

RAPPORT Final du projet PIC

Thomas RIMAUD¹
Matthieu AUTHIER²
Sonia MEHAULT³
Hélène PELTIER²
Olivier VAN CANNEYT²

- (1) Les Pêcheurs de Bretagne – 7, rue Félix le Dantec – 29000 QUIMPER
- (2) Observatoire PELAGIS UMS 3462, Université de La Rochelle, CNRS – 5, allée de l’Océan – 17000 LA ROCHELLE
- (3) IFREMER Lorient – RBE/LTBH - 6 rue François Toullec – 56100 LORIENT

Février 2019



Avec le soutien financier de France Filière Pêche :



Table des matières

1	Introduction	3
2	Etat de l'art.....	4
2.1	Connaissances sur les captures accidentelles	4
2.1.1	Les échouages de mammifères marins sur le littoral	4
2.1.2	Les captures accidentelles	5
2.1.3	Connaissance sur la population de dauphin commun dans le golfe de Gascogne. 7	
2.2	Connaissance sur les modalités de mitigation	8
2.2.1	Cas des fileyeurs	8
2.2.2	Cas des chalutiers pélagiques	9
2.3	Description de l'activité des chalutiers pélagique sur l'hiver 2017/2018.....	10
3	Matériels et méthodes	11
3.1	Champ d'action et objectif des expérimentations	11
3.2	Descriptif des pingers testés.	12
3.3	Positionnement des pingers.....	14
3.4	Descriptif du protocole / plan d'échantillonnage	15
3.4.1	Test de l'efficacité des répulsifs pingers	15
3.4.2	Marquage de carcasses	16
3.5	Méthodologie d'analyse	17
3.5.1	Estimation du nombre de dauphins avec ou sans l'usage des pingers.....	17
3.5.2	Estimation de l'efficacité des pingers (modélisation).....	17
4	Résultats	17
4.1	Description des observations réalisées	17
4.2	Estimation de l'efficacité des pingers	20
4.2.1	Comparaison des captures avec/sans pingers.....	20
4.2.2	Modélisation.....	20
4.3	Estimation du nombre de captures accidentelles avec ou sans pingers	21
4.4	Marquage.....	23
5	Discussions	23
6	Perspectives	25
7	Remerciements	26
8	Références.....	26
9	Liste des tableaux et figures.....	27
10	Annexes.....	29

1 Introduction

L'hiver 2016-2017 a connu un phénomène important d'échouages de dauphins communs sur la côte Atlantique dont beaucoup d'entre eux comportaient des marques de prises accidentelles par la pêche. Ces événements ont été relayés médiatiquement et sont une préoccupation pour tous, à commencer par les pêcheurs professionnels qui parallèlement constatent au quotidien une augmentation de la présence de cétacés sur les zones de pêche qu'ils fréquentent.

Dans le golfe de Gascogne, les professionnels ont été pro-actifs pour trouver des solutions aux captures accidentelles et cela depuis 2004. En effet, plusieurs études ont été menées sur le sujet entre 2004 et 2009 sur les chalutiers pélagiques du golfe de Gascogne. Ces projets scientifiques européens (PETRACET, NECESSITY) ainsi que les projets professionnels (NECECETPRO1, PROCET1, PROCET2) **menés en partenariat avec les scientifiques de l'IFREMER et de l'Observatoire PELAGIS** (CRMM à l'époque) ont eu pour objectif : (1) d'évaluer l'impact de ces captures sur les populations de dauphins communs et (2) de développer des solutions afin de réduire les captures accidentelles.

Les tests de dispositifs d'échappement n'ont pas apporté satisfaction mais ceux concernant certains modèles de dispositifs acoustiques (pinger) ont été encourageants. Ainsi, ces projets scientifiques ont abouti au développement par IFREMER d'un répulsif acoustique adapté au chalut pélagique, le CETASAVER dont les effets observés étaient très encourageants pour espérer une réduction significative des captures accidentelles de dauphins communs. **Pourtant, ce dispositif n'a pas été commercialisé suite à ce programme faute de partenaires industriels et ce pinger n'a donc jamais été disponible pour les pêcheurs.**

Compte tenu des nouveaux pics d'échouages observés à l'hiver 2016-2017 et des évolutions technologiques de ces dernières années, les professionnels, accompagnés par *Les Pêcheurs de Bretagne*, ont décidé de chercher de nouvelles solutions. Dans ce cadre, le projet PIC (Analyse de l'utilisation des **P**ingers à **C**étacés pour les activités de pêche des chalutiers pélagiques et des fileyeurs) a été monté en 2017 en partenariat avec l'Ifremer et l'Observatoire Pelagis (UMS 3462 CNRS-Université de La Rochelle) et avec le soutien financier de France Filière Pêche. Les actions ont commencé en novembre 2017 pour une durée de 14 mois.

L'objectif est de relancer la dynamique de recherche et d'aboutir à des solutions pratiques et opérationnelles sur ce sujet afin de limiter les captures accidentelles de cétacés dans les pêcheries du golfe de Gascogne. Deux pêcheries sont abordées dans ce programme, la flottille des chalutiers pélagiques et la flottille des fileyeurs. Le travail s'articule autour de 2 actions : (1) un état des lieux bibliographique et une réflexion sur la méthodologie et (2) des tests expérimentaux en conditions réelles à bord des navires de pêche.

Ce document constitue le rapport final du projet PIC. Il présente les actions développées dans le cadre du projet et les résultats issus des expérimentations.

2 Etat de l'art

2.1 Connaissances sur les captures accidentelles

2.1.1 Les échouages de mammifères marins sur le littoral

Les causes des échouages de mammifères marins sur le littoral sont multiples (Dars, 2018) :

- Les causes naturelles : mort suite à l'échouage vivant accidentel, compétition interspécifique, prédation, autre mort naturelle
- Les causes pathologiques : mauvais état sanitaire démontré par la présence de lésions significatives ou d'un parasitisme sévère
- La cause « capture accidentelle »
- Les autres causes anthropiques : collision, traumatisme crânien, présence de corps étranger, enchevêtrement, etc.

Ces échouages sont suivis par le Réseau National Echouage (RNE), dont les actions sont coordonnées par l'Observatoire Pelagis (UMS 3462 CNRS-Université de La Rochelle).

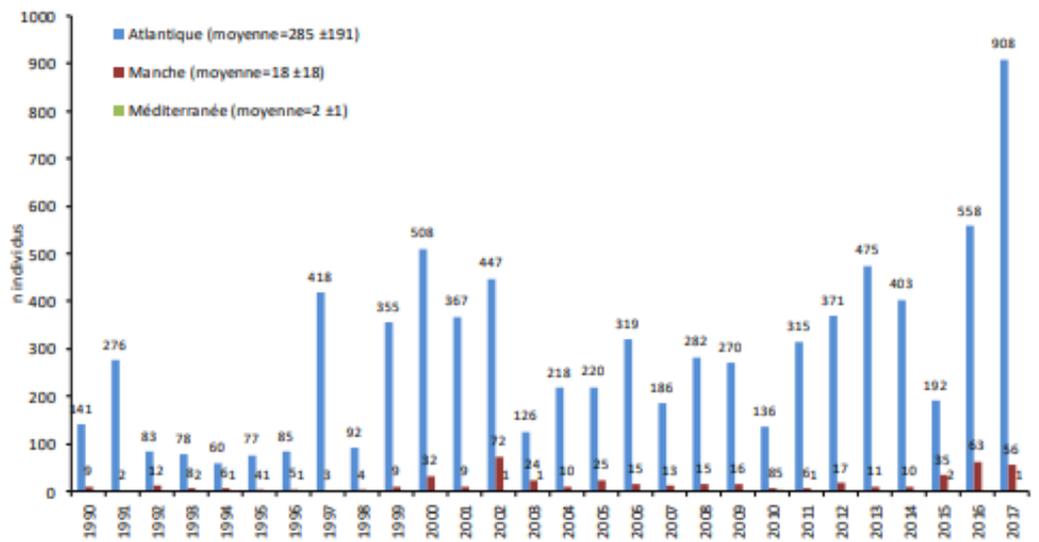


Figure 1 : Distribution annuelle 1990-2018 – Echouage dauphins communs (source Dars, 2018)

Les échouages de dauphins communs ont augmenté en 2016 et 2017. Les données de 2018 sont en cours de bancarisation et de consolidation mais vraisemblablement le niveau d'échouages est proche de celui de 2017.

D'après Dars (2018), parmi les 965 dauphins communs échoués en 2017, 939 ont été retrouvés morts. Un examen externe a été réalisé sur 82,3% d'entre eux (n=773) montrant des traces de captures accidentelles dans 48% des cas sur l'ensemble de l'année. Durant les mois de février et mars 2017, 68% des dauphins communs, retrouvés échoués dans un état de décomposition permettant un examen externe, présentaient des traces de captures accidentelles.

Un examen approfondi en laboratoire a été réalisé sur 3,7% d'entre eux (n=35) concluant à une mort par capture accidentelle dans 97% des cas.

2.1.2 Les captures accidentelles

Deux méthodologies existent pour estimer le nombre de captures accidentelles :

- ✓ L'observation en mer
- ✓ La modélisation sur la base des échouages.

Estimation sur la base des observations en mer :

Plusieurs programmes d'observations relatifs aux captures de mammifères marins sont mis en œuvre par les différents Etats membres. Ces programmes d'observations sont, entre autres, encadrés par le Règlement (CE) N° 812/2004.

Au niveau français, le programme OBSMAM, spécifiquement dédié aux captures accidentelles a été mis en œuvre jusqu'en 2011. Depuis lors, ces observations ont été intégrées au programme OBSMER. L'objectif du programme OBSMER est de couvrir, en fonction des disponibilités et des métiers entre 5 et 10% de l'effort de pêche des flottilles sous pavillon français. Le tableau 1, ci-dessous, présente le nombre d'observation de captures accidentelles de dauphins communs par métier de 2012 à 2016 (Cornou et al. 2013-2017).

	Chalut de Fond	Chalut Pélagique	Filet
2012	0	0	1
2013	1	0	0
2014	1	0	0
2015	0	2	5
2016	0	13	11

Tableau 1 : Nombre de captures accidentelles de dauphins communs dans le golfe de Gascogne observées dans le cadre du programme OBSMER de 2012 à 2016

Le CIEM organise un groupe de travail sur le sujet (WGBYC). La dernière réunion de ce groupe s'est tenue en 2018 (ICES, 2018) pour, entre autres, évaluer le nombre de captures accidentelles de dauphins communs dans les zones VII et VIII. Pour ce faire, les données de captures accidentelles de 2015 et 2016 ont été agrégées et des taux de captures/jour/métier ont été générés en faisant différentes hypothèses, notamment concernant l'effort total de pêche (en jours de mer) suite à une faible confiance dans les bases de données utilisées (ICES 2018, page 59). Sous ces hypothèses, le taux de couverture de l'effort de pêche par le règlement 812/2004 s'élève à 1% de l'effort de pêche. L'effort de pêche par zone et par métier a ensuite été utilisé pour obtenir une estimation du nombre de captures accidentelles sur la zone considérée en utilisant une méthode statistique sous-optimale du fait de la granularité des données qui ne permettait pas d'utiliser les méthodes modernes (ICES 2018, page 57). En conséquence, les intervalles de confiances sont indicatifs mais pas définitifs. Enfin, des incohérences dans les bases de données utilisées ont nécessité de regrouper les années 2015 et 2016 afin d'obtenir ces estimations.

		Estimation du nombre de captures accidentelles	
Zone	Métier	Min - IC 95%	Max - IC 95%
VII	Pélagique	49	355
	Fileyeur	104	549
VIII	Pélagique	924	2 187
	Fileyeur	683	2 168
TOTAL 2015/2016		1 760	5 259

Tableau 2 : Estimation du nombre de captures accidentelles de dauphins communs cumulées sur 2015 ou 2016 par zone et par métier. Les valeurs minimales et maximales correspondent à un intervalle de confiance de 95%

Estimation sur la base des échouages :

Des travaux récents (Peltier et al., 2016) ont été menés afin d'estimer le nombre de captures accidentelles à partir du nombre d'échouages. Ils se basent sur le fait que le nombre d'échouages dépend de plusieurs facteurs :

- ✓ L'abondance des populations
- ✓ Le taux de mortalité (naturel, capture accidentelle, autres)
- ✓ La flottabilité : probabilité qu'un animal mort flotte
- ✓ La dérive : probabilité qu'un animal mort dérive sur la côte et s'échoue
- ✓ La probabilité qu'une carcasse soit découverte et enregistrée.

Ces différents paramètres sont estimés sur la base d'expérimentations et/ou de modélisations.

Sur la période 1990-2009, l'estimation annuelle du nombre de captures accidentelles de dauphins communs se situe entre 3 650 (2 250 ; 7 000) et 4 700 (3 850 ; 5 750) en fonction des choix méthodologiques réalisés.

En fonction de la méthodologie utilisée, des années et de la qualité des données, les estimations du nombre de captures accidentelles de dauphins peuvent être variables. Les 2 méthodologies présentent des limites et le choix de l'une ou l'autre des méthodes reste soumis à discussion (ICES, 2018, pages 60-62). Ainsi la représentativité des programmes d'observations à la mer est dépendante (1) de leur bonne mise en œuvre, ce qui n'est pas toujours le cas et (2) de la prise en compte du caractère aigu mais ponctuel dans le temps et l'espace des captures de mammifères marins dans les plans d'échantillonnage. Pour le dauphin commun en Atlantique Nord Est, Peltier et al. (2016) et le WGBYC estiment que les programmes d'observations ne peuvent pas être utilisés pour quantifier les captures accidentelles. A contrario, la méthodologie basée sur les échouages est dépendante de nombreux paramètres et incertitudes (ex : modèle de dérive, flottabilité) dont l'estimation peut faire varier les évaluations du nombre de captures accidentelles. Ainsi, bien que ses conclusions puissent varier en fonction des années, le WGBYC (ICES, 2018) estime que cette méthodologie peut être utile pour établir une estimation initiale lorsqu'une problématique de capture accidentelle existe mais qu'elle ne peut pas remplacer un programme d'observation adapté et correctement mis en œuvre.

2.1.3 Connaissance sur la population de dauphin commun dans le golfe de Gascogne.

L'abondance de dauphins communs est estimée sur la base de campagnes de survol aérien ou d'observations à bord de navires suivant des protocoles dédiés à l'estimation des densités de cétacés mais à des échelles et étendues spatiales différentes (Figure2) :

- ✓ La campagne CODA mise en place en 2007 : Cetacean Offshore Distribution and Abundance in the European Atlantic (CODA) couvre une aire de répartition « océanique ».
- ✓ Les campagnes SAMM mises en place au niveau national. La première s'est tenue en 2011-2012 et la prochaine en Atlantique aura lieu en 2019-2020.
- ✓ Les campagnes SCANS mises en place à l'échelle européenne : deux recensements espacés de 11 ans ont été réalisés (campagnes SCANS-II en 2005 et SCANS-III en 2016).

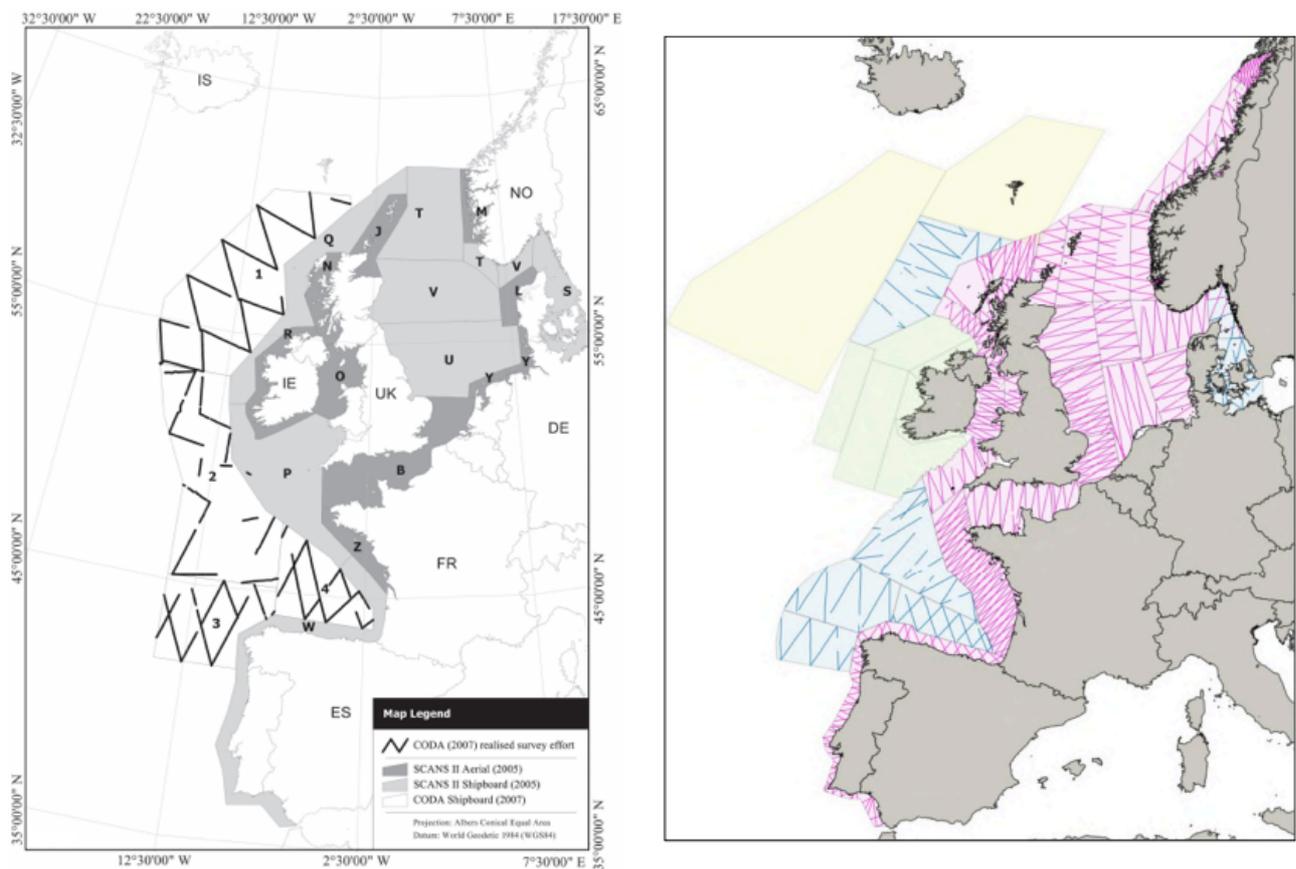


Figure 2: Cartographie des campagnes aériennes destinées à estimer l'abondance des populations de cétacés. A Gauche campagnes CODA et SCANSII/ A droite campagnes SCANS III (zones bleu : bateau/zones rose : avion)

Sur la base de ces campagnes :

- ✓ L'abondance de dauphins communs sur la partie océanique de l'Atlantique Nord Est en 2007 a été estimée à 116 700 individus (estimation basse : 61 400 ; estimation haute : 222 000 ; CODA, 2009).
- ✓ L'abondance de dauphins communs sur le plateau continental du golfe de Gascogne et de la Manche Ouest en hiver 2011-2012 a été estimée à 180 000 individus (estimation basse : 120 000 ; estimation haute : 270 000 ; SAMM,

Laran et al. 2017) ; et en été 2012 à 67 000 individus (min. 36 000 ; max. 123 000 ; SAMM, Laran et al. 2017).

- ✓ L'abondance de dauphins communs dans l'Océan Atlantique Nord-Est en été 2016 a été estimée à 470 000 individus (estimation basse : 280 000 ; estimation haute : 780 000 ; SCANS 3, Hammond et al. 2017). 158 000 individus pouvant être des dauphins communs ou des dauphins blanc-bleu n'ont pas pu être déterminés. Aucun changement d'abondance n'a pu être mis en évidence entre les campagnes SCANS-II et SCANS-III.

D'un point de vue plus qualitatif, les professionnels de la mer reportent régulièrement une présence de plus en plus importante de dauphins communs sur les zones qu'ils fréquentent qui peut être lié à un changement de distribution ou à une augmentation de la population.

L'unité de gestion pertinente pour le dauphin commun en Atlantique Nord Est reste sujet à débat (Peltier et al., 2016). Sur la base de différents indicateurs écologiques, certaines études considèrent que 2 unités de gestion peuvent être définies, l'une néritique correspondant au plateau continental et l'autre océanique (Caurant et al. 2017, Lahaye 2005, Pusineri 2007). Cependant, compte tenu des faibles différences génétiques de cette espèce en Atlantique Nord Est, il est considéré qu'une seule unité de gestion sur cette zone est pertinente (Murphy et al. 2013). La limite des approches génétiques est qu'un très faible flux de gènes entre deux unités de gestion à chaque génération suffit à homogénéiser la diversité génétique des deux unités. Elle ne présage en rien des habitats et distribution, et de l'impact potentiel des pressions sur ces unités.

La définition de l'unité de gestion est fondamentale pour déterminer les indicateurs corrects à l'échelle de la population. Cette question n'étant pas tranché scientifiquement à l'heure actuelle, il est considéré pour l'instant une seule unité de rapportage sur l'Atlantique Nord-Est pour le dauphin commun.

2.2 Connaissance sur les modalités de mitigation

2.2.1 Cas des fileyeurs

Concernant les essais des pingurs sur les filets, des études ont montré que ceux actuellement sur le marché sont difficilement utilisables par les professionnels. Ils sont potentiellement dangereux pour l'équipage lors de leur passage dans les vire-filets ou lors du filage et leur mise en place est complexe. Ils sont souvent défectueux au bout de quelques utilisations, la maintenance a un coût élevé et *in fine* leur installation est inefficace sur la réduction des captures accidentelles (Northridge et al., 2011). Non recyclables, ils posent des questions de pollution de l'environnement s'ils sont perdus, mais également de pollution sonore s'ils sont utilisés à grande échelle en créant potentiellement des zones d'exclusion (étude « Pingiroise » menée par le Parc naturel marin d'Iroise en 2009). La même étude n'a

pas permis de démontrer l'efficacité des pingons testés. Ces travaux ont également démontré que les répulsifs acoustiques augmentent le risque de déprédation (effet « *dinner bell* ») et également le nombre de captures accidentelles chez les phoques. Enfin les pingons disponibles sur le marché pour le métier du filet ont été conçus pour limiter les captures accidentelles de marsouins. Par ailleurs, leur fréquence ainsi que leur puissance ne sont pas adaptées pour les dauphins communs.

Actuellement peu d'études ont proposé d'autres alternatives à l'utilisation des pingons sur les filets. Rares sont celles qui se sont intéressées aux matériaux utilisés dans la conception des filets de manière à les rendre détectables par le système d'écholocation des cétacés. Dans une étude, il a été montré une réduction des captures accidentelles de marsouins communs par introduction d'oxyde de fer dans la nappe de filets, mais également une réduction des captures en raison de l'augmentation de la rigidité (Larsen et al. 2002).

2.2.2 Cas des chalutiers pélagiques

Le phénomène de captures accidentelles de dauphins communs dans les chaluts pélagiques dans le golfe de Gascogne a fait l'objet de plusieurs études entre 2004 et 2009. Ces projets scientifiques européens (PETRACET et NECESSITY) ainsi que les projets professionnels associés (NECECETPRO, PROCET phases 1 et 2) ont eu pour objectif d'évaluer les circonstances (espèces cibles, zone, période, etc.) et le niveau de ces captures accidentelles ainsi que de développer des solutions pour les réduire (tests de dispositifs d'échappement et de répulsifs acoustiques).

Les tests de répulsifs acoustiques commercialisés (modèles initialement conçus pour les captures accidentelles de marsouins dans les filets calés) au cours de la phase 1 du programme PROCET n'ont pas donné de résultat sur le chalut pélagique. Les conclusions des essais réalisés lors du programme NECESSITY (qui comprenait également des tests d'engin modifié pour l'échappement) et lors de la phase 2 du programme PROCET convergeaient vers le développement d'un répulsif acoustique, qui semble être la piste de mitigation technologique la plus adaptée pour cette technique de pêche dès lors que les spécifications acoustiques sont bien adaptées à l'espèce ciblée et à son comportement à proximité de l'engin de pêche. C'est le cas des résultats obtenus des essais par les chalutiers pélagiques sur les dauphins communs avec le prototype de répulsif *CETASAVER* (PROCET 2, 2007) dont le développement et les essais n'ont jamais repris depuis. Ce répulsif n'a en effet jamais été commercialisé suite à ces programmes faute de partenaire industriel, bien qu'il présente des caractéristiques techniques intéressantes, qui encouragent à en reprendre le développement et les tests d'efficacité.

Une étude menée sur la pêcherie anglaise de chalutage pélagique au bar réalisée en 2009 et 2010 indique des résultats encourageants sur l'utilisation du pinger DDD dont les essais en conditions réelles mériteraient d'être poursuivis (Northridge et al., 2011).

2.3 Description de l'activité des chalutiers pélagique sur l'hiver 2017/2018

Sur la période du 01/12/2017 au 31/04/2018, 16 navires adhérents à l'OP *Les Pêcheurs de Bretagne* (LPDB), constituant donc 8 paires, ont pratiqué la pêche en bœuf au chalut pélagique (PTM) au moins une fois.

L'activité de ces navires n'est pas constante au cours de la période comme le montre la Figure 3 ci-dessous.

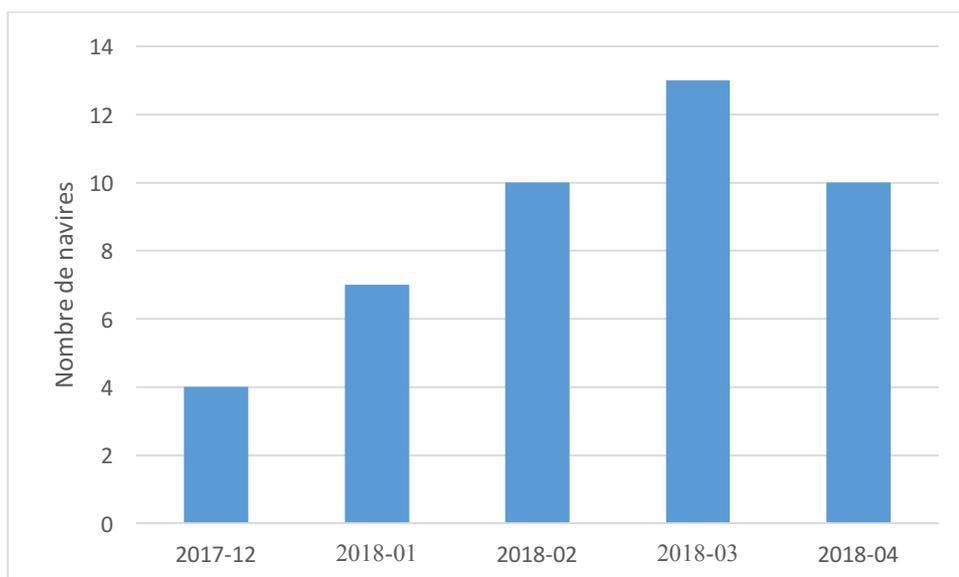


Figure 3 : Evolution du nombre de navires adhérents à LPDB ayant pratiqué le chalut pélagique (PTM) au moins une fois du mois de décembre 2017 à mars 2018.

Sur cette période, ces 16 navires n'ont pas une activité dédiée uniquement au chalut pélagique. Seule une paire pratique ce métier sur toute la saison. Les autres alternent des activités au chalut de fond et d'autres au chalut pélagique (Figure 4) :

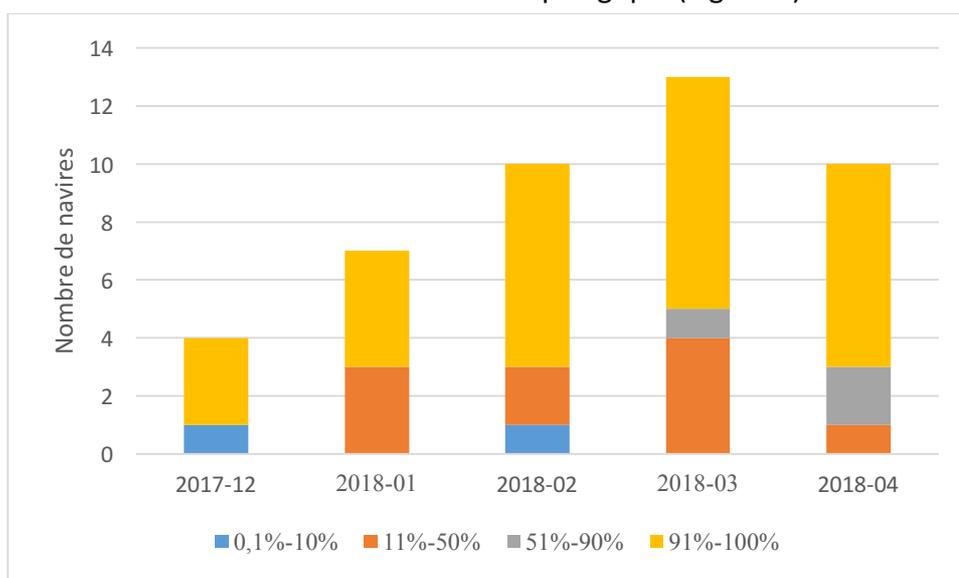


Figure 4 : Evolution du nombre de navires adhérents à LPDB ayant pratiqué le chalut pélagique (PTM) au moins une fois du mois de décembre 2017 à mars 2018 et répartition en fonction de la part du métier pélagique (en nombre de jour) par rapport aux autres métiers

Sur la période, toutes zones confondues, les débarquements des activités pélagiques sont composés majoritairement de merlu (80%). Le restant des débarquements est composé des espèces suivantes : émissole (6%), dorade grise (5%), bar (3%) et saint-pierre (2%). Les débarquements au pélagique réalisés dans le golfe de Gascogne, zone d'expérimentation du projet PIC, sont quant à eux moins variés et composés principalement de merlu (93%) et bar (4%). Les zones fréquentées par ces navires sont variables en fonction des mois et sont décrites dans la Figure 5.

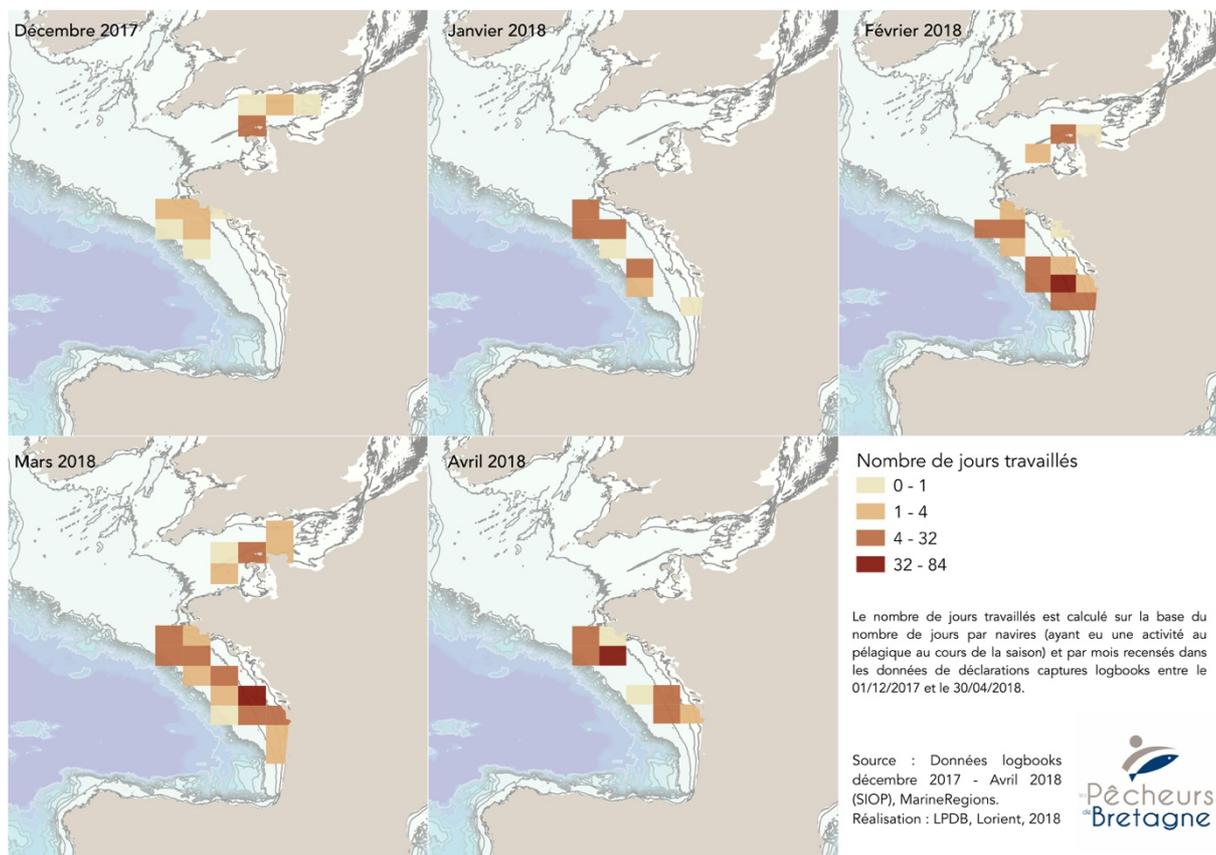


Figure 5 : Zone de pêche fréquentées par les adhérents LPDB pratiquant le métier du pélagique de décembre 2017 à mars 2018.

3 Matériels et méthodes

3.1 Champ d'action et objectif des expérimentations

Fileyeurs :

Le programme d'actions initial prévoyait des expérimentations de pingurs disponibles sur le marché pour les fileyeurs si cela s'avérait pertinent. Les recherches bibliographiques (Partie 4.2) mettent en évidence que pour ce métier : (1) les pingurs ont été développés pour les marsouins et non pour les dauphins communs (2) des difficultés de mise en œuvre à bord des navires professionnels sont réelles et (3) des effets collatéraux néfastes existent (pollution environnementale et acoustique). Par conséquent, les partenaires du projet ont décidé de ne pas mettre en œuvre d'expérimentations à bord des fileyeurs dans l'attente de la concrétisation des actions prévues dans le cadre du projet LICADO à partir de 2019.

Chalutiers pélagiques :

Compte tenu des résultats encourageants des tests réalisés par 2 paires de chalutiers pélagiques anglais sur la pêcherie de bar utilisant les pingers DDD (Northridge et al., 2011), les partenaires du projet ont choisi de tester l'efficacité de ces pingers en conditions réelles de pêche pour les chalutiers pélagiques du golfe de Gascogne.

3.2 Descriptif des pingers testés.



Figure 6 : Les pingers testés en action de pêche

Les pingers testés sont du modèle DDD03H de la marque STM-Products.

Les caractéristiques transmises par le fabricant sont les suivantes :

- ✓ Fréquence d'émission : de 5 à 500kHz
- ✓ Profondeur minimale d'utilisation 10/20m selon conditions
- ✓ Profondeur maximale d'utilisation : 200m (20 Bar)
- ✓ Distance horizontale entre 2 DDD : 200 à 400m selon conditions
- ✓ Distance verticale entre 2 DDD : 50 à 80m selon conditions
- ✓ Dimension : Longueur=210mm/diamètre=61mm/poids=905g

Le pinger est composé d'un amplificateur de puissance qui commande un transducteur à large bande et un microprocesseur de 16bits qui contrôle (1) l'amplification de puissance, (2) le système de générations de signaux aléatoires (3) le système automatique d'allumage avec l'immersion dans l'eau (4) la mesure de la tension des batteries et le signal relatif aux batteries déchargées.

Le multi-chargeur fourni par le constructeur permet de charger 4 DDD en même temps. Il permet également de vérifier l'état de charge du pinger (et donc son bon fonctionnement). Le constructeur déclare une autonomie de 40h pour les pingurs. Les pingurs doivent être chargés dès que possible. En tout état de cause, en dessous d'une tension de 6.2V, le bon fonctionnement du dispositif n'est pas assuré.

Une analyse technique de ces pingurs a par ailleurs été réalisée afin de caractériser les paramètres techniques de ce dispositif (fréquences, niveaux et durées des émissions). Les mesures ont été effectuées au bassin d'essai d'Ifremer Brest par OCTECH.

Analyse spectrale du signal (fréquences/niveaux)

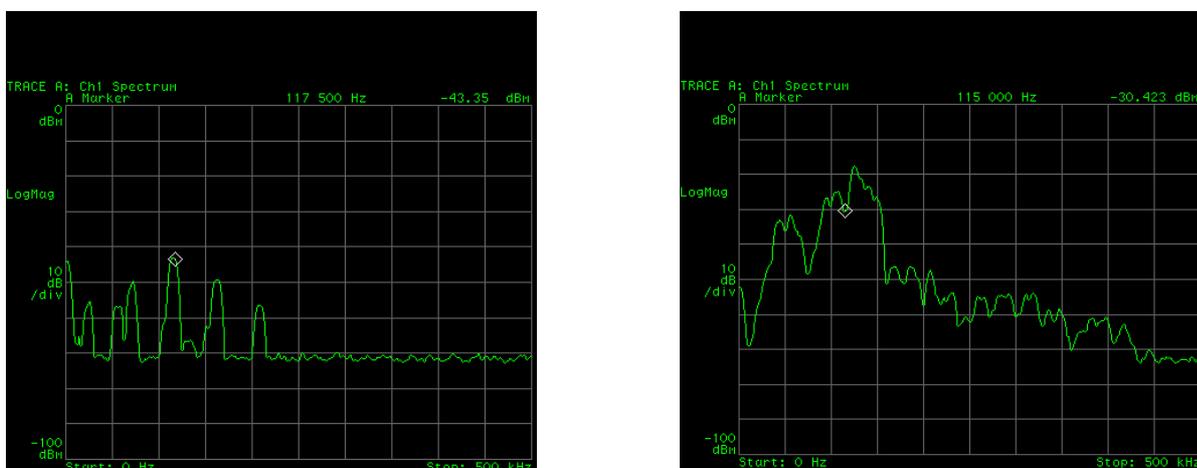


Figure 7 : Analyse spectrale du signal émis par les pingurs DDD03H (A gauche - Sweep 0- 100Khz / A droite Sweep 0- 500Khz) (source OCTECH)

Les signaux émis par le répulsif DDD sont des signaux couvrant une large bande de fréquence (30Khz à 191Khz).

Analyse impulsionnelle sur deux fréquences

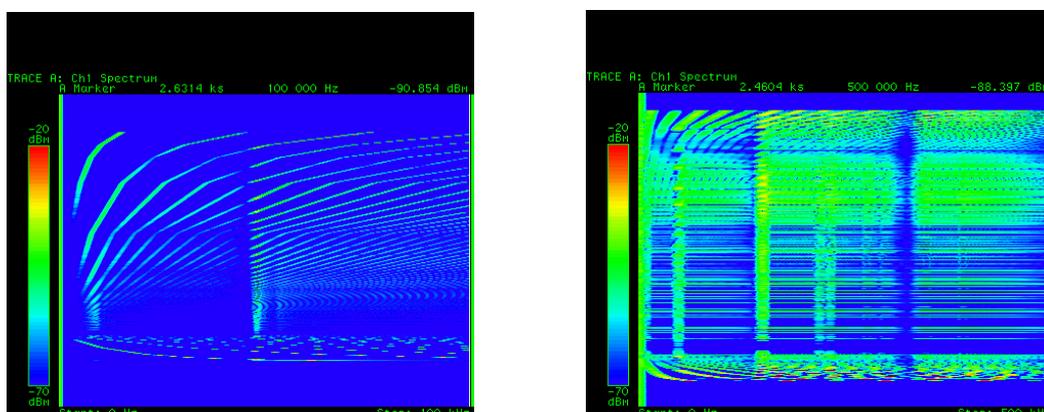


Figure 8 : Analyse impulsionnelle sur 2 fréquences (à gauche 117,5kHz / à droite 115 kHz) (source OCTECH)

Les niveaux acoustiques d'émissions des pingurs sont compris entre 160db & 174db

Tableau des durées d'émission & niveaux

Fréquence	Durée d'émissions (s)	Niveaux	
		Niveau min	Niveau max
153	5		160 dB
116	0,1	Niveau max	174 dB
136	0,1		
32	5		
56	0,1		
46	0,1		
108	0,1		
191	0,5		
143	1,4		
106	4		
72	0,1		
104	0,1		
166	4		
87	0,1		
115	0,1		
65	3		
60	1		

Tableau 3 : Tableau des durées d'émission en fonction des fréquences d'émission (source OCTECH)

Les signaux sont émis de façon aléatoire sur des durées différentes. Ils incorporent un assemblage de fréquences où l'on peut dissocier des fréquences à durée d'impulsion longue (de 1 à 5 sec) et des fréquences à durée d'impulsion courte (0.1 sec).

3.3 Positionnement des pingurs

Pour les chaluts pélagiques, le choix a été fait de mettre en œuvre 3 pingurs. Ceux-ci doivent être disposés de manière à ce que les ondes empêchent l'entrée de cétacés dans le chalut.

Le pingur émet par son extrémité « verte » selon le schéma ci-dessous (rayon de 500m, hauteur de 80m) – Figure 9 :

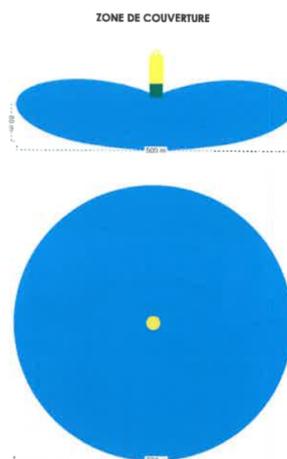


Figure 9 : Zone de couverture des émissions du DDD (source STM products)

Durant les tests, les patrons ont essayé différentes positions pour ces 3 pingurs combinant l'orientation (vers l'avant du chalut / vers l'arrière du chalut) et leur position sur le chalut. Compte tenu des caractéristiques techniques du constructeur, toutes ces combinaisons permettent théoriquement aux signaux acoustiques « d'obstruer » la gueule du chalut. *In fine*, le positionnement optimal défini par les patrons est le suivant :

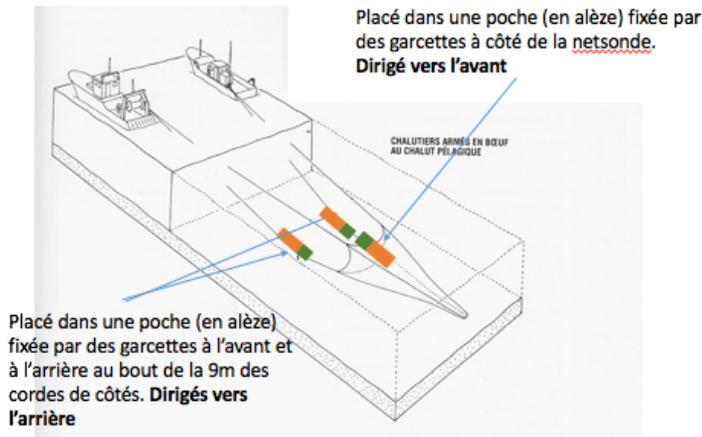


Figure 10 : Positionnement des lors des expérimentations PIC

3.4 Descriptif du protocole / plan d'échantillonnage

3.4.1 Test de l'efficacité des répulsifs pingurs

Objectif du protocole

Le but est de produire des séries statistiques comparatives permettant d'évaluer l'efficacité du répulsif. Pour cela, il est nécessaire que 50 % des traits soient réalisés avec le pingur en fonctionnement et 50 % sans pingur, et ce dans des conditions comparables.

Dans un souci de collecte de données comparatives, il est important de respecter l'ordre de la séquence (Avec Pingur=Test/Sans pingur=Blanc) dans la série de traits à réaliser dans les mêmes conditions. Il faudra aussi veiller à bien répartir les traits tests (avec pingur) et blancs (sans pingur) entre le jour et la nuit car il semble que les captures accidentelles soient plus fréquentes de nuit que de jour. Ainsi, il faut assurer une alternance Avec_pingur / Sans_pingur / Avec_pingur / Sans_pingur ... durant chaque journée de 24 heures tout en veillant à intervertir l'ordre d'apparition d'un jour à l'autre. En d'autres termes, il faut chercher à équilibrer, du mieux possible et tout au long de la marée, les traits « avec pingur » et les traits « sans pingur » ainsi que les traits tests de jour et les traits tests de nuit.

De ce fait, par exemple, le premier trait de nuit sera avec pingur à J, J+2, J+4, J+6 etc..., et sans pingur à J+1, J+3, J+5 etc. Les traits suivants dans la journée se feront également en alternance.

Période :	T 0	T+ 6 h	T+ 12 h	T + 18 h
....				
Jour C	Test	Blanc	Test	Blanc
Jour D	Blanc	Test	Blanc	Test
Jour E	Test	Blanc	Test	Blanc
Jour F	Blanc	Test	Blanc	Test
....

Tableau 4 : Schéma théorique de l'alternances des traits avec/sans pingurs

Mise en œuvre du protocole

A chaque trait, des informations ont été collectées au moyen du « FORMULAIRE TRAIT » (ANNEXE 1). Il permet d'enregistrer les informations suivantes :

- ✓ Caractéristiques du trait : date, heure, position, vitesse, profondeur de chalutage, profondeur de la corde de dos
- ✓ Informations météo : vent, état de la mer
- ✓ Pingons : mise-en œuvre (ou non) des pingons, et si oui le niveau de charge de ces derniers
- ✓ Capture : espèce cible, quantité débarquée/rejetée.
- ✓ Mammifères marins : Présence autour du navire, capture accidentelle

En cas de capture accidentelle, la fiche « CAPTURE ACCIDENTELLE » (ANNEXE 2) est renseignée afin d'enregistrer les informations suivantes :

- ✓ L'espèce
- ✓ Son état : vivant ou mort (s'il est vivant il est tout de suite remis à l'eau)
- ✓ Maillé : préciser s'il est maillé dans le chalut
- ✓ Longueur totale et sexe
- ✓ La présence de marques/blessures

Le protocole a été mis en œuvre en continu sur l'ensemble de la période durant laquelle les différentes paires ont été engagées, c'est à dire de février à avril. Dans le cadre des expérimentations, un observateur de la société Oceanic Développement a été mobilisé afin de réaliser les observations. En son absence, le protocole et les observations ont été mis en œuvre par l'équipage.

3.4.2 Marquage de carcasses

Si l'animal est mort, des marques sont utilisées afin de marquer les carcasses. Chaque marque, comportant un numéro unique, est fixée au niveau de la nageoire caudale (Voir Figure 11). Le numéro de la marque, l'heure et la position de remise à l'eau des carcasses sont enregistrés sur le formulaire CAPTURE ACCIDENTELLE (Annexe 2).



Figure 11 : Bague sur la caudale d'un dauphin commun capturé accidentellement.

3.5 Méthodologie d'analyse

3.5.1 Estimation du nombre de dauphins avec ou sans l'usage des pingers

L'analyse des données permet de calculer simplement différents indicateurs comme le nombre de captures accidentelles moyen par trait observé avec ou sans pingers sur une période définie.

Sous les hypothèses détaillées dans Northridge et al. (2011), il est alors possible d'estimer le nombre de captures accidentelles avec ou sans pingers, et ce, à différentes échelles (spatiales et temporelles) et selon différents scénarios.

3.5.2 Estimation de l'efficacité des pingers (modélisation)

Afin d'évaluer l'efficacité des pingers, une analyse statistique des données récoltées lors du programme PIC a été réalisée. Cette analyse vise à estimer (1) la prévalence d'évènements de captures accidentelles lors d'une opération de chalutage (en tenant compte de la durée du trait), et (2) lors d'un évènement de capture accidentelle, le nombre d'animaux capturés accidentellement (c'est-à-dire l'intensité de cet évènement de capture accidentelle). Cette analyse comprend donc deux sous-modèles statistiques : un premier modèle pour données binaires (0 = pas d'évènement de capture accidentelle sur un trait de chalut ; 1 = évènement de capture accidentelle), et un second modèle pour des données de comptage supérieures à 1 (puisque'il y a eu évènement de capture accidentelle, au moins un animal est concerné). Ces deux modèles sont ajustés conjointement aux données récoltées lors du programme PIC afin d'estimer le taux moyen de captures accidentelles de dauphins par heure de chalutage avec et sans pinger. Le rapport du taux estimé avec pinger sur le taux estimé sans pinger fournit l'efficacité des pingers.

Les équations et les informations sur la construction et l'ajustement des modèles sont fournies en Annexe 3. Les estimations sont fournies avec un intervalle de confiance à 95% sous la forme $\text{borne inférieure}^{\text{MOYENNE}}_{\text{borne supérieure}}$. Sur le plan technique, cette analyse diffère de l'analyse présentée dans Northridge et al. (2011), et tient compte explicitement de la forte variabilité du nombre d'animaux capturés accidentellement des évènements de captures accidentelles.

4 Résultats

4.1 Description des observations réalisées

Le protocole a été mis en œuvre sur 3 paires de chalutiers pélagiques pratiquant le chalut pélagique en bœuf.

Paire	Nombre d'observations	Début de la période d'observation	Fin de la période d'observation
Paire 1	114	16/02/2018	14/04/2018
Paire 2	68	01/03/2018	27/04/2018
Paire 3	36	25/02/2018	27/03/2018

Tableau 5 : Caractéristiques des observations réalisées dans le cadre du projet PIC

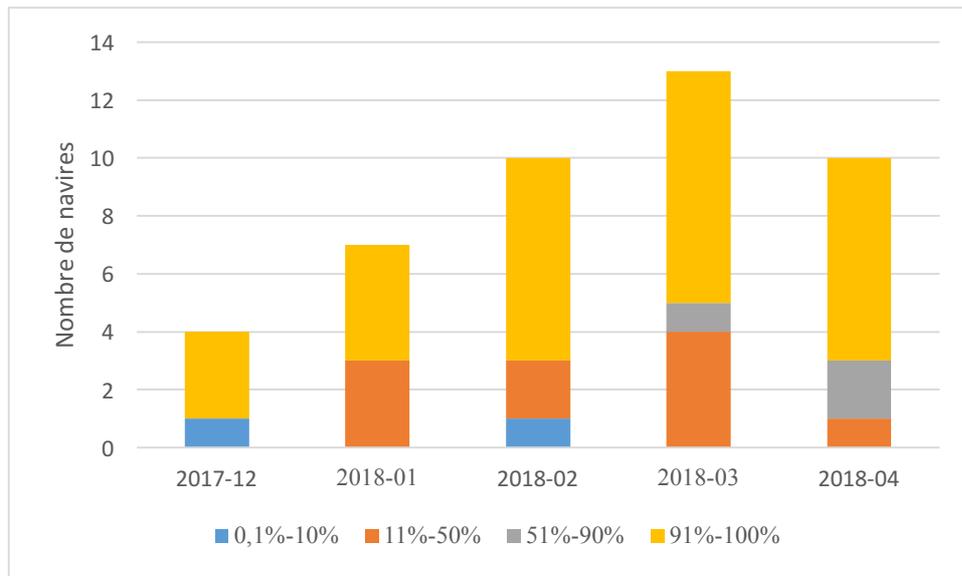


Figure 12 : Répartition par mois et par paire des expérimentations réalisées dans le cadre du projet PIC

Sur cette période, l'ensemble des opérations de pêche de ces navires au chalut pélagique ont été observées (par un observateur ou en « auto-échantillonnage »). Elles représentent donc l'intégralité de leur activité de pêche sur cette période. Le protocole a été mis en œuvre dès lors que les navires impliqués sont passés de l'activité « chalut de fond » à l'activité « chalut pélagique ». Ainsi 218 opérations de pêche ont été observées.

Code Paire	Mois	Jour		Nuit		TOTAL	
		Sans Pingers	Avec Pingers	Sans Pingers	Avec Pingers	Sans Pingers	Avec Pingers
Paire 1	Février	4	1	13	8	17	9
	Mars	14	1	26	19	40	20
	Avril	7	0	17	4	24	4
Paire 2	Mars	8	7	13	11	21	18
	Avril	5	6	10	8	15	14
Paire 3	Février	0	0	3	3	3	3
	Mars	0	0	14	16	14	16
TOTAL		38	15	96	69	134	84

Tableau 6 : Descriptif des observations par paire et par mois en fonction de la période de la journée (jour/nuit) et de la présence ou l'absence de pingers

La majorité des opérations de pêche ont été réalisées la nuit (n=165) ce qui correspond à l'activité pélagique qui cible le merlu et durant laquelle, la grande majorité du temps, les navires ne travaillent pas de jour. Les pingers ont été mis en œuvre lors de 84 opérations de pêche (38,5%). 134 opérations de pêche (61,5%) ont donc été réalisées sans pingers.

	% Merlu	% Bar
Paire 1	90%	6%
Paire 2	98%	1%
Paire 3	92%	7%

Tableau 7 : Proportion de Merlu et de Bar dans les captures des 3 paires ayant participé aux expérimentations PIC

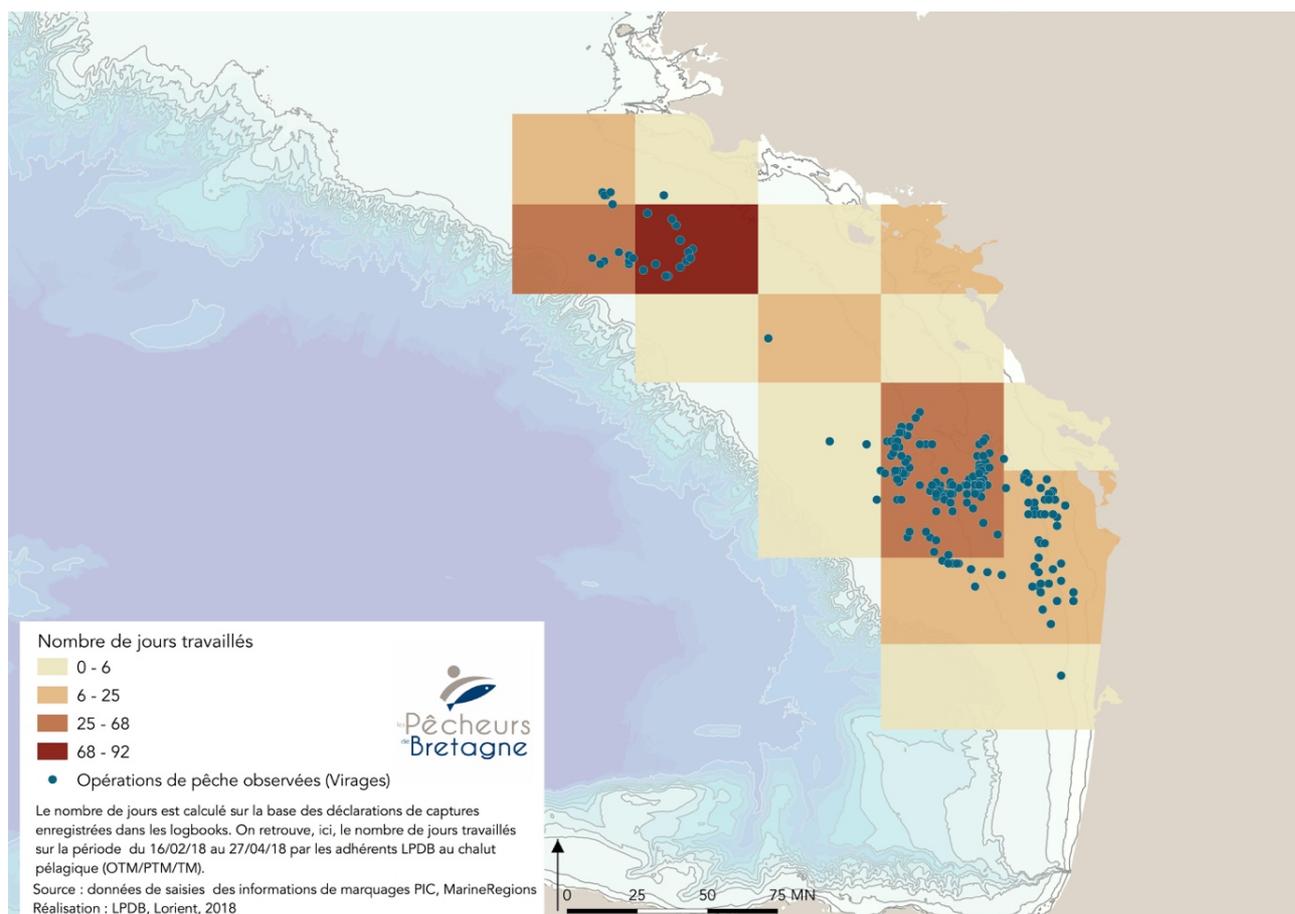


Figure 13 : Cartographie du nombre de jours d'activités au PTM des adhérents LPDB et des opérations de pêche observées dans le cadre du projet PIC.

Les observations réalisées dans le cadre du projet PIC sont représentatives de l'activité des chalutiers pélagiques telle que décrite en 4.3. En effet, (1) le tableau 7 indique que la composition des captures est identique à celle de la flottille pélagique dans le golfe de Gascogne (2) la figure 13 montre que les opérations de pêche ont eu lieu sur des zones majoritairement fréquentées par les flottilles pélagiques sur la période et (3) que la période d'expérimentation (février-avril) correspond à la principale période d'activité des chalutiers pélagiques dans le golfe de Gascogne.

D'après les pêcheurs, l'utilisation des pingurs semble ne pas avoir eu de conséquences sur les niveaux de captures des espèces commerciales. Cela est confirmée par l'analyse des quantités débarquées par trait avec ou sans pingurs.

La mise en œuvre des pingurs lors de l'opération de pêche nécessite des manipulations supplémentaires de la part de l'équipage. Ces contraintes ont été jugées acceptables par les patrons ayant expérimenté les pingurs.

4.2 Estimation de l'efficacité des pingers

4.2.1 Comparaison des captures avec/sans pingers

	Code Paire	Sans Pingers	Avec Pingers	Total par Paire
Nb traits sans captures accidentelles	Paire 1	73	33	106
	Paire 2	33	31	64
	Paire 3	9	15	24
	Sous-total	115	79	194
Nb traits avec captures accidentelles	Paire 1	8	0	8
	Paire 2	3	1	4
	Paire 3	8	4	12
	Sous-total	19	5	24

	Code Paire	Sans Pingers	Avec Pingers	Total par Paire	% Réduction avec pingers
Nb d'individus capturés accidentellement	Paire 1	25	0	25	-100%
	Paire 2	6	1	7	-83%
	Paire 3	24	5	29	-79%
		55	6	61	

Tableau 8 : Nombre de captures accidentelles et de traits avec captures accidentelles observés en fonction de la mise en œuvre ou non de pingers.

Toutes les captures accidentelles concernaient (1) des dauphins communs (2) capturés de nuit. Il n'y a eu aucune capture accidentelle de dauphins observée lors du mois d'avril. Lors des traits où une (des) capture(s) accidentelle(s) est présente, le merlu constitue en moyenne 83% $[\sigma 26\%]$ de la capture. Lorsqu'il y a des captures accidentelles, il y a en général plusieurs individus. Le nombre moyen d'individus par trait où il y a eu une capture accidentelle est respectivement de 3.13 pour la Paire 1, 1.75 pour la Paire 2 et 2.42 pour la Paire 3.

L'utilisation des pingers a permis une réduction moyenne de 88% $[\sigma 11\%]$ par paire du nombre de captures accidentelles. L'utilisation des pingers a permis une réduction moyenne de 72% $[\sigma 25\%]$ par paire du nombre d'opérations de pêche avec captures accidentelles.

4.2.2 Modélisation

Les données utilisées pour estimer les taux moyens de capture accidentelle de dauphins par heure de chalutage avec et sans pinger concernent uniquement le mois de mars 2018. Durant ce mois, les trois paires de chalutiers étaient actives, ce qui assure une meilleure comparabilité des données. 131 traits de chaluts ont été réalisés :

- 55 traits avec déploiement de pingurs, dont 5 avec un évènement de capture accidentelle un total de 6 animaux capturés (dont un maximum de 2 animaux capturés accidentellement par trait) ; et
- 76 traits sans déploiement de pingurs, dont 12 avec un évènement de capture accidentelle pour un total de 35 animaux capturés (dont un maximum de 5 animaux capturés accidentellement par trait).

La durée des traits pendant le mois de mars est représentée sur la Figure 14 : elle est comparable entre traits avec et sans pingurs.

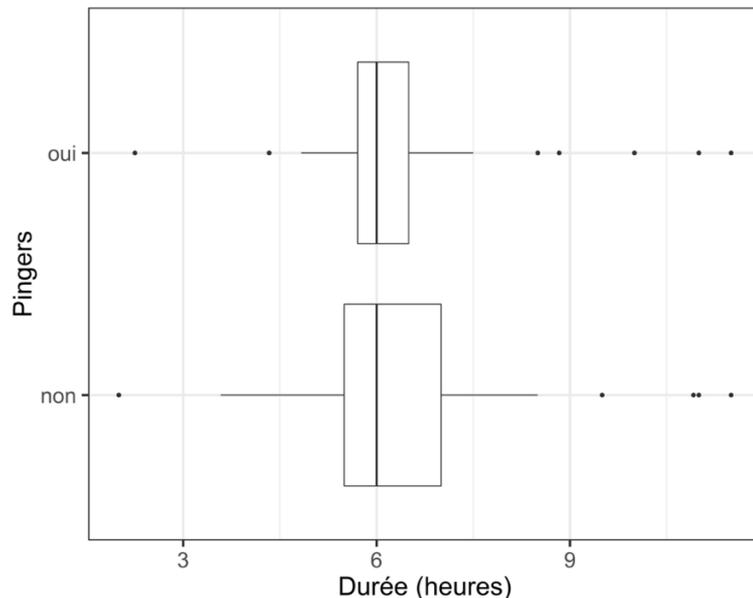


Figure 14 : Représentation en « boîte à moustache » de la durée des traits de chaluts du mois de mars.

Le taux de capture moyen par heure de chalutage sans pinger est estimé à $0,03$ $_{0,06}$ $_{0,10}$ dauphins. Le taux de capture moyen par heure de chalutage avec pinger est estimé à $0,00$ $_{0,02}$ $_{0,05}$ dauphins. **L'efficacité des pingurs à diminuer le taux de captures accidentelles est estimée à 156598% .**

4.3 Estimation du nombre de captures accidentelles avec ou sans pingurs

Comme proposé par Northridge et al. (2011), le rapport entre le nombre de captures accidentelles et le nombre d'opérations de pêche permet de calculer par mois un nombre moyen de captures accidentelles par opération de pêche sous certaines hypothèses. Ces résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous (Tableau 9) :

	Nombre d'individus capturés accidentellement par trait		
	Moyen	Sans Pingurs	Avec Pingurs
Février	0,60	0,86	0,17
Mars	0,39	0,68	0,10
Avril	0,00	0,00	0,00

Tableau 9 : Nombre d'individus capturés accidentellement par trait

Afin d'estimer l'effet des pingurs nous cherchons à prédire le nombre de captures accidentelles à l'échelle des 3 navires les ayant expérimentés selon 2 scénarios : (1) Si aucun

pingers n'avait été mis en œuvre lors de la période d'expérimentation (2) si la mise en œuvre des pingers avait été totale lors de la période d'expérimentation. Les estimations issues de la comparaison de capture et celles issues de la modélisation (cf. 6.2.2) sont utilisées.

Le nombre mensuel de captures accidentelles par trait (ou par heure) est multiplié par le nombre total de traits (ou d'heures) réalisés dans le mois par les navires ayant participé aux expérimentations.

Les 3 paires ayant participé aux essais ont mis en place un protocole utilisant en alternance les pingers afin de tester leur efficacité. Les estimations du tableau 9 permettent de prédire qu'un usage en continu aurait permis une limitation très significative du nombre de captures accidentelles et aurait abouti à un nombre réduit de captures accidentelles (n=15). A l'inverse, en considérant aucune mise en œuvre de ces pingers, ces estimations permettent de prédire 115 individus qui auraient été capturés accidentellement.

	Estimation du nombre d'individus capturés accidentellement	
	Aucune mise en œuvre de pingers	Mise en œuvre systématique de pingers
Février	27,61	5,33
Mars	87,38	9,06
Avril	0,00	0,00
Total	115	15

Tableau 10 : estimation du nombre d'individus capturés accidentellement sur la saison selon 2 scénarios sur la période d'expérimentation (1) aucune mise en œuvre des pingers ou (2) mise en œuvre totale des pingers sur la base des informations issues de la comparaison de captures.

En utilisant les estimations issues de la modélisation (cf 6.2.2), une mise en œuvre systématique des pingers lors des traits du mois de mars aurait abouti à 424_{50} dauphins capturés accidentellement ; alors qu'aucune mise en œuvre des pingers auraient abouti à 1657_{98} dauphins capturés accidentellement.

Considérant le nombre de paires de chalutiers pélagiques travaillant dans le golfe de Gascogne à cette saison (n=14) et partant du principe que l'activité de ces 3 paires est représentative de celle des autres navires de cette flottille, il est possible de prédire par extrapolation, en appliquant un pro-rata, le nombre de dauphins capturés accidentellement par la flottille pélagique à 537 individus sur la période d'expérimentation. Le déploiement des pingers à l'échelle de l'ensemble des chalutiers pélagiques aurait pu permettre de limiter le nombre de dauphins capturés accidentellement à environ 70 individus sur la période d'expérimentation.

En utilisant les estimations issues de la modélisation (cf 6.2.2), la prédiction pour le mois de mars extrapolée à une flottille pélagique de 14 navires est de 74266_{458} dauphins capturés accidentellement sans aucune mise en œuvre des pingers, contre 18112_{234} dauphins capturés accidentellement avec une mise en œuvre systématique des pingers.

4.4 Marquage

Lors des expérimentations 17 carcasses de dauphins morts capturés accidentellement ont été marquées. 53% (n=9) ont été retrouvées échouées sur les plages par le RNE.

Le temps de dérive moyen est de 18,6 jours (min : 9j / max : 22j) et la distance moyenne en ligne droite est de 59,7 milles nautiques (min : 18 mn / max : 110 mn).

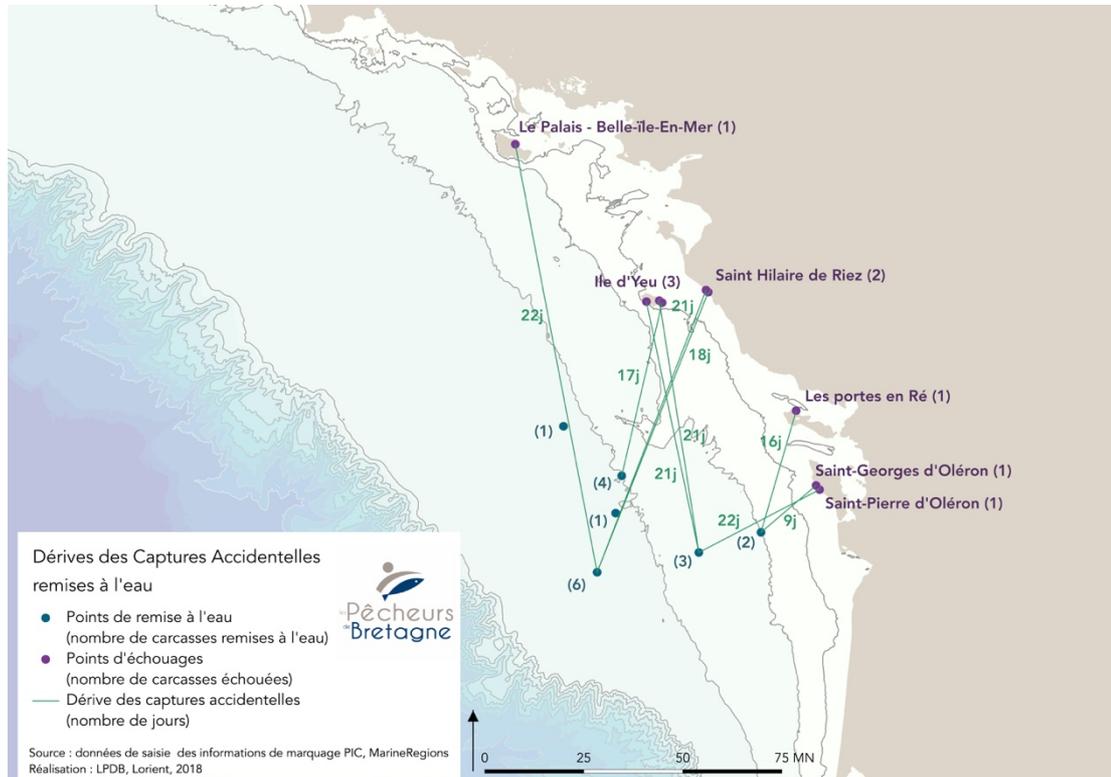


Figure 15 : Cartographie des opérations de pêche durant lesquelles des captures accidentelles ont été marquées.

Certaines carcasses relâchées au même moment (même heure, même position) ont été retrouvées échouées sur des lieux relativement éloignés l'un de l'autre. Ainsi sur les 4 opérations de pêche durant lesquelles plusieurs carcasses ont été marquées et remises à l'eau simultanément, des échouages éloignés ont été observés dans 75% des cas :

- ✓ Cas1 : 2 individus échoués à l'Ile d'Yeu et 1 à l'Ile d'Oléron ;
- ✓ Cas2 : 2 individus échoués à Saint Hilaire de Riez et 1 à Belle Ile ;
- ✓ Cas3 : 1 individu échoué sur l'Ile d'Oléron et 1 sur l'Ile de Ré.

5 Discussions

Les expérimentations ont été réalisées sur 3 paires de chalutiers pélagiques représentant environ 20% de la flottille entre février et avril dans le golfe de Gascogne. Cette période qui a entièrement été couverte par les expérimentations correspond à la réalité de l'activité de ces navires au chalut pélagique qui travaillent le reste de la période hivernale (décembre à mi-février) majoritairement au chalut de fond. Sur les 3 paires volontaires, l'intégralité des traits de chaluts a été observée sur la période considérée ce qui donne une

image exhaustive, sans extrapolation ni modélisation, du nombre d'évènements de captures accidentelles et le nombre d'animaux concernés sur la période considérée. Ces informations sont nouvelles et apportent des éléments complémentaires aux connaissances disponibles issues des données d'observation (OBSMER) et aux données du réseau d'échouage (RNE).

Concernant la modélisation réalisée, les données utilisées pour estimer les taux de captures accidentelles ne sont pas nombreuses et par conséquent, les estimations obtenues ne sont pas précises (intervalle de confiance large). De plus, des vérifications complémentaires sur la qualité de l'ajustement des modèles statistiques aux données suggèrent que l'estimation de l'efficacité des pingurs pourraient être légèrement biaisée, sans qu'il soit aisé d'évaluer l'ampleur du biais ou sa direction (cf. Annexe 3 sur les détails de l'analyse). Néanmoins, l'analyse permet de conclure avec confiance que les pingurs sont efficaces pour réduire le taux de captures accidentelles.

Ces résultats sont cohérents avec ceux obtenus sur la pêcherie anglaise de bar en Manche (Northridge et al., 2011) qui évalue une efficacité proche de 100% des pingurs DDD testés selon un protocole différent (utilisation en continu du pingurs sur une saison, mais analyse statistique différente). L'utilisation des pingurs lors de ces tests a permis de réduire concrètement le nombre de captures accidentelles.

L'opération réalisée sur le marquage de carcasses met en avant la sensibilité de certains paramètres nécessaires aux méthodologies d'évaluation du nombre de captures accidentelles basées sur les échouages, notamment les modalités de dérive des carcasses. En effet, (1) le taux de récupération de carcasses lors de ces expérimentations a été plus élevé (53% [31%;74%]) que celui estimé et utilisé par Peltier et al. en 2016 (17,9% [9%;29%]) (2) et des carcasses remises à l'eau au même endroit peuvent s'échouer en des points relativement éloignés. Cet écart peut s'expliquer par le fait que l'emprise spatiale dans le cadre des expérimentations PIC est plus restreinte que par le passé et que la proximité des côtes est plus importante. Ces évolutions sont cependant représentatives de l'évolution de l'activité de la flottille pélagique. Enfin, ces expérimentations mettent en avant la difficulté et la sensibilité de modélisation des trajectoires. Il serait donc intéressant de continuer les actions visant à estimer ce paramètre et à revoir les évaluations du nombre de capture accidentelles à la vue de ces nouvelles informations.

Par ailleurs, les évaluations du nombre de captures accidentelles sur la base des observations réalisées dans le cadre du projet PIC prédisent le nombre de dauphins capturés accidentellement par la flottille pélagique aux alentours de 537 individus pour la période de février à avril 2018. Cette estimation présente un cas de figure potentiellement plus optimiste que celle issue de la modélisation et ne tient pas compte de différentes incertitudes. Bien que les observations réalisées dans le cadre du projet PIC sont représentatives de l'activité des chalutiers pélagiques de LPDB (cf 6.1), cette estimation ne prend pas en compte les éventuelles captures réalisées hors de cette période par les quelques navires pratiquant le chalut pélagique ni d'éventuelles différences de stratégie spatio-temporelle au sein de la

flottille pélagique et au sein d'autres OP. Cependant l'ordre de grandeur de cette évaluation sur l'année 2018 (correspondant à la contribution de l'activité pélagique aux captures accidentelles) est largement inférieure à l'évaluation globale des captures accidentelles estimés par le biais des échouages pour les années passées (Peltier et al. 2016).

Les incertitudes relatives à l'estimation des populations de dauphins communs, aux unités de gestion, aux phénomènes de captures accidentelles d'un point de vue qualitatif et quantitatif sont nombreuses. Ainsi en fonction des paramètres utilisés, les menaces relatives aux populations de dauphins peuvent être avérées ou non.

Cependant, quel que soit le niveau de risque, il est dans l'intérêt de tous (1) de mener des actions pour améliorer la connaissance sur les populations de dauphins et (2) de mettre en œuvre des solutions opérationnelles et viables permettant de limiter ce phénomène de captures accidentelles. Dans cette optique, les pingers DDD testés dans le cadre de ce projet constitue une solution intéressante et opérationnelle pour la flottille pélagique.

6 Perspectives

Sur la base de ces premiers résultats très encourageants et après discussions avec les pêcheurs concernés, les mesures suivantes seront mises en œuvre du 1er décembre 2018 au 30 avril 2019 pour les chalutiers pélagiques en bœuf travaillant sur la façade Atlantique :

1. Équipement des navires en répulsifs « pingers DDD ».
2. Amélioration de la connaissance scientifique par le marquage de carcasses afin de mieux comprendre la relation entre captures accidentelles et les observations d'échouages.
3. Augmentation très significative de la présence d'observateurs à bord pour améliorer la connaissance des interactions entre les activités de pêche et les dauphins, caractériser et objectiver le phénomène de captures accidentelles.

En parallèle de ces actions concrètes et opérationnelles, professionnels et scientifiques ont déposé une réponse à l'appel à projet Mesure innovante du FEAMP pour la période 2019-2022. Le projet LICADO, porté par le CNPMM, concerne les métiers du chalut pélagique et de la pêche au filet. Il a pour objectif de développer différents systèmes technologiques visant à limiter les captures accidentelles de dauphins communs. Il comportera aussi une réflexion sur les pratiques et stratégies d'évitement et une étude de faisabilité de mesures de gestion innovantes.

7 Remerciements

Le présent rapport s'inscrit dans le cadre du projet PIC, porté par *Les Pêcheurs de Bretagne*, avec le soutien financier de France Filière Pêche. Ce projet s'inscrit également dans la mise en œuvre de la mesure 4.3 du Plan de Production et de Commercialisation (PPC) de *Les Pêcheurs de Bretagne*, soutenu financièrement par le FEAMP. Merci aux patrons et aux équipages qui ont participé à la réflexion et à la mise en place des expérimentations en mer.

8 Références

CODA, 2009. Cetacean Offshore Distribution and Abundance in the European Atlantic (CODA), 43pp

Cornou Anne-Sophie, Dimeet Joel, Tetard Alain, Gaudou Olivier, Dube Benoit, Fauconnet Laurence, Rochet Marie-Joelle (2013). Observations à bord des navires de pêche professionnelle. Bilan de l'échantillonnage 2012. <https://doi.org/10.13155/27787>

Cornou Anne-Sophie, Dimeet Joel, Tetard Alain, Gaudou Olivier, Quinio-Scavinner Marion, Fauconnet Laurence, Dube Benoit, Rochet Marie-Joelle (2015). Observations à bord des navires de pêche professionnelle. Bilan de l'échantillonnage 2013. <https://doi.org/10.13155/35856>

Cornou Anne-Sophie, Quinio-Scavinner Marion, Delaunay Damien, Dimeet Joel, Goascoz Nicolas, Dube Benoit, Fauconnet Laurence, Rochet Marie-Joelle (2015). Observations à bord des navires de pêche professionnelle. Bilan de l'échantillonnage 2014. <https://doi.org/10.13155/39722>

Cornou Anne-Sophie, Dimeet Joel, Goascoz Nicolas, Scavinner Marion, Rochet Marie-Joelle (2016). Captures et rejets des métiers de pêche français. Résultats des observations à bord des navires de pêche professionnelle en 2015. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00353/46441/>

Cornou Anne-Sophie, Goascoz Nicolas, Scavinner Marion, Chassanite Aurore, Dubroca Laurent, Rochet Marie-Joelle (2017). Captures et rejets des métiers de pêche français. Résultats des observations à bord des navires de pêche professionnelle en 2016. <https://archimer.ifremer.fr/doc/00418/52945/>

Dars C., Dabin W., Demaret F., Dorémus G., Meheust E., Mendez-Fernandez P., Peltier E., Spitz J. Van Canneyt O., 2018. [Les échouages de mammifères marins sur le littoral français en 2017](#).  Rapport scientifique de l'Observatoire PELAGIS : 66p.

Hammond, C Lacey, A Gilles, S Viquerat, P Börjesson, H Herr, K Macleod, V Ridoux, MB Santos, M Scheidat, J Teilmann, J Vingada, N Øien, 2017. Estimates of cetacean abundance in European Atlantic waters in summer 2016 from the SCANS-III aerial and shipboard surveys

ICES, 2018. Bycatch of small cetaceans and other marine animals – review of national reports under Council Regulation (EC)No 812/2004 and other information

Laran S., Authier M., Blanck A., Dorémus G., Falchetto H., Monestiez P., Pettex E., Stephan E., Van Canneyt O., Ridoux V. (2017). Seasonal distribution and abundance of cetaceans within French waters -Part II: The Bay of Biscay and the English Channel, Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, Available online 22 December 2016, ISSN 0967-645.

Larsen, F., Eigaard, O. R., and Tougaard, J. 2002. Reduction of harbour porpoise by-catch in the North Sea by high-density gill nets. IWC Scientific Committee Working Paper.

Murphy, S., Pinn, E.H., Jepson, P.D., 2013. The short-beaked common dolphin (*Delphinus delphis*) in the northeast atlantic distribution, ecology, management and conservation status. *Oceanogr. Mar. Biol. Annu. Rev.* 51, 193–280.

Northridge, S., Kingston, A., Mackay, A. and Lonergan, M. (2011). Bycatch of Vulnerable Species: Understanding the Process and Mitigating the Impacts. Final Report to Defra Marine and Fisheries Science Unit, Project no MF1003. University of St Andrews. Defra, London, 99pp.)

Peltier H., Authier M., Deaville R., Willy Dabin W., Jepson P., Van Canneyt O., Daniel P., Ridoux V., 2016 Small cetacean bycatch as estimated from stranding schemes : the common dolphin case in the North east atlantic, *Environmental Science & Policy* 63 (2016) 7–18

9 Liste des tableaux et figures

Tableau 1 : Nombre de captures accidentelles de dauphins communs dans le golfe de Gascogne observées dans le cadre du programme OBSMER de 2012 à 2016	5
Tableau 2 : Estimation du nombre de captures accidentelles de dauphins communs cumulées sur 2015 ou 2016 par zone et par métier. Les valeurs minimales et maximales correspondent à un intervalle de confiance de 95%.....	6
Tableau 3 : Tableau des durées d'émission en fonction des fréquences d'émission (source OCTECH)	14
Tableau 4 : Schéma théorique de l'alternances des traits avec/sans pingings.....	15
Tableau 5 : Caractéristiques des observations réalisées dans le cadre du projet PIC.....	17
Tableau 6 : Descriptif des observations par paire et par mois en fonction de la période de la journée (jour/nuit) et de la présence ou l'absence de pingings	18
Tableau 7 : Proportion de Merlu et de Bar dans les captures des 3 paires ayant participé aux expérimentations PIC	18

Tableau 8 : Nombre de captures accidentelles et de traits avec captures accidentelles observés en fonction de la mise en œuvre ou non de pingurs.....	20
Tableau 9 : Nombre d'individus capturés accidentellement par trait.....	21
Tableau 10 : estimation du nombre d'individus capturés accidentellement sur la saison selon 2 scénarios sur la période d'expérimentation (1) aucune mise en œuvre des pingurs ou (2) mise en œuvre totale des pingurs sur la base des informations issues de la comparaison de captures.	22
Figure 1 : Distribution annuelle 1990-2018 – Echouage dauphins communs (source Dars , 2018)	4
Figure 2: Cartographie des campagnes aériennes destinées à estimer l'abondance des populations de cétacés.....	7
Figure 3 : Evolution du nombre de navires adhérents à LPDB ayant pratiqué le chalut pélagique (PTM) au moins une fois du mois de décembre 2017 à mars 2018.	10
Figure 4 : Evolution du nombre de navires adhérents à LPDB ayant pratiqué le chalut pélagique (PTM) au moins une fois du mois de décembre 2017 à mars 2018 et répartition en fonction de la part du métier pélagique (en nombre de jour) par rapport aux autres métiers	10
Figure 5 : Zone de pêche fréquentées par les adhérents LPDB pratiquant le métier du pélagique de décembre 2017 à mars 2018.	11
Figure 6 : Les pingurs testés en action de pêche.....	12
Figure 7 : Analyse spectrale du signal émis par les pingurs DDD03H	13
Figure 8 : Analyse impulsionnelle sur 2 fréquences	13
Figure 9 : Zone de couverture des émissions du DDD (source STM products)	14
Figure 10 : Positionnement des lors des expérimentations PIC.....	15
Figure 11 : Bague sur la caudale d'un dauphin commun capturé accidentellement.	16
Figure 12 : Répartition par mois et par paire des expérimentations réalisées dans le cadre du projet PIC.....	18
Figure 13 : Cartographie du nombre de jours d'activités au PTM des adhérents LPDB et des opérations de pêche observées dans le cadre du projet PIC.	19
Figure 14 : Représentation en « boîte à moustache » de la durée des traits de chaluts du mois de mars.....	21
Figure 15 : Cartographie des opérations de pêche durant lesquelles des captures accidentelles ont été marquées.	23

10 Annexes

- ✓ ANNEXE 1 : Fiche TRAIT
- ✓ ANNEXE 2 : Fiche CAPTURE ACCIDENTELLE
- ✓ ANNEXE 3 : Détail de la modélisation des captures

ANNEXE 1

Formulaire Trait

Une feuille par trait

Date **Observateur?** **Nom du navire**

Num Trait Pingers? OUI NON Espèce Cible Type Chalut

Filage et conditions du trait

Lat:		Heure		Vitesse		Vent (BFt/Dir)	Observation de mamifères autour du navire	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON <input type="checkbox"/> NSP
Long:		Sonde		Prof. Corde de dos		Etat Mer/Houle		Si oui, espèce, nombre, comportement, distance...
Pingers	Babord	Fonct OK?	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	Niveau de charge				
	Tribord	Fonct OK?	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	Niveau de charge				

Virage

Jour/Nuit

Lat:		Heure		Avaries	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	<input type="checkbox"/> Nuit <input type="checkbox"/> Levée du jour <input type="checkbox"/> Jour <input type="checkbox"/> Tombée de la nuit
Long:		Navire?		Précisez:		
Pingers	Babord	Fonct OK?	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	Niveau de charge		
	Tribord	Fonct OK?	<input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON	Niveau de charge		

Captures débarquées et rejetées

Captures accidentelles

Espèce débarquées	Nom espèce	Quantité	Espèce rejetées	Nom Espèce	Quantité	<input type="checkbox"/> NON	<input type="checkbox"/> OUI	Compléter Formulaire Capture accidentelle
								Espèce
								Nombre

Commentaire sur le trait

ANNEXE 2

Fiche Capture Accidentelle

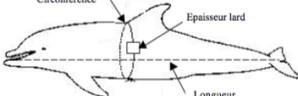
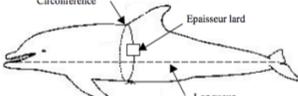
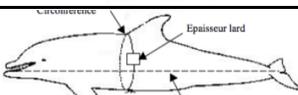
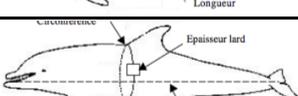
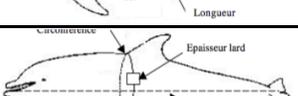
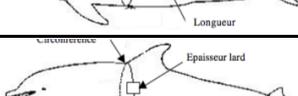
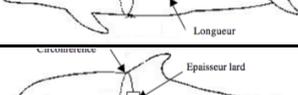
1 fiche par trait où il y a eu des captures accidentelles

1 ligne par individu capturé

Date

Num Trait

Remise à l'eau

Espèce	Etat	Sexe	Maillé? Préciser la positions	Blessures?	Ref Photos	Longueur	Référence Marque	Heure	Position	Ref prélèv. Dents
	<input type="checkbox"/> Vivant <input type="checkbox"/> Mort	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> NSP		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non					Lat: Long:	
	<input type="checkbox"/> Vivant <input type="checkbox"/> Mort	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> NSP		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non					Lat: Long:	
	<input type="checkbox"/> Vivant <input type="checkbox"/> Mort	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> NSP		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non					Lat: Long:	
	<input type="checkbox"/> Vivant <input type="checkbox"/> Mort	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> NSP		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non					Lat: Long:	
	<input type="checkbox"/> Vivant <input type="checkbox"/> Mort	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> NSP		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non					Lat: Long:	
	<input type="checkbox"/> Vivant <input type="checkbox"/> Mort	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> NSP		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non					Lat: Long:	
	<input type="checkbox"/> Vivant <input type="checkbox"/> Mort	<input type="checkbox"/> M <input type="checkbox"/> F <input type="checkbox"/> NSP		<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non					Lat: Long:	

ANNEXE 3

Détails de l'analyse statistique

Soit y_i le nombre de dauphins capturés accidentellement lors du $i^{\text{ème}}$ trait de chalut (dont la durée est de durée $_i$ heures). Le modèle utilisé pour analyser ces données est un modèle dit « hurdle model » et comprend deux sous-modèle : un sous-modèle pour modéliser la prévalence des évènements de captures ; et un autre sous-modèle pour modéliser l'intensité des évènements conditionnellement à l'occurrence de ceux-ci.

Soit z_i une variable binaire telle que :

$$\begin{cases} z_i = 0, & \text{si } y_i = 0 \\ z_i = 1, & \text{si } y_i \neq 0 \end{cases}$$

Le sous-modèle pour la prévalence de capture accidentelle est une régression logistique :

$$\begin{aligned} z_i &\sim \text{Bernoulli}(p_i) \\ \log\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) &= \alpha_0 + \alpha_1 \times \text{pinger}_i + \alpha_2 \times \text{durée}_i \end{aligned}$$

La covariable pinger_i est égale à 1 si un pinger était déployé sur le $i^{\text{ème}}$ trait de chalut, et est égale à 0 autrement. Le signe du paramètre α_1 détermine si la pose de pingers augmente ou diminue la prévalence d'un évènement de capture accidentelle.

Le sous-modèle pour l'intensité d'un évènement de capture accidentelle est une régression Poisson tronquée à 0 (ici dénotée par Poisson^+) :

$$\begin{aligned} y_i | (z_i = 1) &\sim \text{Poisson}^+(\lambda_i) \\ \lambda_i &= \text{durée}_i \times e^{\beta_0 + \beta_1 \times \alpha_1 \times \text{pinger}_i} \end{aligned}$$

On impose que le paramètre $\beta_1 \geq 0$: si la pose de pingers diminue la prévalence ($\alpha_1 < 0$), on s'attend également à ce qu'elle diminue l'intensité des captures accidentelles.

Sous ce modèle « hurdle », le taux de capture accidentelle sans pingers est:

$$\mu_1 = \frac{e^{\beta_0}}{1 + e^{-\alpha_0}}$$

Le taux de capture accidentelle avec pingers est:

$$\mu_2 = \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 \times \alpha_1}}{1 + e^{-\alpha_0 - \alpha_1}}$$

L'efficacité des pingers est le rapport de ces taux: $\gamma = 1 - \mu_2 / \mu_1$.

L'estimation des 4 paramètres ($\alpha_0, \alpha_1, \beta_0, \beta_1$) du modèle « hurdle » se fait dans un cadre Bayésien. Ce dernier nécessite de définir des a priori sur ces paramètres : ces a priori traduisent l'état des connaissances avant la collecte de données.

- $\alpha_0 \sim \mathcal{N}(0.0, 1.5)$ ¹ : la prévalence des événements de capture accidentelle sans pinger est comprise entre 0 et 1 ;
- $\alpha_1 \sim S\left(7, 0.0, \frac{\log(2)}{3}\right)$ ² : l'effet probable des pingers est une diminution de moitié ou un doublement de la prévalence
- $\beta_0 \sim \mathcal{N}(0.0, 1.0)$ ³
- $\beta_1 \sim \Gamma(2.0, 2.0)$ ⁴ : l'effet probable des pingers est une diminution de moitié ou un doublement de l'intensité du nombre d'animaux capturés lors d'un événement.

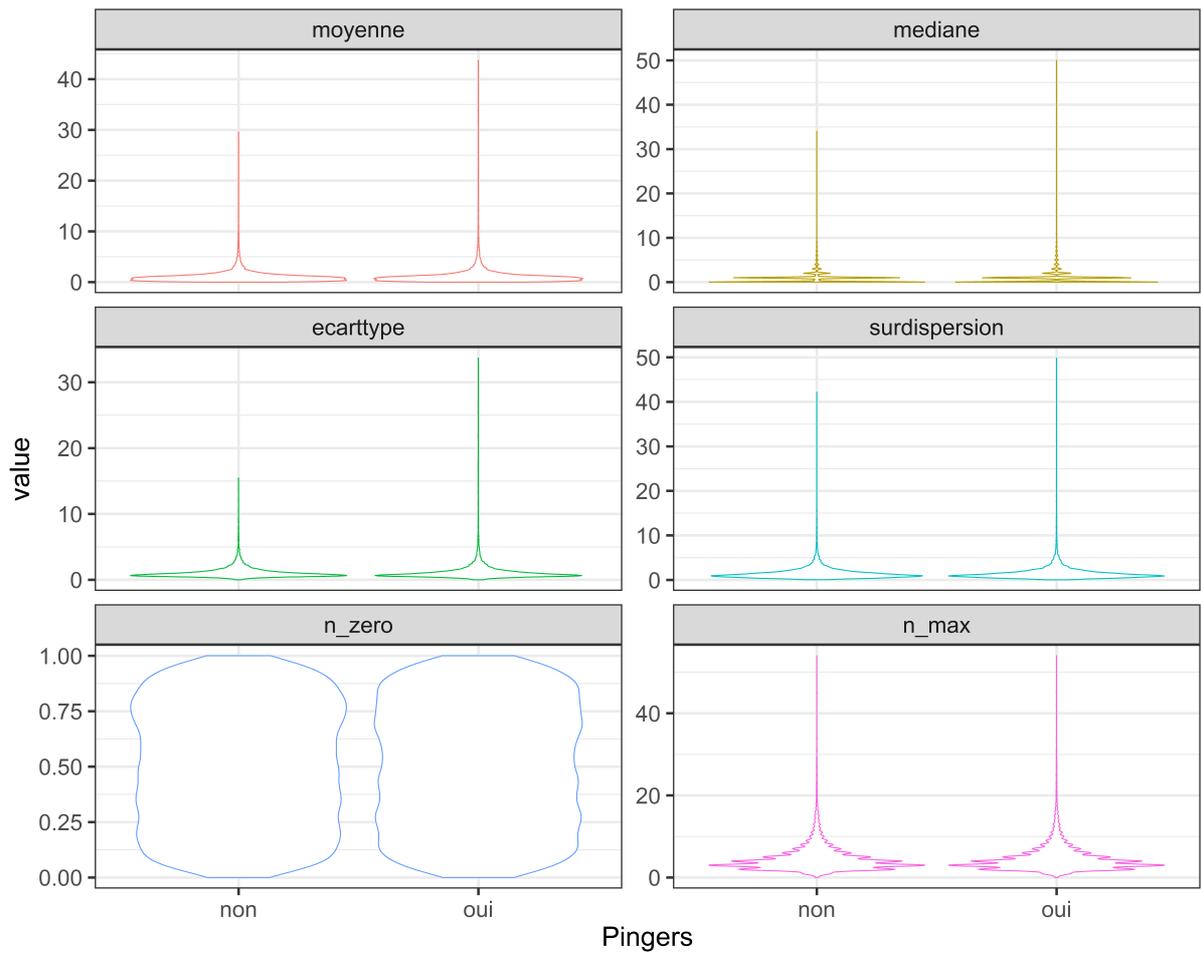
Afin de vérifier la plausibilité de ces a priori, nous avons simulés par approche Monte Carlo 10,000 jeux de données de 131 traits de chaluts (55 avec pingers et 76 sans pingers). Sur chacun de ces jeux de données simulés, nous avons calculés la moyenne, la médiane, l'écart-type, la surdispersion (variance/moyenne), la proportion de traits sans événements et l'intensité maximale lors d'un événement (Graphique A.1). Cette approche permet de voir si le modèle et les a priori génèrent des données cohérentes avec nos attendus, et ce avant d'observer un 'vrai' jeu de données. L'approche par « prior predictive checking » montre ici que nos choix pour le modèle et les a priori couvrent une large gamme de scénarios possibles pour les données que l'on pourrait observer. Le modèle et les a priori favorisent un faible nombre d'animaux capturés, des données surdispersées et une intensité maximale de moins de 10 animaux capturés lors d'un événement, ce qui semble plausible et réaliste.

¹ Distribution normale de moyenne 0 et d'écart-type égal à 1.5

² Distribution Student à 7 degrés de liberté de moyenne 0, de paramètre d'échelle égal à $\log(2)/3$

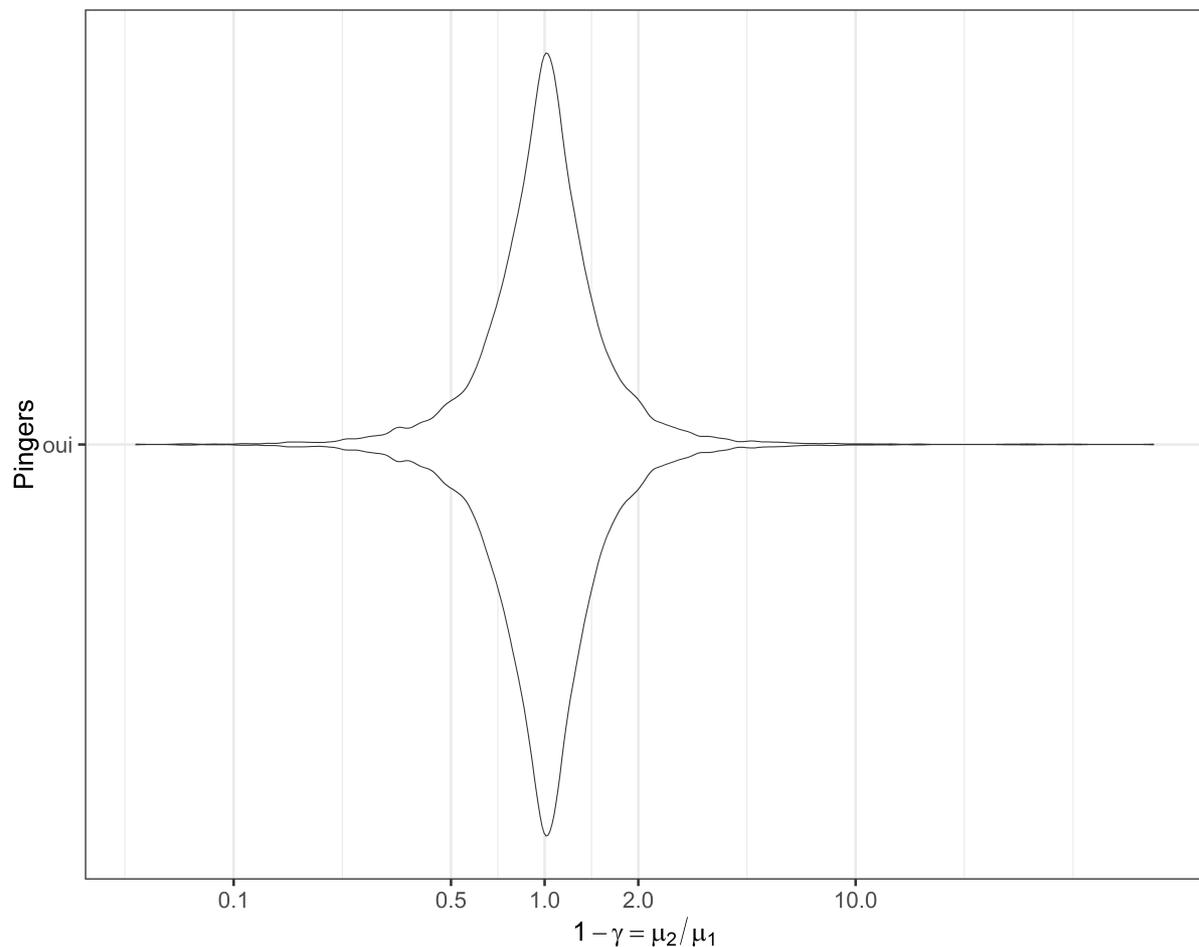
³ Distribution normale de moyenne 0 et d'écart-type égal à 1

⁴ Distribution Gamma de paramètre de forme égal à 2, et de paramètre de taux égal à 2



Graphique A.1 : « Prior predictive checking », ou simulations à partir du modèle « hurdle » et des a priori choisis de 10 000 jeux de données par approche Monte Carlo.

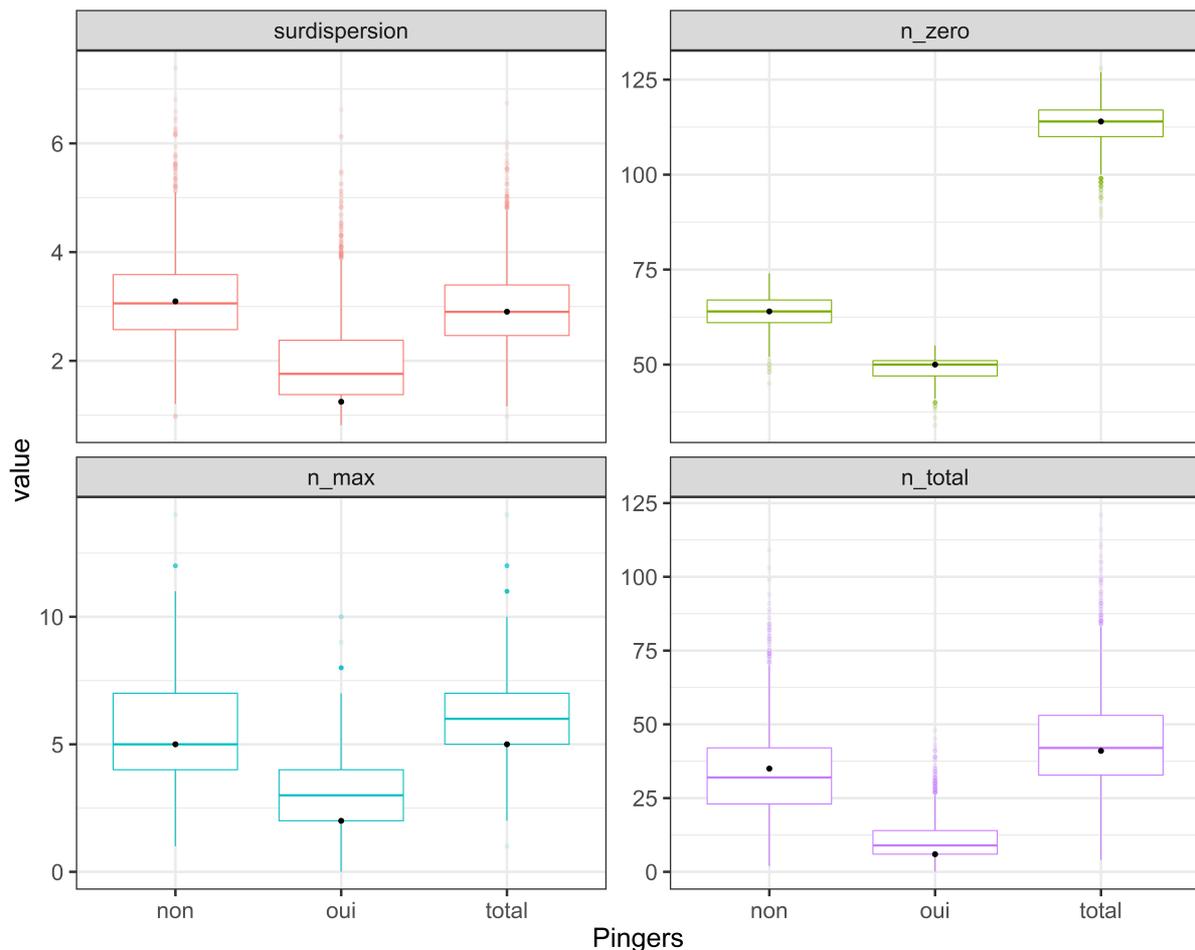
L'efficacité attendue des pingurs sous le modèle « hurdle » et les a priori choisis est représentée sur le graphique A.2 : ce graphique illustre que l'effet attendu est compris entre une diminution de moitié ou un doublement de l'intensité. Des effets plus importants seraient possibles mais improbables.



Graphique A.2 : « Prior predictive checking », ou simulations à partir du modèle « hurdle » et des a priori choisis de 10 000 jeux de données par approche Monte Carlo. La distribution du rapport des taux de captures sans et avec pingurs est ici représentée pour illustrer les valeurs attendues sous le modèle statistique.

L'estimation des paramètres à partir du jeu de données récolté lors du programme PIC est réalisée grâce au logiciel Stan v.2.16 (Carpenter et al. 2017) appelé depuis le logiciel statistique R v. 3.4.3 (R Core Team 2017) via la bibliothèque rstan (R Stan Development Team 2018). Trois chaînes ont été initialisées avec un échauffement de 5,000 itérations, puis un échantillonnage de 5,000 itérations supplémentaires (en ne retenant qu'une valeur sur 5) a été réalisé. Le diagnostic de convergence des paramètres est acceptable (diagnostic de Brooks-Gelman-Rubin $\hat{r} < 1.1$ pour tous les paramètres).

Afin de vérifier l'ajustement du modèle aux données, nous avons réalisés une étude dite de « posterior predictive checking » afin de vérifier si les paramètres estimés à partir des données PIC sous le modèle « hurdle » permettent de simuler des données plausibles avec les données observées lors du programme PIC. Pour cela, nous avons utilisé la distribution a posteriori des paramètres pour simuler 5 000 nouveau jeux de données pour lesquels nous avons calculé la surdispersion, le nombre de traits sans évènements de capture accidentelle, l'intensité maximale lors d'un évènement et le nombre total d'animaux capturés accidentellement. Nous avons ensuite comparé ces valeurs attendues avec celles effectivement observées dans les données PIC (Graphique A.3).



Graphique A.3 : « Posterior predictive checking », ou simulations à partir du modèle « hurdle » et des a posterioris de 5 000 jeux de données par approche Monte Carlo. Le point noir représente les données PIC et la boîte à moustache, les données simulées.

Le graphique montre un ajustement correct du modèle aux données PIC, notamment en ce qui concerne la prévalence des évènements de captures accidentelles (panneau en haut à droite). Le modèle a tendance à surestimer la surdispersion (panneau en haut à gauche), et à surestimer l'intensité des évènements de captures (panneau en bas à gauche) pour les données de traits avec pingres. Enfin, le nombre total d'animaux capturés sur des traits sans pingres est légèrement sous-estimé par le modèle, alors qu'il est légèrement surestimé sur des traits avec pingres, ce qui pourrait signifier une estimation biaisée des taux de captures avec le modèle.

Annexe – Code R pour l'analyse dite « prior predictive checking »

```
##-----  
## SCRIPT : Prior Predictive Checking  
##  
## Authors : Matthieu Authier  
## Last update : 2018-07-24  
## R version 3.4.3 (2017-11-30) -- "Kite-Eating Tree"  
## Platform: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit)  
##-----  
  
lapply(c("sn", "countreg", "ggplot2", "ggthemes", "readxl", "dplyr", "broom", "reshape"),  
       library, character.only = TRUE)  
  
rm(list = ls())  
  
sim_ztp <- function(id, n1 = 76, n2 = 55,  
                   prior_scale_alpha1 = 1.5,  
                   prior_scale_alpha2 = log(2)/3,  
                   prior_scale_beta1 = 1.0,  
                   prior_rate_beta2 = 2.0) {  
  robit <- function(y) { as.numeric(sn::pst(x = y, xi = 0, omega = 1.5484, nu = 7)) }  
  n_obs <- n1 + n2  
  PINGER <- c(rep(0, n1), rep(1, n2))  
  x1 <- 1:n1  
  x2 <- n1 + 1:n2  
  alpha1 <- rnorm(1) * prior_scale_alpha1  
  alpha2 <- rnorm(1) * prior_scale_alpha2 / sqrt(rgamma(1, shape = 3.5, rate = 3.5)) # student-t  
  beta1 <- rnorm(1) * prior_scale_beta1  
  beta2 <- rgamma(1, 2, rate = prior_rate_beta2) * alpha2  
  p <- robit(alpha1 + alpha2 * PINGER)  
  lambda <- exp(beta1 + beta2 * PINGER)  
  PREVALENCE <- rbinom(n_obs, size = 1, prob = p)  
  INTENSITY <- countreg::rzt pois(n_obs, lambda = lambda)  
  OBS <- PREVALENCE * INTENSITY  
  return(data.frame(Pingers = c("non", "oui"),  
                   moyenne = c(mean(OBS[x1]), mean(OBS[x2])),  
                   mediane = c(median(OBS[x1]), median(OBS[x2])),  
                   ecarttype = c(sd(OBS[x1]), sd(OBS[x2])),  
                   surdispersion = c(var(OBS[x1])/mean(OBS[x1]), var(OBS[x2])/mean(OBS[x2])),  
                   n_zero = c(length(which(OBS[x1] == 0))/n1, length(which(OBS[x2] == 0))/n2),  
                   n_max = c(max(OBS[x1]), max(OBS[x2])),  
                   truth = c(1, exp(beta2) * robit(alpha1 + alpha2) / robit(alpha1))  
                   )  
  )  
}  
prior <- do.call('rbind', lapply(1:1e4, sim_ztp))  
  
theme_set(theme_bw(base_size = 24))  
ggplot() +  
  geom_violin(data = subset(melt(prior[, c(1, 8)], "Pingers"), Pingers == "oui"),  
             aes(x = Pingers, y = value, group = Pingers)  
             ) +  
  scale_y_log10(breaks = c(0.1, 0.5, 1, 2, 10)) +  
  coord_flip() + ylab(quote(1 - gamma == mu[2]/mu[1])) +  
  theme(plot.title = element_text(lineheight = 0.8, face = "bold"),  
        axis.text = element_text(size = 20),  
        strip.text = element_text(size = 20)  
        )  
  
theme_set(theme_bw(base_size = 24))  
ggplot() +  
  geom_violin(data = melt(prior[, -8], "Pingers"),  
             aes(x = Pingers, y = value, group = Pingers, color = variable)) +  
  facet_wrap(~variable, ncol = 2, scales = "free_y") +  
  guides(color = "none") +  
  theme(plot.title = element_text(lineheight = 0.8, face = "bold"),  
        axis.text = element_text(size = 20),  
        strip.text = element_text(size = 20)  
        )
```

Annexe – Code Stan pour ajuster le modèle « Hurdle »

```
/* Variable naming:
n_obs = sample size
PINGER = indicator variable for pinger
BYCATCH = response variable
OFFSET = offset (related to effort)
*/
data {
  int<lower = 1> n_obs;
  int<lower = 0, upper = 1> PINGER[n_obs];
  int<lower = 0> BYCATCH[n_obs];
  real<lower = 0> OFFSET[n_obs];
  real<lower = 0> prior_scale_alpha;
}
transformed data {
  real stdOFFSET[n_obs];
  for (i in 1:n_obs) {
    stdOFFSET[i] = (OFFSET[i] - mean(OFFSET)) / (2 * sd(OFFSET));
  }
}
parameters {
  real intercept;
  real unscaled_beta;
  vector[3] unscaled_alpha;
  real<lower = 0> aux;
}
transformed parameters {
  vector[3] alpha;
  real beta;
  vector[n_obs] lambda;
  alpha[1] = 1.5 * unscaled_alpha[1];
  alpha[2] = sqrt(aux) * prior_scale_alpha * unscaled_alpha[2];
  alpha[3] = prior_scale_alpha * unscaled_alpha[3];
  beta = unscaled_beta * alpha[2];
  for (i in 1:n_obs) {
    lambda[i] = OFFSET[i] * exp(intercept + beta * PINGER[i]);
  }
}
model {
  // intercept
  intercept ~ normal(0.0, 1.0);
  // pinger effect
  unscaled_beta ~ gamma(2.0, 2.0);
  // student-t
  aux ~ inv_gamma(3.5, 3.5);
  // regression coef.
  unscaled_alpha ~ normal(0.0, 1.0);
  // likelihood
  for (i in 1:n_obs) {
    if(BYCATCH[i] == 0) {
      // Bernoulli: robit link for robust inference
      target += log1m(student_t_cdf(alpha[1] + alpha[2] * PINGER[i] + alpha[3] * stdOFFSET[i], 7.0, 0.0, 1.5484));
    }
    else { // bernoulli + Zero-Truncated Poisson
      target += student_t_lcdf(alpha[1] + alpha[2] * PINGER[i] + alpha[3] * stdOFFSET[i] | 7.0, 0.0, 1.5484) + poisson_lpmf(BYCATCH[i] |
lambda[i]) - log1m_exp(-lambda[i]);
    }
  }
}
generated quantities {
  vector[2] bycatch_rate;
  real delta;
  bycatch_rate[1] = student_t_cdf(alpha[1], 7.0, 0.0, 1.5484) * exp(intercept);
  bycatch_rate[2] = student_t_cdf(alpha[1] + alpha[2], 7.0, 0.0, 1.5484) * exp(intercept + beta);
  delta = 1 - bycatch_rate[2] / bycatch_rate[1];
}
```

Bibliographie

Carpenter, B.; Gelman, A.; Hoffman, M. D.; Lee, D.; Goodrich, B.; Betancourt, M.; Brubaker, M.; Guo, J.; Li, P. & Riddell, A. (2017) Stan: A Probabilistic Programming Language. *Journal of Statistical Software*, 76

R Core Team (2017). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Stan Development Team (2018). RStan: the R interface to Stan. R package version 2.17.3. <http://mc-stan.org/>.