu'ils déprédatent un poisson. En effet, ils perçoivent très facilement ces éléments métalliques grâce à leur système d'écholocation. Nous pensons donc qu'ajouter des rondelles en métal par exemple autour du poisson pourrait les inciter à ne pas déprédater, tout en étant plus vertueux quant au bien-être animal (Figure 25).

- Proposition 2

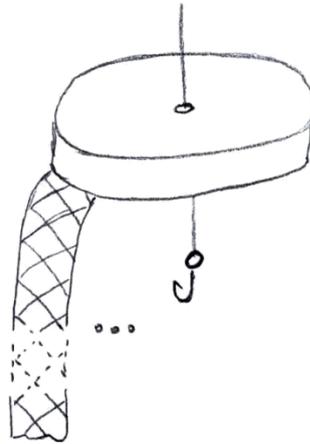


Figure 26 : Deuxième proposition d'amélioration du système effaroucheur

La deuxième proposition consiste à inclure un grillage de type moustiquaire (Figure 21) dans les bandelettes (Figure 26) : si le grillage est suffisamment solide et les bandelettes suffisamment nombreuses, on peut espérer que les prédateurs ne puissent plus accéder à la chair du poisson. La mâchoire des odontocètes pouvant générer une force de mastication importante, le poisson reste cependant susceptible d'être écrasé (tout ou partie) au moment de la tentative de prédation.

- Proposition 3

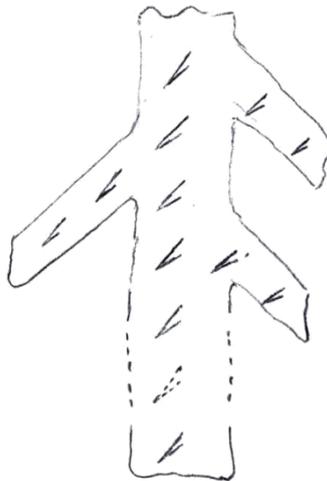


Figure 27 : Troisième proposition d'amélioration du système effaroucheur

La troisième réflexion consiste à changer la forme des bandelettes en ajoutant des ramifications ou en utilisant une forme de zig-zag plutôt qu'une forme droite : la surface du poisson couverte devrait ainsi être plus importante, et les odontocètes devraient rencontrer beaucoup plus de difficultés pour s'infiltrer et atteindre le poisson. En complément, on pourrait rajouter des éléments piquants sur les bandelettes afin de réaliser une protection physique telle que celle utilisée par le hérisson ou

l'oursin (Figure 27). Cette technique pourrait donner des résultats intéressants mais la manipulation de tels dispositifs par les pêcheurs risque d'être particulièrement délicate.

4 Pistes vers d'autres techniques de protection physique

- Proposition 1

La première réflexion consiste à déployer le système de protection tout autour du poisson de manière circonférentielle, et non de haut en bas comme pour les systèmes précédents. Pour cela, le système se déploierait en étant guidé par un anneau situé au-dessus du poisson et l'encerclerait. Des ressorts comprimés ayant emmagasiné de l'énergie élastique assurent le déploiement complet des tiges (Figure 28). Ce système vise à pallier les difficultés engendrées par la présence du rostre de l'espadon (qui gêne la descente du dispositif) sur le déploiement des dispositifs envisagés jusqu'à présent.

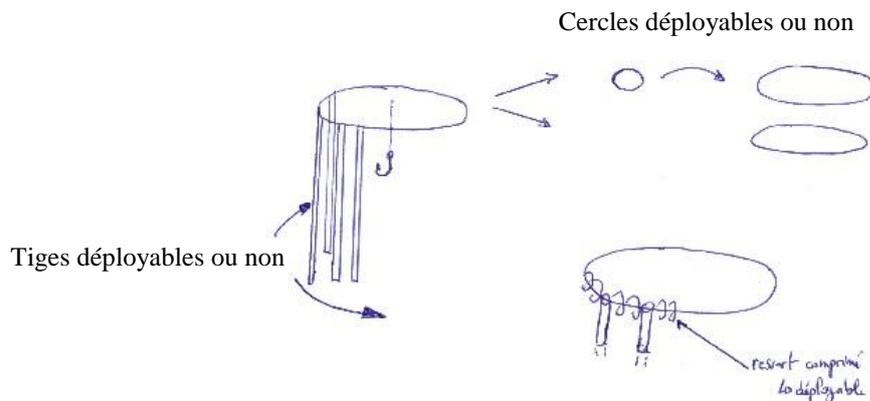


Figure 28: Autres pistes de protection physique « tiges + filet », proposition 1

- Proposition 2

Une seconde proposition repose sur un fonctionnement en deux étapes : le système commencerait à se déployer au-dessus du poisson (technique vue dans les solutions spatiales de déploiement (Figure 10)), puis un dispositif apparenté à un filet descendrait, permettant de couvrir complètement la capture (Figure 29).

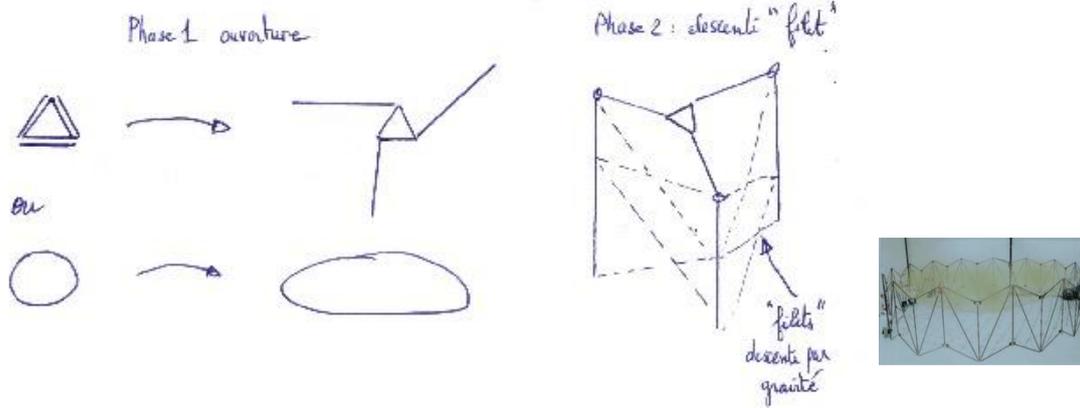


Figure 29 : Autres pistes de protection physique « tiges + filet », proposition 2

- Proposition 3

Le système est constitué d'un anneau situé au-dessus du poisson, et sur lequel sont disposées des « tiges » déployables. Ces tiges peuvent être télescopiques, poly-articulées ou bien constituées de ruban-mètres. Un « filet » pourrait ensuite se déployer par gravité le long de ces tiges pour assurer une protection complète (Figure 30).

Ce type de systèmes permet de conserver un encombrement raisonnable en position repliée mais reste fragile et difficile à manipuler.

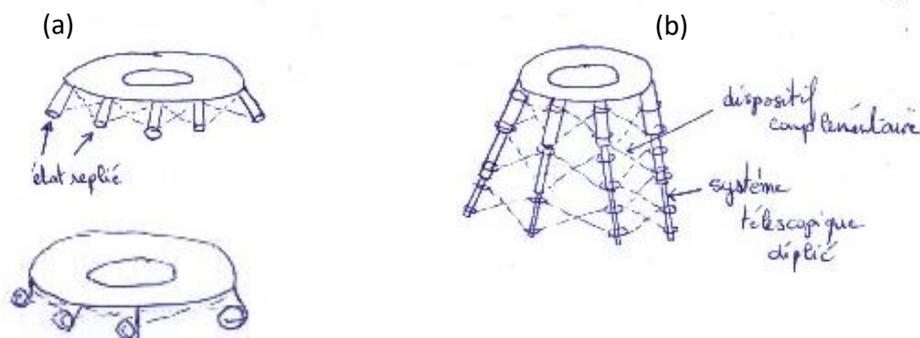


Figure 30 : Autres pistes de protection physique « tiges + filet » proposition 3, (a) configuration pliée, (b) configuration dépliée

- Proposition 4

Le système est constitué de deux bases, une fixe et l'autre mobile (Figure 31). Les deux bases sont liées par des tiges poly-articulées ou bien ruban-mètres (technique vue dans les solutions spatiales de déploiement (Figure 13)). Au repos les deux bases sont positionnées en haut et les tiges sont pliées. Par le mouvement du poisson la base mobile descend et entoure le poisson. Entre chaque tige on peut ajouter un filet pour améliorer la protection physique.

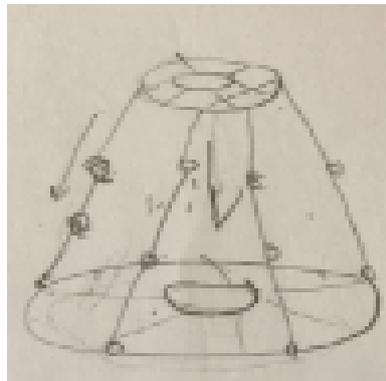


Figure 31: Autres pistes de protection physique, proposition 4

- Proposition 5

Le système se déploie en deux parties et se compose de plusieurs bandes. Chaque bande contient un mètre à ruban ayant emmagasiné de l'énergie élastique assurant le déploiement des bandes dans un premier temps, puis les articulations dirigent les bandes qui viendront entourer le poisson. (Figure 32)

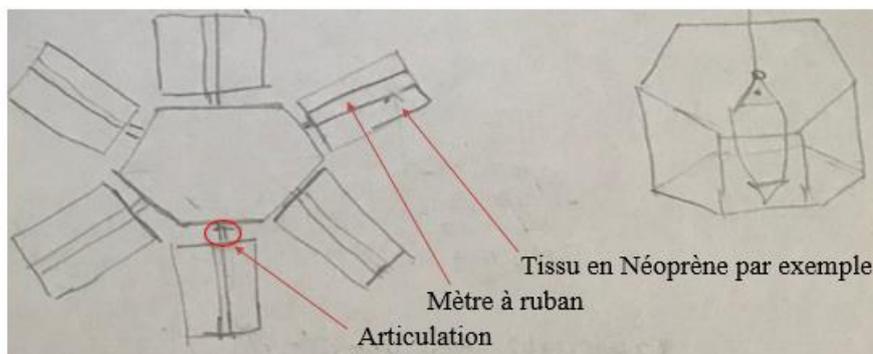


Figure 32 : Autres pistes de protection physique, proposition 5

- Proposition 6 :

Dans ce système, les « tiges » sont constituées de plusieurs parties reliées entre elles par des fils. L'objectif est d'avoir un encombrement minimal sur le bateau, et un système qui se replie facilement une fois utilisé (Figure 33).

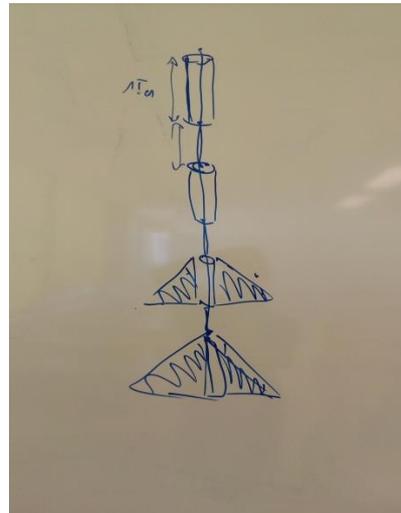


Figure 33 : Autres pistes de protection physique, proposition 6

5 Pistes pour réaliser un double-déclenchement

Le bon fonctionnement des systèmes présentés dans la partie précédente présuppose que le poids de l'ensemble sera suffisant pour que le poisson arrive à déployer le système. Dans le cas où la force gravitationnelle ne serait pas suffisante, il faudrait équiper le système d'un dispositif à double-déclenchement.

La principale difficulté de conception d'un système à double-déclenchement provient du fait qu'une même information (le poisson tirant sur la ligne) doit déboucher sur deux actions différentes réalisées dans un ordre précis : faire descendre le système vers le poisson, puis resserrer les lames autour du poisson.

Trois pistes sont proposées ci-dessous. Tout n'a cependant pas été dimensionné : si l'une de ces pistes semble intéressante, il restera encore à concevoir le système dans le détail.

- Proposition 1

Système composé de deux parties (partie « haute » légère et partie « basse » lourde) (Figure 34). Les lames ressorts sont fixées sur la partie « basse », des éléments souples type (fil d'acier, bande polymère, etc.) relient chaque lame ressort à la partie « haute ». Le système est bloqué au niveau de la partie haute à quelques mètres au-dessus de l'hameçon.

➤ Fonctionnement du système

Par gravité, la partie basse descend, ce qui met les éléments souples en tension, ouvrant ainsi les lames-ressorts. Lorsqu'un poisson mord, il tire sur la ligne, ce qui supprime le blocage au niveau de la partie haute : la partie basse étant plus dense que la partie haute, l'ensemble descend sans que les lames-ressorts ne se referment. Parvenue en bas (arrêt sur la tête du poisson ou sur un élément

supplémentaire, de type « plomb » par exemple), la partie basse s'arrête. La partie haute continue de descendre par gravité, détendant progressivement les éléments souples, ce qui permet aux lames-ressorts de se refermer progressivement. Le poisson se retrouve ainsi emprisonné dans les lames-ressorts.

Dans cette configuration, les lames reprennent tout de même leur place de protection dès que l'effort cesse d'être appliqué : il n'est donc pas certain que les odontocètes puissent continuer à déprédaté avec ce dispositif.

Mais si on souhaite rajouter une sécurité au système, il est possible d'imaginer que la partie haute vienne réaliser un appui sur les lames de la partie basse (Figure 35), parties haute et basse restant solidaires par coincement conique. Cette configuration empêche les lames de fléchir tant que les parties haute et basse restent en contact l'une avec l'autre : les lames ne peuvent donc plus s'écarter du poisson.

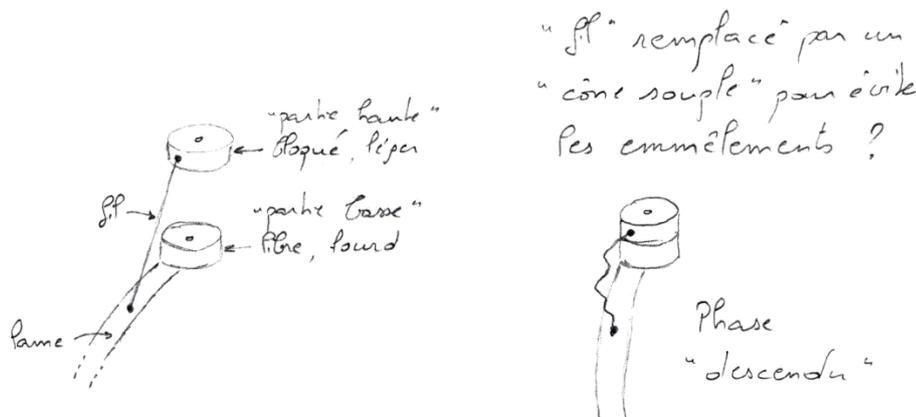


Figure 34 : Pilotage par un système à double déclenchement, proposition 1

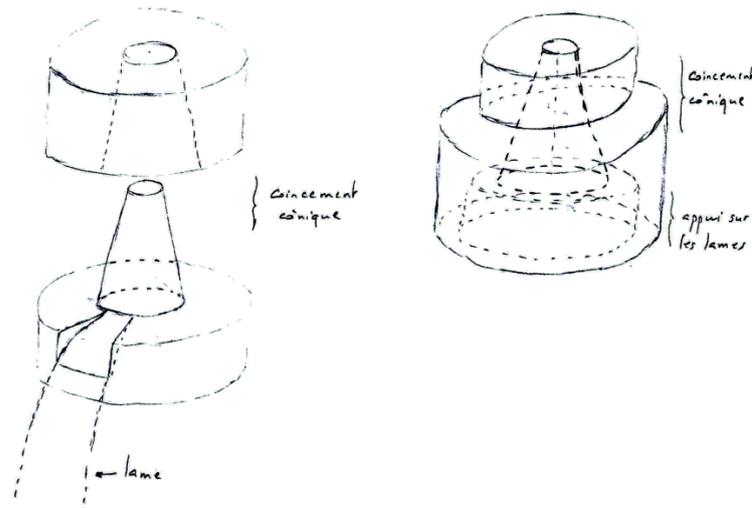


Figure 35 : Pilotage par un système à double déclenchement, coincement conique

- Proposition 2

La deuxième solution reprend l'idée du système « The octopus » (Figure 52 annexe1) : il s'agit de relever les pattes de leur « araignée » en position repos (Figure 36). Les lames-ressorts sont toujours fixées sur un disque positionné en bas du système (« partie basse »). La partie haute est constituée d'un anneau qui permet de maintenir les lames en position relevée. Le système est en revanche bloqué cette fois-ci au niveau de la partie basse. Deux arrêts supplémentaires sont fixés plus bas sur la ligne.

➤ Fonctionnement du système

Lorsqu'un poisson mord, le blocage de la partie basse disparaît et le système descend par gravité.

Le premier arrêt permet de stopper la descente de la partie haute : les lames-ressorts glissent alors et finissent par se libérer pour aller entourer le poisson. La partie basse termine sa descente en venant appuyer sur le second arrêt ou sur la tête du poisson.

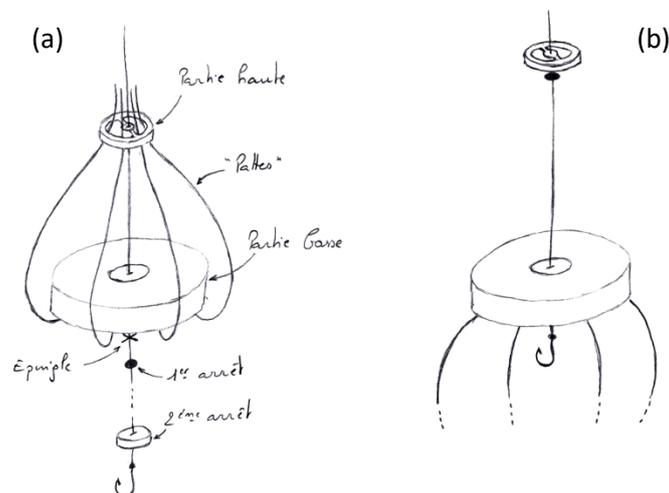


Figure 36 : Système à double déclenchement, Araignée à pattes relevées, (a) configuration pliée, (b) configuration dépliée

• Proposition 3

Pour la troisième proposition (Figure 37), les lames-ressorts sont fixées sur la partie haute du système. Cette dernière est composée de trois sous-parties : un corps central servant de carter, un couvercle inférieur permettant de maintenir les lames-ressorts en position ouverte et un couvercle supérieur jouant le rôle d'interrupteur.

En position repos, cette partie est bloquée sur la ligne à quelques mètres au-dessus de l'hameçon. La partie basse est constituée d'un mécanisme similaire à celui utilisé pour maintenir par exemple un parapluie ouvert (triangles repliables montés sur ressorts). Cette partie est fixe par rapport à la ligne.

➤ Fonctionnement du système

Lorsqu'un poisson mord, la partie haute descend par gravité. Elle passe par-dessus la partie basse, dont les triangles se referment, et va s'arrêter sur un obstacle inférieur. Les triangles de la partie basse se redéplient dès que la partie haute est complètement passée : la partie haute ne peut donc

plus remonter le long de la ligne. Au moment où le poisson retire sur la ligne, les triangles viennent appuyer sur le couvercle supérieur (interrupteur) : le couvercle inférieur est alors libéré et les lames-ressorts vont entourer le poisson pour le protéger.

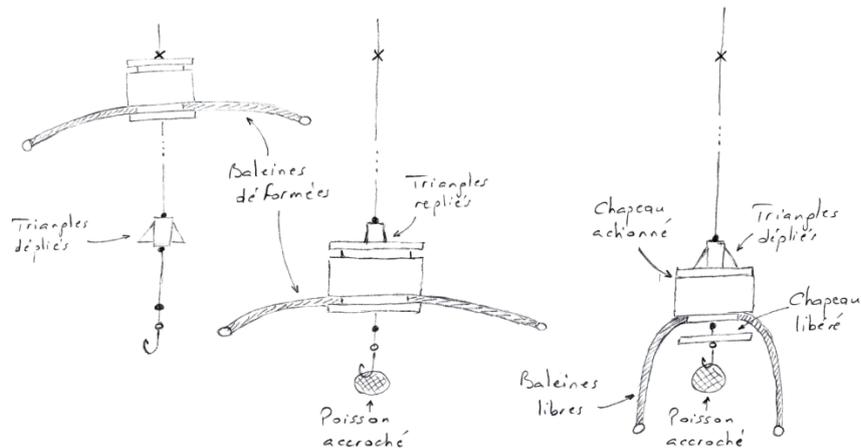


Figure 37 : Système à double déclenchement « parapluie »

6 Evaluation des différents systèmes

Afin de s'orienter vers le système de protection physique le plus prometteur, qui doit répondre à plusieurs critères, il est nécessaire de pouvoir les évaluer et les classer. Dans cette partie nous allons évaluer les différents systèmes de protection physique en utilisant une grille d'évaluation (annexe 2) qui contient des critères qui nous semblent importants à prendre en considération pour assurer une bonne protection.

➤ La section installation contient les items suivants :

- 1) Attachement sur la ligne : La capacité du système s'attacher sur la ligne sans aucune difficulté
- 2) Déploiement : La capacité du système à se déployer une fois installé sur la ligne
- 3) Déclenchement : Le déclenchement du système une fois déployé en mer

➤ La section transport

- 1) Traction sur la ligne : La force hydrodynamique appliquée par le système pendant le transport qui produit une traction sur la ligne
- 2) Emmêlement : L'emmelement du système avec les engins de pêche
- 3) Déclenchement : le niveau de déclenchement du système pendant le transport

➤ La section protection

- 1) Couverture : La capacité du système à assurer une bonne couverture physique du

thon/espadon

- 2) Protection : La capacité du système à assurer une bonne protection physique du thon/espadon

➤ La section manipulation

- 1) Robustesse : capacité du système à ne pas se détériorer sous l'effet des multiples manipulations sur le bateau, lors de la mise à l'eau ou lors de sa remontée à bord du bateau.
- 2) Encombrement : capacité du système à pouvoir se ranger facilement à bord du bateau, et en particulier en ne prenant pas trop de place.
- 3) Dangereusité : capacité du système à pouvoir être manipulé sans danger par les marins-pêcheurs, ou à ne pas blesser les déprédateurs.
- 4) Repliage : capacité du système à se replier facilement et rapidement au moment du rangement sur le bateau afin de ne pas faire perdre de temps aux marins-pêcheurs.

7 Conclusion

Les grilles d'évaluations présentées en annexe donnent une première approche de classification. Il n'est pas possible de tout détailler, mais les grandes lignes suivantes peuvent être dégagées :

- 1) Installation : les systèmes à double-déclenchement risquent d'être plus délicats à attacher sur la ligne principale, mais il devrait être possible de pallier ce problème en préparant les montages en amont du filage. Cependant, cela représenterait une tâche supplémentaire pour les marins-pêcheurs dans leur routine de pêche. Il est donc important de mettre en balance le temps supplémentaire que ce système nécessiterait et le gain/profit dont la pêcherie bénéficierait.
- 2) Transport : les systèmes qui risquent de poser le plus de problèmes d'emmêlement sont ceux ayant de nombreuses ramifications (Figure 26, Figure 37), ou ayant de grandes dimensions au repos.
- 3) Niveau de protection : globalement tous les systèmes présentés permettent une bonne couverture et une bonne protection physique des thons. En revanche, tous les systèmes ne sont pas adaptés aux espadons. Pour ces derniers, les systèmes fonctionnant le mieux sont ceux constitués de multiples branches verticales, sans liaisons circonférentielles complètes (pour toujours laisser la possibilité au rostre de l'espadon de remonter jusqu'en haut du dispositif).
- 4) Manipulation : seul le système « hérisson » (Figure 27) pourrait s'avérer dangereux.

Au niveau des autres critères, plus le système est complexe (constitué de nombreuses parties mobiles, etc.) et plus il devient fragile, encombrant et de repliage compliqué.

Donc une protection physique infranchissable qui répond aux exigences du milieu marin (problèmes d'encombrement, de stockage, de masse, d'emmêlement, de ralentissement des opérations de pêche...) et qui prend en considération la taille critique des odontocètes et la grande force au niveau de la mâchoire, s'avère impossible.

Nous souhaiterions donc compléter ce dispositif de protection physique par un dispositif plus « psychologique » (expérience de déplaisir très momentané qui incite à arrêter immédiatement la

déprédation, et dont le mammifère se souviendra par la suite ce qui le retiendra de déprédater à nouveau).

IV. Chapitre 4 - Les pistes pour des dissuasions psychologiques

1 Introduction

Dans les parties précédentes nous avons vu qu'il existe des pistes intéressantes pour construire un système qui combine plusieurs types de protections. A priori, deux sens pourraient être concernés par ces systèmes : le toucher (piqûre, choc électrique, etc. : contact désagréable) et la vision (emmêlement de fils, hameçon, etc. : « peur » de se faire prendre et de se noyer).

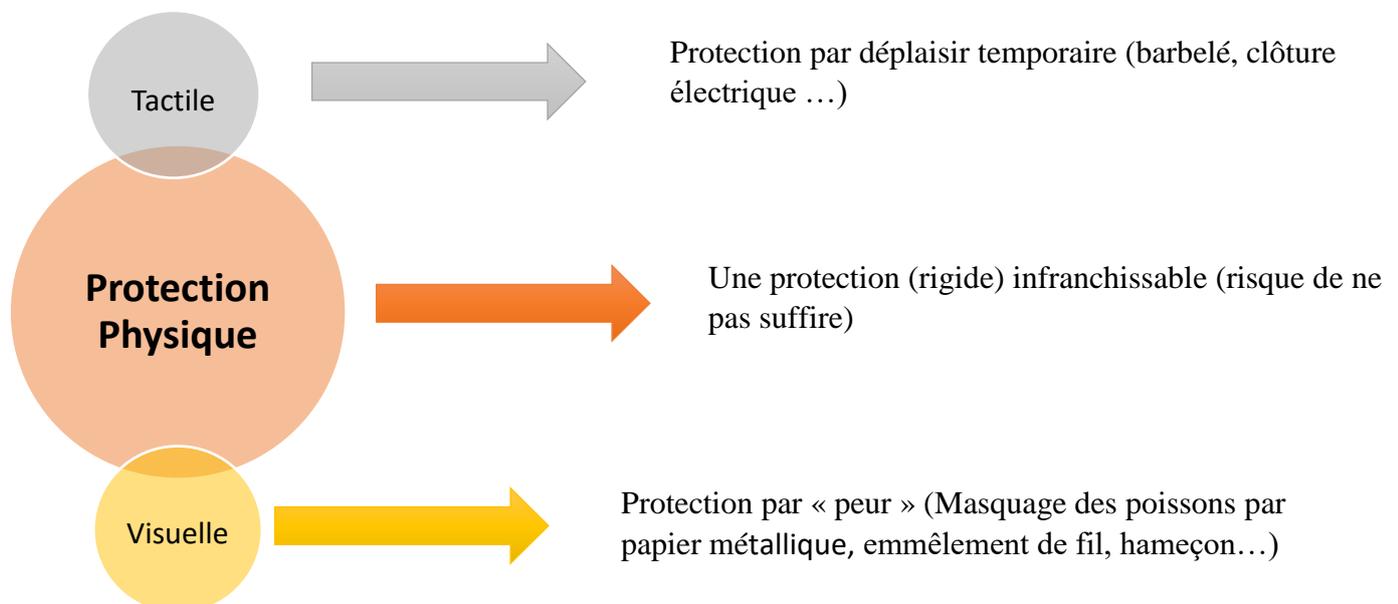


Figure 38 : Les types de protection envisagées pour la suite du projet

Dans tous les cas, la protection « psychologique » compte sur la mémoire des odontocètes afin qu'ils se détournent d'une prise par appréhension de subir quelque chose de désagréable. Parmi les pistes envisagées, les sens du goût et de la vision pourraient être intéressants à explorer : utilisation de produits désagréables en termes de goût, agencement de couleurs qui les perturbe, etc. Cependant, avant d'aller plus loin dans cette direction, il nous est nécessaire de qualifier ces sens chez les odontocètes.

2 Revue bibliographique sur les sens des odontocètes

Les mammifères marins suscitent l'admiration et le respect des chercheurs par leur langage de communication et leur intelligence.

L'écholocalisation est un phénomène de la nature absolument extraordinaire. Les cétacés produisant des clics à haute fréquence utilisent ce système pour étudier le monde autour d'eux, pour communiquer, mais également pour s'orienter dans l'océan, pour la chasse ainsi que la socialisation (Peter , et al., 2006) . Par exemple, les dauphins sont capables de partager les résultats de l'écholocalisation les uns avec les autres pour créer une meilleure compréhension de leur environnement (Dewalle, et al., 2017). Les dauphins peuvent facilement faire la différence entre deux fréquences, mêmes très proches, par leur oreille interne qui a un spectre auditif très large, atteignant des fréquences qui vont de huit à dix fois plus que le champ auditif humain (dans les fréquences supérieures à 110 kHz) (Dewalle, et al., 2017).

L'intelligence se caractérise par la taille de cerveau. Des études ont montré que le rapport de la taille du cerveau à la masse du corps chez certains membres de la superfamille des odontocètes est le deuxième après l'homme moderne, et est plus grand que celui de tous les autres mammifères soit en moyenne 7,8 kg (Dewalle, et al., 2017). Grâce à leur intelligence, le grand dauphin peut par exemple imiter à la fois vocalement et gestuellement, en copiant les comportements et les sons sans répétition ou formation poussée, ce qui n'est pas le cas pour les singes qui demandent une répétition des gestes (Peter , et al., 2006).

Des chercheurs s'accordent à dire que les cétacés, et plus précisément les dauphins ont une très bonne vue, aussi bien sous l'eau qu'à l'air libre (Guinet, 2016). Certaines sources font cependant référence au fait que les dauphins ne verraient qu'en noir et blanc (Bertrand, 2017). (Bowmaker, 2008). Ils seraient donc devenus monochromates (ne perçoivent qu'une couleur) (Jun J. Sato, 2012). D'autres auteurs disent que les gènes de l'opsine SWS1 est présent, mais souffre de substitutions de délétions d'acides aminés qui rendent la protéine exprimée non fonctionnelle. Ce dysfonctionnement s'expliquerait par la réduction de la luminosité de l'environnement sous-marin (Vevey, 2015/2016), (Bowmaker, 2008). A l'inverse, les odontocètes sont complètement dépourvus d'odorat.

Au niveau du sens du goût, les différentes sources se révèlent contradictoires. Un test sur 11 espèces de baleines, ainsi que sur le grand dauphin, le globicéphale, le dauphin à bec blanc, le dauphin à flancs blancs, le cachalot, la baleine d'Omura a révélé que les goûts d'umami et du sucre ont été perdus chez l'ancêtre commun des baleines (Feng, et al., 2014). Le goût amer représente une défense naturelle importante contre l'ingestion des produits chimiques toxiques provenant de l'environnement extérieur. Cette perte de la fonction de récepteur du goût chez les mammifères est répandue et directement liée aux spécialisations en alimentation (Feng, et al., 2014), (Peihua Jiang, 2012).

Dans un autre article plus récent (Kremers , et al., 2016), les auteurs ne parviennent pas à des conclusions sur la perte de goûts ou la perte de la vision des couleurs uniquement d'après un dysfonctionnement des gènes.

Malgré la recherche bibliographique, un certain nombre d'interrogations demeurent quant aux capacités réelles des odontocètes, en particulier au niveau du degré de développement de certains

sens (vision, goût, toucher). Les différentes sources ne sont en revanche pas d'accord. Certaines affirment que le goût d'umami et du sucre ont été perdus chez l'ancêtre commun des baleines et que les mammifères sont devenus monochromes. D'autres remettent en cause le fait que les mammifères marins ont perdu le goût ou la vision des couleurs uniquement d'après un dysfonctionnement des gènes. Pour notre projet et à notre niveau, on ne peut tirer des enseignements clairs pour les sens des odontocètes. Des contacts ont donc été pris avec des chercheurs ou des associations, et une liste des organismes pouvant être intéressants pour notre sujet a été établie.

3 Contact des delphinariums et des associations

Pour répondre à nos questions sur la vision, le goût et le toucher des odontocètes, nous avons contacté plusieurs chercheurs et associations (annexe3).

Nous avons reçu des réponses de la plupart des gens que nous avons contacté. Des chercheurs disent qu'ils ne sont pas dans les mesures de données des informations sur la sensibilité des odontocètes, car ils n'ont pas les connaissances nécessaires pour nous aider. Cependant ils nous ont mis en contact avec d'autres chercheurs, comme le Dr Bertrand Bouchard, qui nous a donné quelques composés répulsifs, (ex. capsaïcine, camphre, piperine, etc) mais cela reste à confirmer par des tests comportementaux.

On a reçu une réponse positive de la part du Marineland, qui accepterait de réaliser des tests psychologiques (goût, vision, toucher) avec les dauphins et les orques. L'organisme serait aussi prêt à mettre en place avec MARBEC des protocoles d'essais, ce qui serait très certainement positif pour la suite du projet PARADEP ou d'autres projets.

4 Conclusion

La plupart des réponses étaient insuffisantes pour nous, car d'une part, les spécialistes ne savent pas encore évaluer avec certitude les capacités des odontocètes à percevoir les goûts, et d'autre part, ce domaine est très sensible et qui demande des expériences et des recherches poussées qui demandent des années de recherche. Cette piste est donc maintenant mise de côté. Nous envisageons de poursuivre la seconde piste sur les dissuasifs tactiles et plus précisément les dissuasifs électriques.

IV. Chapitre 5 - Les pistes pour des dissuasions électriques

1 Introduction

Les décharges électriques sont rarement utilisées dans le milieu marin, vu que c'est un milieu très sensible. Donc, pour avoir des informations sur les caractéristiques du champ électrique et la réaction des animaux face à l'électricité, nous avons commencé nos recherches par le milieu terrestre.

2 Electricité en milieu terrestre

2.1 Les courants électriques et les animaux

L'électricité est largement employée en milieu terrestre, car c'est un milieu accessible et qui souffre aussi du phénomène de la déprédation (par exemple, déprédation de troupeaux de moutons par les loups). Plusieurs techniques ont été utilisées pour la protection des animaux (bovins, porcs, moutons etc.) par des clôtures électriques. Mais avant d'utiliser ces clôtures, plusieurs tests ont été faits pour analyser les seuils de sensibilité et le comportement de ces animaux face aux courants électriques. Des expériences ont révélé que les animaux sont sensibles au courant et non à la tension elle-même et que la résistance électrique joue un rôle important dans l'effet des tensions électriques sur les animaux d'élevage (Rigalma, et al., 2009).

La tension et l'intensité sont liées l'une à l'autre par l'intermédiaire de la résistance électrique des tissus organiques. Or il apparaît que cette résistance électrique présente une très forte variabilité en fonction de :

- L'espèce : les oiseaux, du fait de leurs pattes et bec isolants, ont des résistances corporelles beaucoup plus élevées que celles des mammifères terrestres.
- L'âge : la résistance tissulaire augmente avec l'âge de l'animal. Car la résistance de la peau augmente en fonction de l'âge, et plus la peau est résistante plus la conductivité diminue.
- Le poids : en protection terrestre, le courant provenant de la batterie et du fil électrique transite à travers l'animal de la tête vers les pattes, pour retourner à la batterie via le sol. Ainsi, plus l'animal est lourd, et plus le contact « patte / sol » devient « parfait », et plus la résistance diminue. Cela peut-il expliquer le classement présenté (bovin moins résistant que le porc, lui-même moins résistant que l'ovin) (Figure 39)
- L'humidité : plus le milieu est sec et moins il conduit facilement l'électricité (et donc plus la résistance augmente).

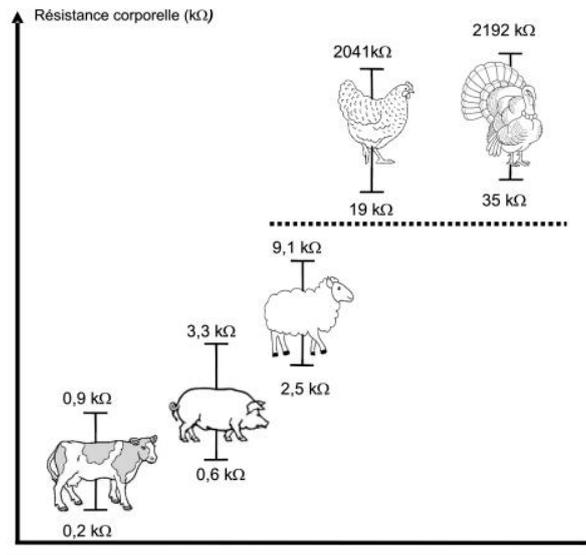


Figure 39 : Résistances corporelles (en kΩ) des espèces animales de rente mesurées entre le mufler ou le bec et les membres au moyen d'électrodes (bovins) ou en conditions d'élevage (porcins, ovins, poules et dindes) (1 kΩ = 1000 Ω) (Rigalma, et al., 2009)

La perception de l'animal dépend de l'intensité du courant qui le traverse. Trois niveaux peuvent être définis (Figure 40) :

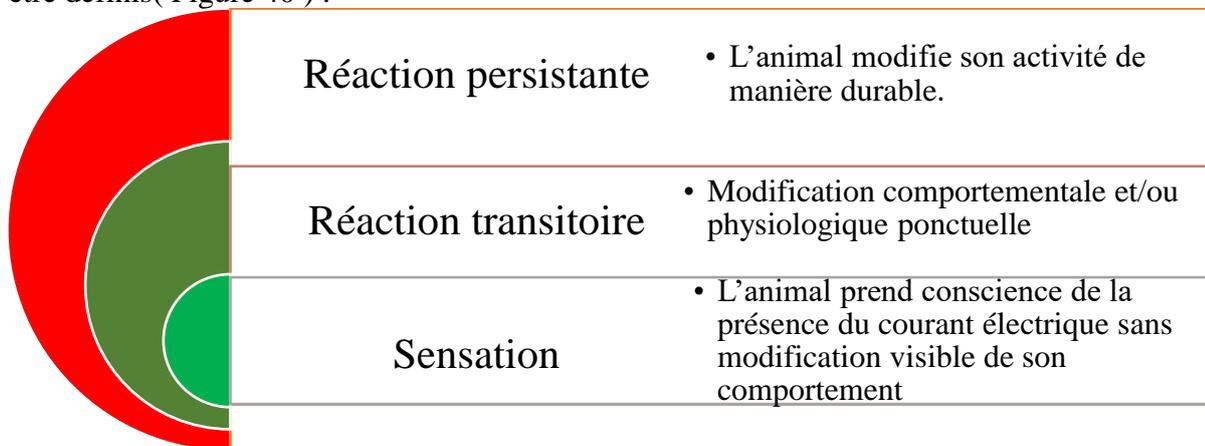


Figure 40 : Les seuils de réponses aux courants électriques traversant les animaux

Pour notre application, la réaction transitoire correspondrait à l'arrêt de la déprédation au moment où la décharge électrique est perçue, tandis que la réaction persistante serait reliée à la mémoire long terme des odontocètes qui ne tenteraient plus de déprédater les lignes de pêche à cause des sensations désagréables ressenties au moment de la déprédation.

2.2 Les courants électriques et l'homme

Pour avoir des informations sur le niveau de courant électrique qui pourrait dissuader les odontocètes, nous avons également fait des recherches sur les niveaux de sensibilité de l'être humain. En effet, il est plus sensible aux décharges électriques et des informations plus précises peuvent être obtenues plus facilement à son niveau.

La résistance électrique du corps humain varie de 1000 à 5000 ohms en conditions sèches et de 650 à 1000 ohms en conditions humides (Rigalma, et al., 2009). De plus, l'intensité du courant est perçue dès 0,5 mA mais reste sans effet physiologique notable jusqu'à 10 mA (niveau de la sensation). A l'inverse, une exposition prolongée à des intensités supérieures peut entraîner la mort, et ce d'autant plus vite que l'intensité est élevée. Ces valeurs moyennes cachent cependant une variabilité individuelle de réponse très importante, chez l'homme comme chez l'animal (Figure 41)



Figure 41 : Les seuils de réponse au courant électrique chez l'homme

Pour notre projet, la question serait maintenant de savoir quels sont ces seuils pour les odontocètes, d'autant plus que ces derniers évoluent dans le milieu aquatique qui se caractérise par une forte conductivité électrique et une grande variété d'espèces.

3 Electricité en milieu aquatique

Un courant électrique peut donner naissance à des influx nerveux ou musculaires. Lorsqu'un poisson est placé dans un champ électrique, une différence de potentiel est appliquée à chacune de ses parties constitutives, notamment à ses fibres nerveuses ou musculaires. Le système nerveux d'un poisson se compose de :

- Un système nerveux central (le cerveau)
- Une voie sensitive (qui permet au poisson d'avoir des sensations)
- Une voie motrice (qui commande au poisson de bouger en fonction de ce qu'il ressent par la voie sensitive). Or, les messages nerveux qui transitent dans ce système nerveux sont des flux électriques qui sont modifiables par la pêche électrique.

La réaction des poissons devant un champ électrique dépend de plusieurs critères (Bonhoure, 2006) :

- La distance à laquelle le poisson se trouve par rapport à l'anode
- La position du poisson par rapport à l'anode, l'efficacité est plus grande si le poisson à la tête orientée vers l'anode.
- La taille du poisson : plus le poisson est long, plus les fibres nerveuses sont longues et susceptibles de réagir.
- L'espèce, selon la forme du poisson (allongée ou ronde), la répartition des volumes (tête allongée ou plate), son habitat (benthique ou pélagique), ses réactions à l'électricité seront différentes.
- La conductivité de l'eau (la conductivité de l'eau de mer est environ de 50 mS/cm (50'000 μ S/cm))

En plus de ces critères, un contact direct avec les électrodes dans l'eau est potentiellement mortel pour les mammifères de toutes tailles. En effet, lorsqu'un animal établit un contact physique avec une électrode métallique, il devient directement « branché » et « connecté à la source d'alimentation » (Thomas, et al., 2019).

Des tests ont été faits sur un dauphin de Guyane élevé au Delphinarium de Münster en Allemagne dans le but d'évaluer les seuils de détection de cette espèce pour les stimuli à ondes carrées courtes afin de voir s'il réagissait à un signal électrique faible (Czech-Damal, et al., 2011). Les tests ont révélé que le seuil de détection absolu du dauphin aux signaux électriques est défini à ($4,6 \mu\text{V cm}^{-1}$), et que le dauphin de Guyane et les ornithorynques présentent une sensibilité inférieure à celle des poissons élastomobranques (requins, raies), chez qui les seuils sensoriels se situent dans la plage des nanovolts.

Par ailleurs, des chercheurs ont découvert que la peau des globicéphales (*Globicephala melas*) présente une sorte de bio-gel intégré dans les cellules épidermiques (Baum, 2001). Ce bio-gel est riche en glycoprotéines et pourrait donc fonctionner comme un gel électriquement conducteur qui améliore la sensibilité du système aux gradients de tension. Les globicéphales pourraient donc ressentir un champ électrique très faible (un gradient de tension de surface de $0,6 \text{ V / cm}$, une largeur d'impulsion $0,4 \text{ ms}$ et une fréquence d'impulsion de 2 Hz). Des expériences avec des harpons électriques qui envoient 220 V et 50 Hz dans les années 1930 sur le rorqual bleu, ont par exemple montré la mort rapide de ce dernier.

En outre, la peau des cétacés est moins kératinisée, glabre et ne possède pas d'écailles. Tous ces facteurs augmentent potentiellement la conductance électrique en comparaison avec d'autres mammifères. En effet, les poissons à écailles fines ou sans écailles, y compris les gros poissons-

chats, sont moins résistants aux courants électriques que les poissons à écailles épaisses (Thomas, et al., 2019).

Pour avoir des informations et quantifier les besoins électriques de notre dispositif, nous avons donc étudié la richesse de la nature et ce que l'être humain a produit pour lutter contre ce phénomène de prédation.

4 Les poissons électriques

Dans le milieu aquatique, des animaux utilisent l'électricité pour chasser ou se défendre. C'est par exemple le cas de la raie torpille (Figure 42). Cette espèce évolue en milieu marin (tandis que les quelques autres exemples naturels que nous avons identifiés sont des espèces d'eau douce). La raie torpille utilise généralement des différences de potentiel de quelques dizaines de volts (exceptionnellement jusqu'à 220 V environ). Elle émet un courant continu, une énergie émise d'environ 1,5 J par impulsion (8 A sous 19 V pendant 10 ms). La raie peut ensuite avoir besoin de trois jours pour régénérer ses réserves électriques lorsque ses batteries ont été complètement vidées. Cependant les raies torpilles ne semblent pas avoir de prédateurs ce qui tendrait à prouver que leurs performances électriques leur permettent de se protéger de manière efficace vis-à-vis de leurs prédateurs potentiels. De plus, une fois la décharge réalisée, la raie torpille n'a plus l'occasion d'en réaliser une nouvelle avant que ses organes électriques soient rechargés : cela semblerait prouver qu'une seule décharge serait suffisante pour éloigner définitivement un prédateur potentiel.

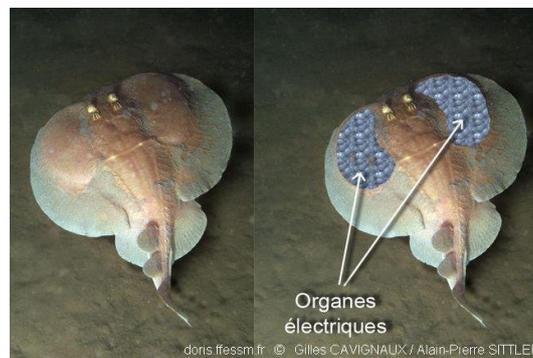


Figure 42 : Les organes électriques d'une raie torpille

Les données sur l'utilisation de l'électricité en milieu immergé sont beaucoup plus parcellaires. La plupart concernent d'ailleurs la pêche électrique. L'objectif de notre étude est de réaliser une protection « psychologique », mais sans infliger de dommage aux déprédateurs. Donc les paramètres utilisés pour la pêche électrique peuvent nous donner des indications sur les valeurs des tensions et intensités à appliquer.

5 La pêche électrique

La pêche électrique représente l'une des applications de l'électricité en milieu marin. Bien que les objectifs soient différents (électrocuter des poissons pour la pêche, créer une dissuasion psychologique dans notre cas), les paramètres utilisés pour la pêche électrique peuvent nous donner des indications sur les valeurs des tensions et intensités à appliquer.

La pêche électrique est utilisée dans 2 contextes différents :

- Technique d'échantillonnage d'organismes essentiellement dulcicoles
- Utilisation d'un champ électrique qui cause une réaction neuromusculaire aux poissons dans le but de les capturer

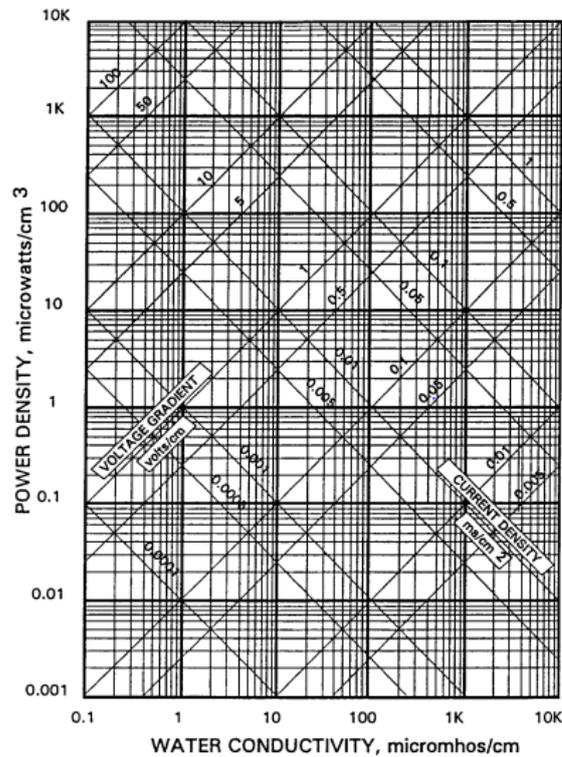
Durant la pêche électrique, le champ électrique utilisé doit avoir une valeur suffisamment élevée pour pouvoir prendre le contrôle du système nerveux du poisson (une fréquence allant de 5 à 200 Hz, un courant électrique compris entre 150 et 200 V m⁻¹, une décharge électrique de 0.25 et 1 ms, et une exposition totale à la stimulation allant de 1 à 5 s) (Vogel, 2016) : les mouvements musculaires du poisson sont alors commandés par ce champ électrique plutôt que par les influx nerveux provenant de son cerveau.

Une différence majeure entre la pêche électrique et notre application est que dans notre cas, on ne souhaite pas plonger le corps complet de l'odontocète dans un champ électrique, mais juste créer une sensation d'inconfort temporaire et localisée. Cette localisation de l'action électrique sur une partie seulement du corps de l'odontocète permettrait peut-être de diminuer les besoins électriques (valeurs du champ et de l'intensité du courant) dans des proportions significatives. Les connaissances que nous avons tirées du principe de la pêche électrique nous permettent ainsi d'avoir un ordre d'idée sur les échelles de valeur de tensions/intensités à appliquer pour éloigner les mammifères marins sans les blesser.

6 Protection par clôtures électriques dans le milieu marin

Plusieurs clôtures électriques ont été utilisées dans le milieu marin pour dissuader des poissons, des mammifères marins et des oiseaux d'approcher des élevages piscicoles.

Des dispositifs d'électrochocs non létaux ont été développés par le Denver Wildlife Research Center (DWRC) pour repousser les mammifères aquatiques comme le castor, mais aussi les oiseaux (Kolz, et al., 1995). Une batterie rechargeable de 12 V a été utilisée (plomb d'une capacité de 12,5 Ah assurant 80 cycles d'électrochoc en charge complète). Cette batterie alimente un onduleur de 120 V AC contrôlé par une combinaison de circuits manuels, infrarouges, optiques et de synchronisation. Pour le choix de l'intensité du champ électrique, il existe une relation entre l'intensité du choc électrique et la magnitude de la puissance électrique transférée de l'eau vers le poisson. En appliquant ce modèle électrique et en mesurant la conductivité électrique de l'eau, il devrait être possible de prévoir le niveau de densité de puissance électrique requis dans l'eau pour déclencher une réponse d'électrochoc particulière (Figure 43).



. Relation of power density, water conductivity, voltage gradient, and current density (mA = milliampere; k = 1,000).

Figure 43: : la relation entre l'intensité du choc électrique, la magnitude de la puissance électrique, la conductivité de l'eau et la densité de puissance électrique (Kolz, et al., 1995)

Les résultats de ces expériences ont été positifs : le castor s'est échappé du courant, tandis que les canards et les oiseaux réagissaient généralement à l'électrochoc avec beaucoup de bruit et un vol immédiat.

Une autre expérience a été faite sur les otaries dans le but d'évaluer leurs réactions face à un champ électrique sous-marin utilisant des gradients de tension extrêmement faibles (0,14 ou 0,27 v / cm DC), une fréquence d'impulsion fixe de 2 Hz (une impulsion par demi-seconde) et largeurs d'impulsion variables à partir de 80 μ s à 5 ms, avec des manipulations de largeur d'impulsion utilisées pour intensifier le champ. (Simpson, et al., 2010), (Tableau 1).

Le gradient de tension qui a dissuadé les otaries avec ou sans nourriture était de 0,6 V / cm.

Animal	Name	Sex (Age)	Length (cm)	Weight (kg)	Comment	DC Pulse Width (μ s) Causing:		
						Detection	Strong Deterrence	Food Deterrence
1	Beaver	Male (29)	206.6	158	Blind	110-170	320	NA
2	Ariel	Female (6)	165.5	80		80	80	160
3	Nemo	Male (10)	207.0	132	Neutered	80	80	160
4	Jonah	Male (10)	200.8	126		80	110	440

Tableau 1: les résultats du test sur les otaries (Simpson, et al., 2010)

Les effets d'un réseau électrique de très faible intensité ont aussi été documenté dans cet article (un gradient de tension de surface de 0,6 V / cm, une largeur d'impulsion 0,4 ms et une fréquence d'impulsion de 2 Hz). Ce réseau électrique a été conçu pour dissuader les mammifères marins (les pinnipèdes) de prédater d'autres types de poissons. Le système est conçu par la société Smith-Root (Simpson, et al., 2010). Ce test a été appliqué sur d'autres types de poissons, la truite arc-en-ciel, les lamproies du Pacifique, avec un voltage électrique différent à chaque application, afin de déterminer le seuil de réponse de ces poissons (Tableau 2).

Treatment number	Voltage gradient (V/cm)	Pulse width (ms)	Pulse frequency (Hz)
1	0.6	0.4	2
2	0.8	0.4	2
3	1.0	0.4	2
4	1.2	0.4	2
5	0.6	1.9	2
6	0.6	3.4	2
7	0.6	5.0	2
8 (control)	0	0	0

Tableau 2: Les traitements auxquels les poissons étaient exposés (Simpson, et al., 2010)

Les résultats ne suggèrent aucun effet sur les poissons au niveau (0,6 V / cm), là où la dissuasion des otaries a été observée, la truite arc-en-ciel a commencé à être affectée à partir de 0,8 V / cm. Les

lamproies du Pacifique n'étaient pas affectées jusqu'à ce que les gradients de tension atteignent une augmentation d'environ trois fois l'intensité (1,8 V / cm).

Dans le cas d'un autre projet de recherche, Exxon Mobil, une grande société pétrolière mondiale, a suggéré que le bruit de la construction pourrait endommager l'ouïe des lions de mer de Californie. Smith-Root a été mandatée afin de contribuer à la prévention des blessures causées aux lions de mer en utilisant une technologie de dissuasion électrique normalement mise en œuvre pour dissuader les otaries (Kent, 2014). Le système applique une impulsion de courant continu (DC) à très basse tension à un réseau temporaire amovible avec des électrodes espacées d'environ 10 cm.

Deux types de tapis de base ont été développés : une base en polyéthylène rigide (PE) fixée sur des surfaces planes et une base flexible en polychlorure de vinyle (PVC) pouvant être fixée à des surfaces incurvées (Figure 44)). Les tapis sont connectés à des boîtiers de commande générateurs d'impulsions qui tirent leur énergie d'une batterie à pile profonde chargée par des panneaux solaires.



Figure 44 : Matériels de dissuasion électrique pour les otaries

Le système a été testé, puis utilisé pendant la période de construction, de juillet à octobre 2014. Il a été efficace à 100% pour dissuader les otaries d'approcher des plateformes.

7 Conclusion

Les mammifères marins sont sans poils et mal kératinisés et possèdent une sensibilité aux impacts respiratoires et cardiaques des courants électriques. Ils peuvent donc détecter et éviter des courants

électriques de faible niveau, tels que ceux qui dissuadent les pinnipèdes et les autres mammifères aquatiques d'approcher des activités anthropiques.

Pour faire des expériences de dissuasion électrique sur les mammifères marins, il faut commencer par des niveaux de courant inférieurs ou similaires à celui utilisé pour dissuader les pinnipèdes (un gradient de tension de surface de 0,6V/cm, une largeur d'impulsion 0,4 ms et une fréquence d'impulsion de 2 Hz) en utilisant un courant électrique continu. En outre, il faut protéger les électrodes par des boîtes afin d'éviter tout contact direct avec les mammifères marins, car quel que soit leur taille, un contact direct avec les électrodes dans l'eau est potentiellement mortel.

D'après les articles et l'ensemble des informations que nous avons pu avoir à notre disposition, on a maintenant une première idée sur l'intensité non létale du champ électrique qui pourrait dissuader les odontocètes de déprédater. Nous avons proposé une grille d'évaluation pour la dissuasion électrique qui pourrait servir pendant les tests d'un dispositif qui combine une protection physique moyenne et une dissuasion électrique (Tableau en annexe).

Compte tenu de ces informations, une dissuasion électrique nous semble constituer une piste intéressante pour empêcher les odontocètes de déprédater. Mais pour installer un système électrique dans un milieu marin avec une conductivité importante, il faut penser à plusieurs points : la production et la source de cette électricité, les moyens de stockage et de recharge...

VI. Chapitre 6 - Les pistes pour la production électrique

1 Introduction

Pour construire un dispositif qui envoie des décharges électriques, nous avons besoin de produire cette électricité. Nous avons pour cela deux possibilités : stocker de l'électricité avant chaque utilisation des systèmes ou produire l'électricité dont nous avons besoin sur place.

2 Le stockage électrique

2.1 Les différents types de batteries

Dans le cas du stockage de l'énergie électrique avant utilisation du système, cela peut être réalisé au moyen de batteries. Les batteries peuvent schématiquement se répartir en deux grandes familles : les batteries traditionnelles et les batteries nouvelles générations (annexe).

Globalement, les batteries traditionnelles présentent les caractéristiques suivantes :

- Avantages : Tension et/ou intensité « élevées », coût raisonnable
- Inconvénients : Encombrement et masse importants, utilisation de produits dangereux et/ou polluants

A l'inverse, les batteries nouvelles générations ont des caractéristiques très différentes :

- 1) Avantages : Tension et/ou intensité « modérées » (quelques volts), encombrement et masse faibles, a priori beaucoup moins polluantes
- 2) Inconvénients : Coût important

2.2 Utilisations dans le cadre de notre étude

Les batteries traditionnelles peuvent être utilisées comme une source d'énergie centralisée sur le bateau, car elles sont polluantes et encombrantes. Mais pour ce type d'utilisation il est nécessaire d'apporter des modifications importantes sur les engins de pêches en ajoutant des fils électriques sur la ligne, une bonne isolation pour assurer la sécurité des pêcheurs...

Une autre solution de stockage serait d'avoir un stockage électrique au plus proche de la protection physique : par exemple, sur chaque avançon, en utilisant les batteries nouvelle génération qui se caractérisent par une petite taille et qui sont moins polluantes.

2.3 Synthèse

La taille et la masse des batteries traditionnelles, ainsi que l'emploi de produits dangereux, font que leur utilisation ne peut être envisagée que sous forme centralisée (stockage sur le bateau de pêche, éventuellement dans les bouées de la palangre), et en aucun cas en immersion. Il ne semble donc pas envisageable d'équiper chaque avançon de batteries de ce type. Or l'objectif serait bien d'avoir un stockage électrique au plus proche de la protection physique afin d'éviter de devoir modifier le système de pêche, comme par exemple en rendant les lignes conductrices, etc.

Seules les batteries lithium pourraient donc convenir, d'autant plus que de telles batteries équipent déjà des systèmes embarqués fonctionnant dans l'eau (par exemple des caméras GoPro étanches, des drones aquatiques, etc.).

Le choix d'une batterie légère avec un prix raisonnable et qui doit répondre à nos besoins électriques (une tension de 60V à 100V, une puissance de 150 W à 1000 W et une intensité inférieure à 8A) semble difficile, car la plupart sont des batteries lourdes, bien que de petite taille, et avec un prix moyen à élevé.

Par exemple la batterie Greenworks 60 volts de type G60B4 4.0 Ah (FIXAMI.FR) est une batterie au lithium-ion de 4,0 Ah (216 Wh). La batterie a une durée de vie 3 fois supérieure à celle des batteries NICAD, un temps de charge de 120 minutes, aucun effet de mémoire, fournit une puissance constante et est rechargeable jusqu'à 2000 fois (Figure 45).

- Tension : 60V
- Capacité : 4Ah
- Temps de charge : 120min
- Type de cellule : Li-ion



- Poids : 1 ,92kg
- Prix : 125 euros

Figure 45 : Batterie Greenworks 60 volts de type G60B4 4.0 Ah (FIXAMI.FR)

Dans tous les cas, une batterie permet de stocker de l'énergie électrique, mais pas de la produire. La question est maintenant de savoir d'où provient l'électricité qui sera stockée dans cette batterie. La solution la plus simple serait de la charger sur le bateau avant sa mise à l'eau avec le système de protection physique. Dans cette configuration, on peut envisager de recharger toutes les batteries en même temps entre deux mises à l'eau de la palangre. Cela nécessite cependant du temps (il faut brancher chaque batterie individuellement sur le chargeur du bateau, puis la replacer sur le système de protection physique), de l'espace (toutes les batteries se rechargeant en même temps) et de la puissance électrique.

Une autre approche serait de produire l'électricité dont on a besoin directement au niveau de chaque avançon, au moment de la pêche. La partie suivante présente des moyens de produire de l'électricité localement.

3 Les propositions pour une génération de l'énergie sur place

Pour avoir de l'énergie électrique, il faut pouvoir la produire à partir d'une autre source d'énergie. Dans le contexte de la pêche palangrière, la seule énergie suffisamment importante pour être exploitée semble être celle du poisson se débattant au bout de la ligne pour se libérer. La question est maintenant de savoir comment transformer cet effort ou ce mouvement provenant du poisson en électricité. Il existe plusieurs manières pour transformer cet effort provenant du poisson en électricité : la transformation électromagnétique, électromécanique et piézoélectrique.

3.1 La conversion électromagnétique

La première solution pour produire de l'électricité à partir des mouvements du poisson est la transformation électromagnétique en utilisant la dynamo. L'idée est de déplacer un aimant permanent dans un mouvement de translation ou à proximité de plusieurs bobines (mouvement de rotation, comme dans le cas des moteurs électriques) : le champ magnétique mobile crée un courant électrique dans la bobine, courant que l'on peut alors stocker dans une batterie.

C'est une énergie renouvelable, propre, qui peut être de petite taille avec un prix abordable. Il serait vraisemblablement fragile, du fait de la nécessité d'avoir des pièces en mouvement les unes par rapport aux autres. De plus, l'énergie produite reste assez faible. Mais la principale difficulté reste l'obtention du mouvement de translation ou de rotation (continu ou alternatif) à partir de l'effort appliqué par le poisson.

3.2 La conversion mécanique

Une solution pourrait être d'utiliser les mouvements erratiques du poisson pour stocker de l'énergie mécanique dans un ressort (principe des montres automatiques). Cette énergie est ensuite restituée progressivement dans un mouvement de balancier bien cadencé. Si on imagine ensuite ce balancier équipé d'un aimant se déplaçant dans un solénoïde, on obtiendrait alors une production d'électricité à peu près continue, à partir du moment où le poisson bouge régulièrement.

Le principal inconvénient serait donc la nécessité d'avoir des pièces mobiles qui fragilise le système. De plus, l'énergie produite reste assez faible.

3.3 La conversion piézoélectrique

La dernière idée serait d'utiliser l'effet piézoélectrique. Certains cristaux présentent en effet la particularité de se déformer lorsqu'on leur applique une différence de potentiel : il s'agit de l'effet piézoélectrique inverse (Figure 46). A l'inverse, on peut aussi créer une différence de potentiel lorsqu'on leur applique un effort effet direct (Figure 47). C'est ce second effet qui nous intéresserait le plus. Le poisson applique une force sur le cristal piézoélectrique, qui va créer par la suite un courant électrique que l'on pourrait stocker dans une batterie.

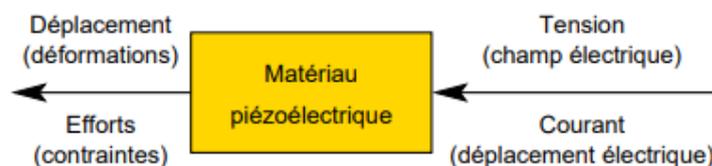


Figure 46 : Effet piézoélectrique inverse



Figure 47 : Effet piézoélectrique direct.

a) Les matériaux piézoélectriques

On trouve cet effet piézoélectrique dans certains matériaux (cristaux, céramiques, polymères ou composites).

- Cristaux (quartz, etc.) : utilisés dans les montres par exemple, ils permettent d'obtenir les fréquences d'horloge (cadencement électronique).

- Céramiques (PZT, etc.) : elles peuvent elles-mêmes se subdiviser en deux sous-familles (NOUIRA , 2008). Les céramiques douces qui sont utilisées dans des applications de bas niveau d'excitation, notamment comme détecteurs (sondes médicales, hydrophones,) : elles se dépolarisent facilement et manifestent des pertes importantes. Les céramiques dures qui présentent de faibles pertes mécaniques et diélectriques. Elles sont utilisées dans les applications de puissance (transducteurs, piézomoteurs, etc.). Elles sont capables de convertir près de 80% de l'énergie mécanique en énergie électrique.
- Polymères (PVDF, etc.) : Ces matériaux sont utilisés pour réaliser des capteurs ou des actionneurs. Ils présentent cependant des lois de comportement mécanique plus souples que celles des céramiques.
- 4) Piézocomposites (Macro Fiber, etc.) : principalement utilisés dans l'imagerie médicale et les applications sonars, ils sont encore peu répandus.

Le choix du matériau se base sur les paramètres suivants :

- Le couplage électromécanique k , qui traduit l'efficacité du matériau à convertir l'énergie mécanique en énergie électrique.
- La raideur des matériaux piézoélectriques ou le module d'Young. Un matériau piézoélectrique à faible raideur aide à obtenir de basses fréquences de résonances.
- Le facteur de qualité Q_m : Il est important de choisir le matériau avec le meilleur facteur de qualité pour minimiser les pertes mécaniques dans la structure
- Les pertes diélectriques ($\tan(\delta)$) : Facteur de dissipation diélectrique (comme étant l'angle complémentaire du déphasage entre la tension U , entre les conducteurs et le courant de fuite I traversant l'isolant)
- La plage de variation de température ($-20 < T$)

Matériau	ϵ^t	d_{33} (10^{-12} m/V)	d_{31} (10^{-12} m/V)	k_{33}	k_{31}	$\tan(\delta)$ (%)	Q_m	Y_{31} (GPa)	Y_{33} (GPa)	λ_p
Quartz	4.5	2.31	0.727	-	-	-	10^4 - 10^6	-	-	-
Soft PZT	4100	620	-260	0.73	0.36	2.7	72	51	59	6.1
Hard PZT	1350	300	-109	0.68	0.33	0.35	1400	63	76	25
PMN-PT	4200	2000	-930	0.9	0.72	0.4	33	124	108	514
PZN-PT	7256	2721	-1425	0.94	0.85	0.4	33	157.3	99	700
AlN	10	6.8	2.625	0.31		0.1	-	-	-	6.9
ZnO	11	12.3	5.1	0.46	0.18	-	-	-	-	-
PVDF	13	9	1	0.18	0.2	-	20	-	-	-

Tableau 3 : Propriété des matériaux piézoélectrique (Maher)

D'après les données précédentes, il semblerait donc que ce soit les céramiques qui seraient les plus adaptées pour notre projet. Les polymères pourraient aussi s'avérer intéressants, mais leur niveau de performance est a priori moindre que celui des céramiques : pour des caractéristiques identiques, un dispositif basé sur les polymères serait donc plus gros qu'un dispositif basé sur les céramiques (Tableau 3).

La question suivante concerne la quantité d'énergie qu'il est possible de générer via ces matériaux piézoélectriques.

b) Les applications des matériaux piézoélectriques

De nombreux dispositifs fonctionnent déjà grâce à la piézoélectricité. La première catégorie se sert directement de l'électricité produite sans avoir besoin de la stocker. C'est le cas par exemple des briquets qui génèrent une tension électrique qui se décharge brutalement sous forme d'étincelles, de certains capteurs (de pression ou d'accélération), de certains types de télécommandes. La seconde catégorie inclut une batterie supplémentaire, ce qui permet ensuite d'utiliser l'électricité produite en cas de besoin.

Les applications concernent des systèmes de vastes dimensions (parkings, routes) tout comme des systèmes de taille « humaine » (chaussures, t-shirts).

L'application « t-shirt » (Ridden, 2011), est particulièrement intéressante dans le sens où un téléphone portable peut être rechargé en 2 h à partir d'ondes acoustiques dans l'air (certes à 80 dB) : l'eau ayant une masse volumique beaucoup plus importante que l'air, on peut imaginer que des mouvements dans l'eau pourrait produire plus d'énergie...

Une autre application concerne une basket pourvue de deux patchs piézoélectriques dans sa semelle (Barth, *et al.*, 2014) : un patch souple implanté au niveau de la voûte plantaire (il est par conséquent fortement sollicité en flexion) et un patch rigide placé sous le talon (donc sollicité en compression). Les puissances générées sont alors de l'ordre du mW (entre 1 et 15 environ). La céramique permet d'obtenir la puissance la plus élevée, comme cela a déjà été constaté auparavant, confirmant le choix de ce matériau piézoélectrique pour ce projet.

Une route équipée de matériaux piézoélectriques (Barth, *et al.*, 2014) : avec un trafic dense (mais encore fluide), il est possible de produire environ 500 kWh d'énergie par jour et par kilomètre de chaussée équipée. Cette énergie importante fait cependant intervenir des moyens démesurés vis-à-vis de notre étude (600 véhicules / heure, etc.)

Dans le même ordre d'idée, des essais ont été réalisés en prévision de l'installation de cellules piézoélectriques dans un hall de gare (Doyle, 2012). Il a été montré qu'un effort de 800 N, durant le temps de la marche sur les dalles piézoélectriques, permettait de générer une énergie d'environ 5 J (soit approximativement 1,4 mWh). Cette valeur est tout à fait comparable à celle donnée dans l'exemple précédent.

Dans notre projet, nous n'avons pas d'information sur l'effort exercé sur la ligne, lorsqu'un poisson a mordu ou lorsqu'un odontocète tente de déprédaté, car l'intensité de ces efforts conditionne en

effet la taille de la protection physique à développer, ainsi que la quantité d'énergie qu'il est possible d'espérer récupérer via les matériaux piézoélectriques.

Il existe des capteurs utilisés pour connaître les efforts de traction dans des câbles sous-marins. A priori, le plus petit de ces capteurs (3 à 4 kg) devrait être suffisant pour équiper une ligne : il pourrait alors être intéressant de réaliser des expériences en situation réelle afin d'obtenir les efforts moyens générés par les prises lorsqu'elles cherchent à se libérer.

4 Conclusion

La solution piézoélectrique est la plus prometteuse car c'est une énergie renouvelable, propre et qui peut être stockée dans des unités de petite taille. De plus, tous les composants du système restent immobiles, ce qui n'est pas le cas pour la conversion mécanique et magnétique qui nécessitent des pièces mobiles et qui fournissent une énergie assez faible. Le principal inconvénient du cristal piézoélectrique est qu'il a tendance à perdre sa polarisation au fur et à mesure que la force est appliquée. Cependant, d'après les données à disposition, le poisson semble solliciter la ligne avec un effort variant beaucoup au cours du temps, ce qui devrait être suffisant pour assurer une production électrique continue. Le prix des matériaux piézoélectriques sera peut-être aussi un frein à leur emploi dans notre projet. A l'heure actuelle ils demeurent assez chers, mais tout dépendra de ce qui sera considéré comme étant un prix raisonnable.

VII. Chapitre 7 - Conclusion et perspectives

1 Conclusion

Un stage est très important dans la construction d'une expérience professionnelle. En effet, les mois passés au laboratoire m'ont permis de découvrir la vie professionnelle. En outre j'ai pu acquérir d'importantes informations concernant la vie professionnelle, l'organisation fonctionnelle, la pression du travail etc. J'ai également compris l'intérêt d'une bonne communication et d'une bonne gestion du temps pour mener à bien un projet. Du point de vue humain, j'ai été satisfaite par l'accueil au laboratoire. En effet, les encadrants m'ont témoigné une disponibilité et une prise en charge qui m'ont ainsi permis de me mettre dans un bon environnement de travail. De ce fait j'ai pu attaquer le projet dans les conditions les plus adéquates possibles. Cette disponibilité m'a permis aussi d'avoir le plus rapidement possible l'ensemble des informations dont j'ai besoin pour mon travail et essayer ainsi de répondre aux exigences des missions qui me sont fixées.

Pendant mon stage de fin d'étude, j'ai appris beaucoup de choses qui n'étaient pas en totale adéquation avec la formation que j'ai suivie à l'université. Les apports que j'ai tirés de cette expérience professionnelle s'articulent sous deux parties principales : les compétences acquises et les difficultés rencontrées.

1.1 Les compétences acquises

Durant ma formation à l'université Paris Nanterre, j'ai pu acquérir un ensemble de savoirs, de connaissances dans le domaine industriel et plus précisément dans la mécanique des structures composites, aéronautique et éco-conception.

Cette expérience professionnelle a été l'occasion de découvrir de nouvelles connaissances et de découvrir un nouveau domaine, le domaine marin. En effet j'ai pu développer les compétences allant dans le sens de l'étude, de la recherche bibliographique, ainsi que l'imagination et la conception des systèmes mécaniques pour lutter contre le phénomène de la déprédation. J'ai pu aussi développer la compétence d'analyse et de synthèse, pour ensuite trouver des fonctionnalités répondant au mieux aux besoins du laboratoire. Donc j'ai pu développer d'avantage mon savoir-faire en analyse et conception.

En outre, j'ai eu l'occasion de travailler sur un projet concret pour le développement d'un dispositif pouvant faire l'objet d'une commercialisation. J'ai également participé à plusieurs réunions, réunissant les encadrants. Au cours de ces réunions, je présentais le travail, puis nous discutons de l'avancement et de l'évolution du projet. Ces réunions furent très enrichissantes car elles permettaient d'avoir un retour sur le travail effectué et la parole était ouverte : tout le monde pouvait échanger, communiquer, donner son avis et proposer ses idées.

1.1 Les difficultés rencontrées

Durant ce stage j'ai rencontré deux types de difficultés. Tout d'abord des difficultés d'ordres organisationnel et fonctionnel. Comme tout début, nous sommes souvent confrontés à des difficultés, surtout quand on travaille dans un nouveau domaine : il m'a fallu maîtriser un vocabulaire différent de ma formation à l'université. Les premiers moments d'étude et la compréhension n'étaient pas très évidents. Il fallait ainsi, mobiliser toute mes compétences en recherche pour bien comprendre l'environnement de travail et me familiariser avec les mots techniques, mais les encadrants n'aménageaient aucun effort pour nous comprendre et se faire comprendre. De ce fait on a surmonté les difficultés allant dans ce sens. Il est vrai que les difficultés d'ordre fonctionnel peuvent causer des difficultés d'ordre technique et vice-versa, parfois même des problèmes de communication et de compréhension, parfois la demande d'une information et sa réception n'est pas toujours fiable. Tant qu'on n'est pas sûr si cette information est fiable à 100%, cela causera une perte de temps.

2 Perspectives

Ce stage se termine par la réalisation de tous les objectifs qui ont été fixés, autrement dit : explorer toutes les pistes possibles dans le cadre de la conception d'un système anti-déprédation. Mais pendant le stage plusieurs points ont été modifiés, ce qui conduit à des révisions de certaines orientations. A ce stade et pour poursuivre le travail commencé, voici quelques idées pour poursuivre le développement d'un système de protection physique avec une dissuasion électrique et/ou chimique complémentaire.

- Ajouter une dissuasion chimique avec le goût en rajoutant un effet irritant en baignant le tissu utilisé pour la protection physique dans une solution chargée en Capsaïcine.
- Déterminer les efforts transitant dans la ligne lorsqu'un poisson a mordu ou lorsqu'un odontocète tente de déprédater est important pour le projet : l'intensité de ces efforts conditionne en effet la taille de la protection physique à développer, ainsi que la quantité d'énergie qu'il est possible d'espérer récupérer ou développer.
- Essayer d'obtenir des données concernant la force des mâchoires des odontocètes. Une manière de procéder serait d'avoir des retours de personnes travaillant sur des squelettes (ou des animaux échoués).
- Commencer à faire des essais en utilisant le niveau du champ électrique fixé pour dissuader les pinnipèdes (un gradient de tension de surface de 0,6V/cm, une largeur d'impulsion 0,4 ms et une fréquence d'impulsion de 2 Hz) en utilisant un courant électrique continu.

VIII. Références

- Forrest, K., D. Cave, J., Michielsens, C., Haulena, M., & Smith, D. (2009). Evaluation of an Electric Gradient to Deter Seal Predation on Salmon Caught in Gill-Net Test Fisheries. *29*(4), 885-894.
- Simpson, P., Zeligs, J., Mesa, M., Ostrand, K., & Holliman, F. (2010). *Innovative Technology for Marine Mammal Deterrence in the Columbia River Basin*. Consulté le 2019, sur <https://www.mediate.com/DSConsulting/docs/Smoth-Root%202010%20Report.pdf>
- Alexia, S. É. (s.d.). *sens*. Consulté le 04 2019, sur Le dauphin: <https://tpe-le-dauphin-sapin-mirandola.weebly.com/sens.html>
- Andrew, J. R. (2008). The Looming Crisis: Interactions between Marine Mammals and Fisheries. *Mammalogy*, *89*(3), 541–548.
- Bach, P., Rabearisoa, N., Cotel, P., & Lamoureux . (2011). *France Brevet n° 1161640*.
- Barth, V., Hetru, L., & Ravinel, B. (2014). *Récupération de l'énergie bio-mécanique par des systèmes piézoélectriques*. Bibliographie, ENSTA Paritech, Energies Renouvelables.
- Batteries Aero-hesbaye.be*. (s.d.). Consulté le Juin 2019, sur [aero-hesbaye.be](http://www.aero-hesbaye.be/index.html): <http://www.aero-hesbaye.be/index.html>
- Baum, C. (2001). A zymogel enhances the self-cleaning abilities of the skin of the pilot whale (*Globicephala melas*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, *130*(4), 835-47.
- BENJAMIN, M. (2004). *France Brevet n° 2877966*.
- Bertrand, B. (2017). *Capacités chimio-sensorielles des cétacés*. Montpellier: Université de Montpellier. Consulté le 05 2019
- Bonhoure, G. (2006). *MISSION SANTO*. Consulté le 2019, sur [acces.ens-lyon](http://acces.ens-lyon.fr/santo/donnees/fmr/rivieres/la-peche-electrique): <http://acces.ens-lyon.fr/santo/donnees/fmr/rivieres/la-peche-electrique>
- Bowmaker, J. (2008). Evolution of vertebrate visual pigments. *Vision Research*, *48*(20), 2022-2041.
- Brotos, J.M, Grau, A.M, Rendell, & L. (s.d.).
- Brotos, J.M, Grau, A.M, Rendell, & L. (2008). Estimating the impact of interactions between bottlenose dolphins and artisanal fisheries around the balearic Islands. *24*(112-127).
- C.A Moreno, P. C. (2008). Significant conservation benefits obtained from the use of A NEW FISHING GEAR IN THE CHILEAN PATAGONIAN TOOTHFISH FISHERY. *CCAMLR Science*, *15*, 79–91.
- Carzon , P., & Portal, A. (2011). Déprédation hauturière dans les eaux polynésiennes et systèmes de lutte potentiels. *Raiatea*, 98735, Polynésie. Consulté le 04 2019

- Chaput, J. (2014, Mai 20). *Baleines et dauphins n'ont plus goût à rien... sauf au sel*. Consulté le 05 2019, sur futura-sciences: <https://www.futura-sciences.com/planete/actualites/zoologie-baleines-dauphins-nont-plus-gout-rien-sauf-sel-53781/>
- Claire, M. (2016). *Etude du comportement d'un dispositif de lutte contre la déprédation des grands pélagiques capturés sur une palangre par des mammifères marins à dents*. Montpellier: Jean-Louis Etienne.
- Czech-Damal, & al. (2011). Electroreception in the Guiana dolphin . *The Royal Society* , 279.
- D.H.Levenson and A, D. (2003). Genetic evidence for the ancestral loss of short-wavelength-sensitive cone pigments in mysticete and odontocete cetaceans. *The royal society* , 270, 673-679.
- Damal, C., & al. (2011). Electroreception in the Guiana dolphin. *the Royal Society*, 279.
- Derek J. Hamer, S. J. (2012). Odontocete bycatch and depredation in longline fisheries: A review of available literature and of potential solutions. *MARINE MAMMAL SCIENCMARINE*, 28(4), E345–E374.
- Derek J. Hamer, S. J. (2015). Two devices for mitigating odontocete bycatch and depredation at the hook in tropical pelagic longline fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 72(5), 1691–1705.
- Derek, H. (2010, June). Non-lethal options for mitigating catch depredation by toothed whales from pelagic longlines. Tasmania, 7050, Australia. Consulté le 04 2019, sur The Australian Marine Mammal Centre (AMMC) of the Department of the Environment and Energy .
- Dewalle, Thorel, Jankowiak, & Depature. (2017, Janvier 17). *EN QUOI LE MILIEU AQUATIQUE PERMET-IL UNE COMMUNICATION ORIGINALE CHEZ LES DAUPHINS ?* Consulté le 04 2019, sur dauphinscommunication: <https://dauphincommunication.wordpress.com/2017/01/17/titre-des-articles-du-blog/>
- Diego Gonza lez-Zevallos, P. Y. (2007). Seabird mortality at trawler warp cables and a proposed mitigation measure: A case of study in Golfo San Jorge, Patagonia, Argentina. *Biological Conservation*, 136(1), 108-116.
- Doyle , B. (2012). *Piezoelectric Energy Harvesting*. rutgers university, Materials Science and Engineering.
- Ending Seabird Bycatch*. (2014). Consulté le 04 2019, sur birdlife.
- Feng, P., Zheng, J., Rossiter, Wang, D., & Zhao, H. (2014). Massive Losses of Taste Receptor Genes in Toothed and Baleen Whales. *Oxford Academic journal*, 6, 1254–1265.
- FIXAMI.FR. (s.d.). *Batterie au lithium-ion Greenworks G60B4 60V - 4.0Ah*. Consulté le Juillet 2019, sur FIXAMI.FR: https://www.fixami.fr/batterie-au-lithium-ion-greenworks-g60b4-60v-4-0ah.html?gclid=EAlalQobChMIs_Gk4LDS4wIVDFXTCh3H5wbqEAQYAiABEgKI0vD_BwE
- Geoff McPherson, D. T. (2010, January). An overview of toothed whale depredation mitigation efforts in the Indo-Pacific region. Noumea, 98848, New Caledonia.
- Goetz, S., Laporta, M., Martinez, J., J.Pierce, & Santos, B. (2010). Experimental fishing with an “umbrella-and-stones system to reduce interactions of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) and seabirds

with bottom-set longlines for Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) in the Southwest Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, 68(1), 228–238.

- Guinet, C. (2016). *Comment concilier pêche durable de légine et préservation des orques de Kerguelen et Crozet ?* Consulté le 04 2019, sur Peche durable:
<http://mscpechedurable.blog.msc.org/2016/11/08/peche-durable-legine-orques-kerguelen-crozet/>
- Gunnar, T. (2002). *Deployable tensegrity structures for space applications*. Stockholm: Royal Institute of Technology.
- Hamer, D. (2010, June). Non-lethal options for mitigating catch depredation by toothed whales from pelagic longlines. Tasmania, 7050, Australia. Consulté le 04 2019, sur The Australian Marine Mammal Centre (AMMC) of the Department of the Environment and Energy .
- Hamer, D., Childerhouse, S., McKinlay, C., Double, M., & Gales, N. (2015). Two devices for mitigating odontocete bycatch and depredation at the hook in tropical pelagic longline fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 72(5), 1691–1705.
- Hamer, D., McKinlay, J., & Childerhouse, S. (2012). Odontocete bycatch and depredation in longline fisheries: A review of available literature and of potential solutions. *MARINE MAMMAL SCIENCE*, 28(4), E345–E374.
- Jefferson, T.A., Curry, & B.E. (1995). Acoustic methods of reducing or eliminating marine mammal-fishery interactions do they work ? *31*(41-70).
- John I, G. (2007). How Do Predators Cope With Chemically Defended Foods? *The University of Chicago Press*, 213(3).
- Jun J. Sato, M. W. (2012). Loss or major reduction of umami taste sensation in pinnipeds. *The Science of Nature*, 99(8), 655–659.
- K. RIGALMA, C. D.-P. (2009). Les Courants électriques parasites en élevage. *22*(4), 291-302. Paris, France: GPSE, Groupe Permanent pour la Sécurité Électrique en milieu agricole.
- Kent, J. (2014). *ExxonMobil Sea Lion Deterrence System*. Consulté le Juillet 2019, sur SMITH ROOT/TECHNOLOGY FOR FISHERIES CONSERVATION.
- Kolz, A., & Johnson, R. (1995). In-Water Electroshock Techniques to Repel Aquatic Mammals and Bird. *National Wildlife Research Center repellents conference*, 23.
- Kremers, D., Célrier, A., Campagna, S., & Schaal, B. (2016). Sensory Perception in Cetaceans : Part I— Current Knowledge about Dolphin Senses As a Representative Species. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 4(49), 1-17.
- Laurent Blanchard, L. B.-P. (2005, Jul 13). DEPLOYABLE HEXAPOD USING TAPE-SPRINGS. Cannes La Bocca, 06156, France. Consulté le 04 2019
- Lokkeborg, S. (2011). Best practices to mitigate seabird bycatch in longline, trawl and gillnet fisheries— efficiency and practical applicability. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*, 435, 285–303.

- Maher, A.-h. (s.d.). *La récupération d'énergie vibratoire*. Projet de fin d'études, Polytech Lille, Département Informatique, Microélectronique, Automatique.
- MARONE-HITZ, P. (2014). *Modélisation de structures spatiales déployées par des mètres ruban : vers un outil métier basé sur des modèles de poutre à section flexible et la méthode asymptotique numérique*. Marseille: Ecole Doctorale : Sciences pour l'ingénieur Mécanique, Physique, Micro et Nano électronique Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Centrale Marseille.
- McPherson, G., & Nishida, T. (2010, January). An overview of toothed whale depredation mitigation efforts in the Indo-Pacific region. Noumea, 98848, New Caledonia.
- Molegnana, C. (2016). *Etude du comportement d'un dispositif de lutte contre la déprédation des grands pélagiques capturés sur une palangre par des mammifères marins à dents*. Montpellier: Jean-Louis Etienne.
- Moreno, P.Reyes, Castro, & L.j, M. (2008). Significant conservation benefits obtained from the use of A NEW FISHING GEAR IN THE CHILEAN PATAGONIAN TOOTHFISH FISHERY. *CCAMLR Science*, 15, 79–91.
- Njaratiana Rabearisoa, P. B. (2012). Pelagic longline fishing trials to shape a mitigation device of the depredation by toothed whales. *Experimental Marine Biology and Ecology*, 432–433, 55-63.
- Njaratiana Rabearisoa, P. B. (2015). Assessing interactions between dolphins and small pelagic fish on branchline to design a depredation mitigation device in pelagic longline fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 72(5), 1682–1690.
- NOUIRA , H. (2008). *CONTRIBUTION Á LA CONCEPTION D'UN*. Thèse de doctorat , L'U.F.R DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE L'UNIVERSITE DE FRANCHE -COMTE , Sciences pour l'Ingénieur et Microtechniques .
- Oscar Pin, E. R. (2007, January). Interacción de cachalotes con el palangre de fondo y la operación del Dispositivo Excluidor de Mamíferos y Aves (DEMA) en la pesquería de merluza negra (*Dissostichus eleginoides*) en el Atlántico Sudoccidental. Montevideo, 11200, Uruguay.
- Pamela Carzon, A. P. (s.d.). Déprédation hauturière dans les eaux polynésiennes et systèmes de lutte potentiels. Raiatea, 98735, Polynésie. Consulté le 04 2019
- Peihua Jiang, J. J. (2012). Major taste loss in carnivorous mammals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(31), 4956–4961.
- Peter , M., & Simmonds. (2006, May 15). *Into the brains of whales*. Consulté le 04 2019, sur ScienceDirect: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168159106001158>
- Rabearisoa, N., Bach, P., & Marsac, F. (2015). Assessing interactions between dolphins and small pelagic fish on branchline to design a depredation mitigation device in pelagic longline fisheries. *ICES Journal of Marine Science*, 72(5), 1682–1690.
- Rabearisoa, N., Bach, P., Tixier, P., & Christophe. (2012). Pelagic longline fishing trials to shape a mitigation device of the depredation by toothed whales. *Experimental Marine Biology and Ecology*, 432–433, 55-63.

- Raphael, S. (2012/2013). *La déprédation des phoques dans les espaces protégés en France: enquêtes et revue bibliographique*. La Rochelle: Université de La Rochelle.
- Ridden, P. (2011). Sound Charge t-shirt tops up mobile devices using sound. New Atlas. Consulté le Juin 2019, sur <https://newatlas.com/orange-and-gotwind-announce-sound-charge-device-charging-tshirt/18994/>
- Rigalma, Duvaux-Ponter, Gallouin, & Roussel. (2009). Les courants électriques parasites en élevage. *22(4)*, 291-302. Paris, AgroParisTech, Département Sciences de la Vie et Santé,, France.
- Robbins, W. (2011). Assessment of permanent magnets and electropositive metals to reduce the line-based capture of Galapagos sharks, *Carcharhinus galapagensis*. *Fisheries Research*, *109*, 100-106.
- Robearisoa, N. (2012). *Étude d'un mode d'interaction entre les odontocètes, les requins et la pêche à la palangre dérivante dans la région sur-ouest de l'océan Indien : la déprédation*. La Réunion: Université de la Réunion.
- Sabine Goetz, M. L. (2010). Experimental fishing with an “umbrella-and-stones system to reduce interactions of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) and seabirds with bottom-set longlines for Patagonian toothfish (*Dissostichus eleginoides*) in the Southwest Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, *68(1)*, 228–238.
- Scordino, J. (2010). West Coast Pinniped Program Investigations on California Sea Lion and Pacific Harbor Seal Impacts on Salmonids and Other Fishery Resources.
- St-Onge, D. (2016). *Conception d'un mécanisme déployable à grand ratio d'expansion et de son système d'actionnement par roues d'inertie pour applications spatiales*. Québec, Canada: Université LAVAL.
- Svein, L. (2011). Best practices to mitigate seabird bycatch in longline, trawl and gillnet fisheries—efficiency and practical applicability. *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES*, *435*, 285–303.
- Thomas, P., Gulland, F., Reeves, R., Krebs, D., Ding, W., Smith, B., . . . Phay, S. (2019). Electrofishing as a potential threat to freshwater cetaceans. *ENS (endangered species research)*, *39*, 207-220.
- Vevey, L. (2015/2016). *L'évolution de la vision des couleurs chez les Vertébrés*. Genève: UNIVERSITÉ DE GENÈVE. Consulté le 04 2019
- Vogel, C. (2016). *Sélectivité des engins de pêche*. Rapport bibliographique , Ifremer .
- Zachary , Schakner , D., & Blumstein, T. (2013). Behavioral biology of marine mammal deterrents: A review and prospectus. *Biological Conservation*, *167*, 380-389.
- Zachary A., S. D. (2013). Behavioral biology of marine mammal deterrents: A review and prospectus. *Biological Conservation*, *167*, 380-389.

IX. Annexes

Annexe :1

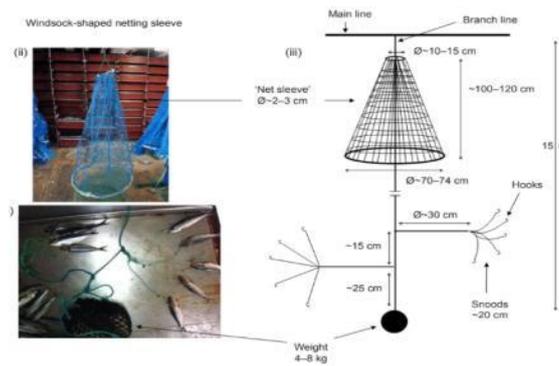


Figure 48:Manche en filets (Moreno, et al., 2008)

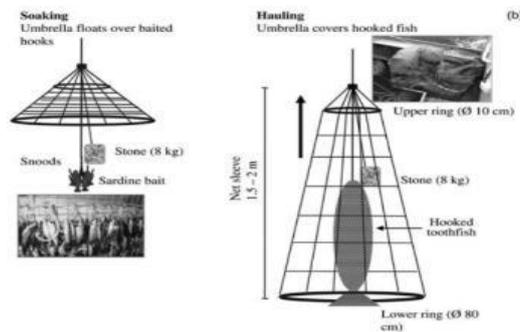


Figure 49 : Umbrella-and-stones non déployé à gauche, déployé à droite (Sabine Goetz, 2010)

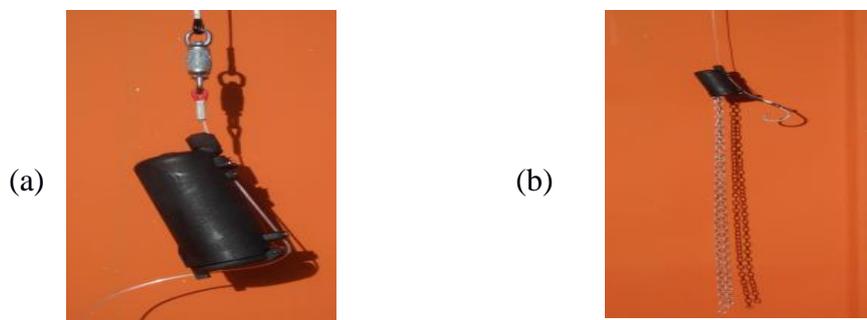


Figure 50 : (a), le système chaîne au repos, (b), système déployé (Hamer, et al., 2015)

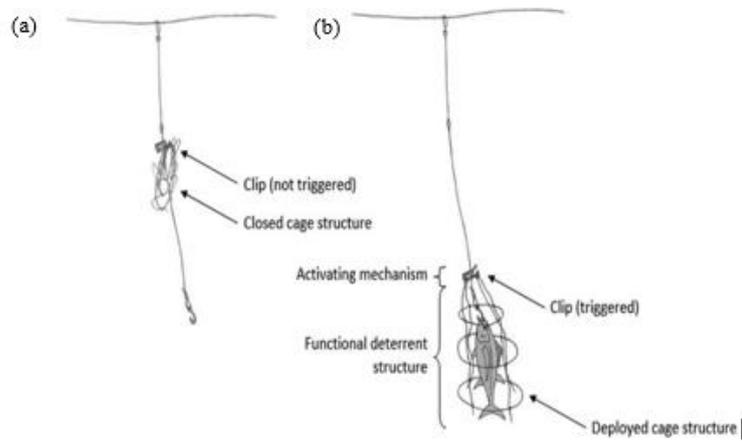


Figure 51 : (a), le schéma du dispositif cage en position de repos, (b), le schéma du dispositif déployé autour du poisson

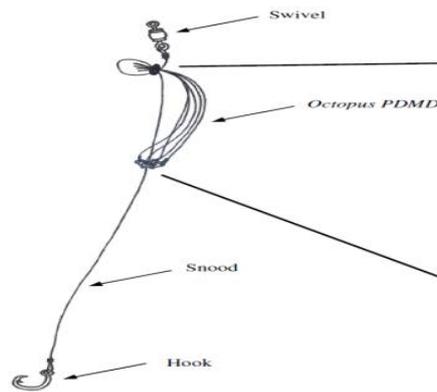
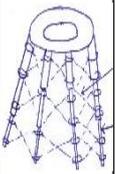
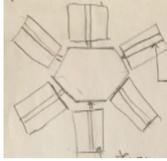
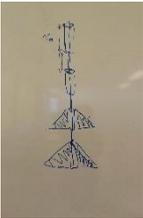


Figure 52 : le dispositif « The octopus » non déployé (Hamer, 2010)



Figure 53 : (a), dispositif ruban de clôture électrique en position de repos, (b) dispositif déployé (McPherson, et al., 2010)

<div style="display: flex; flex-direction: column; gap: 5px;"> <div>■ 1 : Non satisfaction</div> <div>■ 2 : Satisfaction moyenne</div> <div>■ 3 : Satisfaction</div> </div>							
		Installation	Attachement sur la ligne				
Tension sur la ligne							
Déploiement							
Déclenchement							
Transport	Traction sur la ligne						
	Emmêlement						
	Déclenchement						
Niveau de protection	Couverture (thon)						
	Couverture (espadon)						
	Protection (thon)						
	Protection (espadon)						
Manipulation	Robustesse						
	Encombrement						
	Dangerosité						
	repliage						

Annexe : 3

Nom	Lieux	Type	Cordonnées
Vincent RIDOUX	Observatoire PELAGIS - UMS 3462, La rochelle	Laboratoire de recherche	vridoux@univ-lr.fr
Morgane PERRI	Association Al Lark, Cancale	Association : étude des cétacés et découverte du milieu marin	morgane.perri@al-lark.org
Jean-Dominique Durand	UMR 248 MARBEC	Laboratoire de recherche	jean-dominique.durand@ird.fr
Marineland d'Antibes	Antibes	Association : CRC – Centre De Recherche sur les Cétacés	Isabelle Brasseur i.brasseur@marineland.fr
Claire Garrigue	Université des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, IRD Perpignan	Centre de recherche	claire.garrigue@ird.fr
Vanessa Estrade	Docteur Vétérinaire chez Globice, Réunion	Association	vanessa.estrade@globice.org
Pauline Gauffier	Espagne	CIRCE, Association	paulinegauffier@hotmail.fr
Bertrand BOUCHARD	Wallis et Futuna	Centre de recherche	bertrand.bouchard@gmail.com
Aurélié Céliérier	Campus du CNRS, 1919, route de Mende 34293 Montpellier cedex 5	Maître de Conférences à l'Université Montpellier	aurelie.celerier@cefe.cnrs.fr
Delphinarium de Harderwijk	Pays-Bas	Delphinarium : Le plus grand parc Européen avec mammifères marins	info@dolphinarium.nl
Parc Astérix	Plailly	Delphinarium	relationvisiteurs@parcasterix.com
Parc zoologique Planète Sauvage	Port Saint Père	Delphinarium	
GREC Le Groupe de Recherche sur les Cétacés	Antibes	Association : travaille en autonomie ou en partenariat avec des universités ou institutions locales	
GEMM	Polynésie	Association : Groupe d'Étude des Mammifères Marins	
EcoOcéan	Montpellier	Association	

Annexe : 4

 1 : Non satisfaction		
 2 : Satisfaction moyenne		
 3 : Satisfaction		
Dissuasion électrique		Niveau de satisfaction
Installation	Attachement sur la protection physique	
	Emmêlement avec la ligne	
	Encombrement	
Isolation	Isolation envers les captures	
	Isolation envers le personnel	
Niveau de dissuasion	sensibilité des mammifères marins	
	Sensibilité des autres espèces	
	Puissance électrique	
Manipulation	Robustesse	
	Dangerosité	

Annexe : 5

Batterie	Utilisation	Caractéristique	Plage de tension	Avantages	Inconvénients
Batteries traditionnelles					
Accumulateur au Plomb 	Véhicules routiers	-Tension nominale 2,1V/élément -Energie massique 30 Wh/kg	De 11,7 à 14 ,4 V	-Faible coût - Courants élevés	Polluante (acide sulfurique)
Nickel-Cadmium (NiCd) 	Outils électriques (perceuse, aspirateurs.), appareils de communication	-Tension nominale 1,4V/élément. -Energie massique 50 Wh/kg	0,9 à 1.4 V/élément	-Faible coût -Supporte de grands courants de charge et décharge	Polluante (toxicité du cadmium)
Lithium fer phosphate (LFP) 	Véhicules et bateaux électriques ..	-Tension nominale 3.2V/élément	-Tension max 4.2V/élément	-Poids réduit -moins toxiques	-chère
AGM 	Véhicules, bateaux électriques , camping-car	-Plage de température 0° à 40° -Tension nominale 2,1V/élément	De 11,7 à 14 ,4 V	-Bonne résistance aux chocs et vibrations -Moins polluante -étanches	-Grande taille
Batteries nouvelle génération					
Lithium ions 	Téléphone portable, tablette	-Energie massique 150 Wh/kg	2.5 à 4.10/élément	-Moins polluante -Légères et petites	-Chère -Sécurité réduite
Lithium polymère 	Smartphones, tablettes et ordinateurs portables Drone ...	-Energie massique 170 Wh/kg	2.5 à 4.20 V/élément	Légères et petites	Chargeur spécial requis