



ÉTUDE DES DÉPLACEMENTS DES GRANDS CÉTACÉS DANS LE SANCTUAIRE PELAGOS



AFIN DE PRÉCISER LES PARAMÈTRES DYNAMIQUES DES ZONES DE RISQUE DANS REPCET

Jérôme COUVAT, Pascal MAYOL, Delphine GAMBAINI
Souffleurs d'Écume, GIS3M



Décembre 2012

Programme financé par le Sanctuaire PELAGOS partie française, Ministère français en charge de l'environnement, avec le soutien du Conseil Général du Var

GROUPEMENT D'INTERET SCIENTIFIQUE POUR LES MAMMIFERES MARINS EN MEDITERRANEE ET LEUR ENVIRONNEMENT
GIS 3M - Castel Ste Claire, Rue Ste Claire, 83418 Hyères cedex, gism3m@yahoo.fr

Convention PELAGOS – GIS3M 2010-2012

Rapport Final Code Projet 12-038 P10

COORDINATEUR ADMINISTRATIF

Hélène LABACH
GIS3M

AUTEURS

Jérôme COUVAT, Pascal MAYOL, Delphine GAMBAINAI
Souffleurs d'Ecume

INFOGRAPHIES

Aurélie RAGONNET
Souffleurs d'Ecume

CARTOGRAPHIE

Jérôme COUVAT, Mikaël SCHNEIDER
Souffleurs d'Ecume

COORDINATEUR SCIENTIFIQUE

Pascal MAYOL
Souffleurs d'Ecume

**Si ce document doit être imprimé, sa mise en page permet
d'utiliser la fonction recto / verso de l'imprimante**

RESUMÉ

Le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) et le cachalot (*Physeter macrocephalus*) sont les deux espèces de grands cétacés résidentes en Méditerranée. De nombreuses menaces pèsent sur leurs populations, l'une des principales étant les collisions avec les navires. Le dispositif REPCET (REPérage en temps réel des CETacés) a été développé afin de limiter le risque de collision entre ces grands cétacés et les grands navires. Il s'agit d'un système informatique qui permet aux navires de s'informer des positions des grands cétacés qu'ils croisent sur leurs routes. Lorsqu'un cétacé est signalé, une zone de risque croît autour de la position de l'animal. L'objectif de l'étude est de définir les règles d'évolution de ces zones de risques dynamiques.

Ainsi, des données sur les déplacements des rorquals communs et des cachalots ont été collectées dans le Sanctuaire PELAGOS et ses eaux adjacentes. Particulièrement, les vitesses de déplacement ont été calculées pour ces deux espèces. Afin que ces vitesses tiennent compte de la trajectoire de l'animal, les données de vitesse ont été calculées entre tous les points des trajets de cétacés suivis, et non pas uniquement sur les points successifs. Ces vitesses, qui permettent une approche en deux dimensions, sont appelées vitesses linéaires spatiales.

Près de 123 heures de prospection ont été réalisées entre 2009 et 2012, permettant de réaliser environ 20 heures d'observation, dont 15,75 heures avec 22 rorquals communs et 4,25 heures avec 6 cachalots. Les données ont été filtrées de façon à conserver les cycles de sonde complets et à retirer les identifications douteuses. Enfin, après un travail d'analyse de variances, toutes les données au-delà de 700 mètres du navire ont été rejetées.

Les résultats montrent une vitesse linéaire spatiale moyenne pour les rorquals de $2,93 \text{ km.h}^{-1}$ (écart-type : 1,9). Les calculs n'ont pas été possibles pour les cachalots, l'analyse ayant montré un manque de robustesse du jeu de données. En se reportant à la littérature, une vitesse minimale de $1,24 \text{ km.h}^{-1}$ et une vitesse maximale de $5,5 \text{ km.h}^{-1}$ ont été retenues.

D'après les résultats et selon plusieurs recommandations, les zones de risque dans REPCET prendront une forme de couronne, définies par deux cercles (vitesse linéaire spatiale maximale et minimale) avec un diamètre maximum de 2,5 milles nautiques. Un premier cercle Ces zones de risque deviendront obsolètes au bout de 270 minutes pour les rorquals communs et 224 minutes pour les cachalots. Bien que cette étude permette la création de zones de risques robustes biologiquement et ergonomiquement, d'autres données sont cependant nécessaires pour améliorer et affiner ces résultats à l'avenir.

REMERCIEMENTS

Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des personnes qui se sont associées à la réalisation de cette étude, et tout particulièrement :

- Le Conseil Général du Var et la Partie française du Sanctuaire PELAGOS ;
- Didier RUBIOLLO et Kate POWERS du Restaurant Stars'n'Bars à Monaco ;
- L'équipage de *Tamory* et tout particulièrement le capitaine Gilles LEBOURG ;
- La Fondation Antinea et l'équipage de Fleur de Passion ;
- La Fondation Nicolas Hulot ;
- La Fondation Ensemble ;
- Claude-Pierre GUILLAUME et Aurélien BESNARD de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes pour leur conseil en statistique ;
- Olivier VARIN de La Méridionale, et les officiers des navires Piana, Girolata et Kalliste, pour leurs conseils et avis professionnels ;
- Les personnels de Chrisar Software Technologies (Bertrand GADAIX en particulier) et les membres de Souffleurs d'Ecume (Mikaël Schneider et Aurélie Ragonnet en particulier) qui ont participé à la réalisation de cette étude.

SOMMAIRE

Introduction.....	9
1. Matériels et Méthodes	11
1.1. Périodes, moyens à la mer et zone d'étude	11
1.1.1. Périodes.....	11
1.1.2. Matériel embarqué.....	11
1.1.3. Moyens humains.....	11
1.1.4. Zone d'étude.....	12
1.1. Collecte de données.....	14
1.1.1. Recherche des animaux par la technique du transect de ligne	14
1.1.2. Suivi éthologique	14
1.1.3. Acoustique	16
1.2. Analyse des données	19
1.2.1. Filtrage des données	19
1.2.2. Obtention des positions des cétacés.....	19
1.2.3. Distances entre les positions, vitesses linéaires et vitesses linéaires spatiales.	20
2. Résultats.....	20
2.1. Effort de prospection	20
2.2. Filtrage des données	22
2.2.1. Identification.....	22
2.2.2. Cycles de sonde complets.....	22
2.2.3. Analyse de variance	22
2.3. Vitesse de déplacement	23
2.3.1. Rorquals	23
2.3.2. Cachalots.....	23
3. Discussion.....	26
4. Recommandations pour la mise À jour des paramètres de la zone de risque	27
4.1. Cas du Rorqual.....	27
4.1.1. Forme de la zone de risque.....	27
4.1.2. Vitesse d'ouverture de la zone de risque	27
4.1.3. Rayon maximal de la zone de risque	28
4.1.4. Colorimétrie	28
4.1.5. Synthèse.....	29
4.2. Cas des cachalots	29
4.2.1. Forme et vitesse d'ouverture de la zone de risque	29
4.2.2. Rayon et colorimétrie.....	29
4.2.3. Synthèse.....	29
Conclusion.....	31
Liste des figures.....	33
Liste des tableaux.....	34
Bibliographie.....	35
Annexes.....	36

INTRODUCTION

Les grands cétacés du Sanctuaire PELAGOS

Deux espèces de grands cétacés fréquentent régulièrement le Sanctuaire PELAGOS : le rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) et le cachalot (*Physeter macrocephalus*).

Le rorqual commun, tout d'abord, est le deuxième plus grand cétacé au monde après le rorqual bleu (*Balaenoptera musculus*) et la seule espèce de mysticètes résidente en Méditerranée (Duguy *et al.*, 1983). Il est principalement distribué dans la partie ouest de la Méditerranée, où ses effectifs ont été estimés à environ 3 500 individus (Forcada *et al.*, 1996) et en particulier dans le bassin corso-liguro-provençal (Notarbartolo-Di-Sciara *et al.*, 2003), qui abriterait entre 500 et 1 000 individus (Forcada *et al.*, 1996 ; Gannier, 1997 ; Gannier *et al.*, 2002). Présent toute l'année dans cette région, son abondance est cependant marquée par une forte saisonnalité, avec des densités faibles pendant les mois d'hiver et fortes entre juin et septembre (Laran et Drouot-Dulau, 2007 ; Laran *et al.*, 2010). Des densités maximales en avril-mai et septembre-octobre en mer Tyrrhénienne (Marini *et al.*, 1996) ainsi que des relevés acoustiques le long des côtes espagnoles (Castellote *et al.*, 2008) tendent à montrer une migration printanière vers le bassin corso-liguro-provençal et une migration automnale vers le sud de la Méditerranée occidentale. Di-Méglio et David (2010) soulignent que ces densités peuvent varier dans le temps d'une année sur l'autre.

La population de rorquals communs de Méditerranée est génétiquement distincte de celle de l'Atlantique (Bérubé *et al.*, 1998), mais un faible flot génétique existe toujours entre les deux populations (Palsbøll *et al.*, 2004). Castellote *et al.* (2012) ont d'ailleurs enregistré des individus de l'Atlantique jusqu'en mer d'Alboran tandis que Cotté *et al.* (2009) ont observé un des individus équipés d'une balise Argos en mer Ligure faire de petites excursions en Atlantique.

Le cachalot, ensuite, est le plus grand des odontocètes et fait partie des huit espèces de cétacés résidentes en Méditerranée (Duguy, 1991). Il est réparti sur l'ensemble de la Méditerranée, à la fois dans les bassins occidental (Cañadas *et al.*, 2002 ; Gannier *et al.*, 2002 ; Drouot, 2003) et oriental (Frantzis *et al.*, 2000). Il n'existe aucune estimation de la taille de la population méditerranéenne mais Notarbartolo di Sciara et Birkun (2010) proposent des effectifs de l'ordre de plusieurs centaines. Comme pour le rorqual commun, cette population est également à la fois génétiquement distincte (Engelhaupt *et al.*, 2009) et isolée (Drouot *et al.*, 2004a) de celle de l'Atlantique. Dans le bassin occidental, les densités seraient maximales dans le Golfe du Lion, puis dans la Mer Ligure, et moins importantes dans les mers Ionienne et Tyrrhénienne (Gannier *et al.*, 2002). Au sein du Sanctuaire PELAGOS, le cachalot est présent toute l'année, avec des densités maximales entre août et octobre et minimales entre décembre et mars (Laran et Drouot-Dulau, 2007). Cette saisonnalité est représentée par une ségrégation sexuelle où les mâles migrent vers le nord du bassin de façon solitaire ou en groupes très lâches de 2-3 individus pour se nourrir, alors que les jeunes et les femelles restent principalement en-dessous de la latitude de 41°N et constituent des groupes compacts de 5 à 7 individus (Gannier *et al.*, 2002 ; Drouot *et al.*, 2004b ; Drouot-Dulau et Gannier, 2007). Ces migrations peuvent se faire sur plusieurs centaines de kilomètres (Drouot-Dulau et Gannier, 2007).

La problématique des collisions

Notarbartolo di Sciara et Birkun (2010) proposent une synthèse des nombreuses menaces qui pèsent sur les cétacés de Méditerranée et leur évolution au cours des années 2000. Les prises accidentelles dans les filets, les dérangements, la perte et la dégradation d'habitat, les nuisances sonores et le changement climatique en sont les principales. A celles-ci s'ajoutent, pour les grands cétacés que sont le rorqual commun et le cachalot, les collisions avec les grands navires.

Environ 220 000 navires de plus de 100 tonnes traversent la Méditerranée chaque année (EEA, 2006), dont 140 000 en Méditerranée nord-occidentale (SCOT, 2004), où l'on observe une saisonnalité marquée pour les rouliers et les transports de passagers (ferry), dont le trafic est maximal en juillet et minimal en février. Ces périodes de trafic maritime intense correspondent donc aux périodes de densités élevées des grands cétacés dans le Sanctuaire. En examinant les rapports de

287 rorquals échoués, percutés ou trouvés morts en mer entre 1972 et 2001, Panigada *et al.* (2006) ont constaté que 16% d'entre eux ont été tués par une collision. De plus, 2,4% des rorquals photo-identifiés entre 1990 et 2001 portent des marques d'une collision. Les auteurs arrivent ainsi à un taux de collisions connues de 1,43 par an en Méditerranée nord-occidentale pour l'ensemble de la période. Ces chiffres ont été revus à la hausse par Di-Méglio *et al.* (2010) grâce à l'ajout de données complémentaires. Ainsi, entre 1972 et 2009, le taux de collisions connues est rapporté à 1,51 cas par an et atteindrait même 1,66 collision par an entre 1972 et 2001. En ajoutant les données de photo-identification sur la période 1990-2009, 86 collisions ont pu être recensées au sein du Sanctuaire PELAGOS et dans ses eaux adjacentes. Mais l'ensemble des auteurs s'accorde sur le fait que ces valeurs sont largement sous estimées, puisqu'elles ne retracent que les cas connus des collisions. Ainsi Panigada *et al.* (2006) estiment qu'à l'échelle de la Méditerranée 8 à 40 rorquals communs pourraient être tués chaque année, soit une augmentation de la mortalité naturelle comprise entre 4% et 19%.

Un impact tout aussi inquiétant est constaté pour les cachalots en Méditerranée : De Stephanis *et al.* (2005) fait état de cinq collisions recensées entre 2001 et 2004 dont deux impliquant des cachalots. Beaubrun *et al.* (2010), pour leurs parts, rapportent un cas en Méditerranée française en 2009 tandis que Panigada et Leaper (2010) montrent que 70% des animaux échoués entre 1997 et 2007 en Grèce ont probablement été tués par des collisions.

En synthèse, étant donné les faibles effectifs et le caractère isolé des populations méditerranéennes de rorquals communs et cachalots, les collisions avec les navires sont considérées comme l'une des principales menaces pour ces espèces. Ces éléments ont poussé le Sanctuaire PELAGOS à faire de la limitation des risques de collision l'une de ses priorités d'action.

Objectifs de l'étude

Face à cette problématique, plusieurs réponses ont été proposées. L'une d'elle est le dispositif REPCET (REPérage en temps réel des CETacés). Il s'agit d'un système collaboratif permettant aux navires équipés d'échanger les positions des cétacés qu'ils croisent sur leur route (Souffleurs d'Ecume, 2012). Lorsqu'un animal est signalé, la position de l'observation apparaît sur une carte interactive en passerelle. Au cours du temps, une zone de risque croît autour du point d'observation afin de signaler aux navires le secteur dans lequel le risque de collision avec l'animal détecté est élevé. Une augmentation de l'effort de veille et une réduction de vitesse sont alors recommandées. Les modèles régissant cette zone de risque dynamique (forme, vitesse d'ouverture et obsolescence) doivent intégrer deux types de paramètres :

- des paramètres biologiques que sont les mouvements et les vitesses de déplacement des rorquals communs et des cachalots au sein du Sanctuaire ;
- des paramètres ergonomiques relatifs au personnel de quart (à la probabilité de rencontre). A ce jour, les zones de risque suivent un modèle préliminaire basé sur la littérature (en particulier l'étude de Lafortuna *et al.* (2003)).

En synthèse, ces zones sont traduites par un disque rouge s'ouvrant progressivement, devenant de plus en plus clair au fil du temps pour traduire la réduction de la probabilité de rencontre, puis finissant par disparaître au bout d'un certain temps. Conduire une étude dédiée pour définir plus précisément les paramètres des zones de risque restait à ce jour une nécessité.

Ainsi, l'objectif de cette étude est de fournir un modèle robuste de définition des zones de risque. Pour y parvenir, une série d'embarquements dédiés ont été opérés afin de recueillir des données selon un protocole de suivi éthologique. L'analyse des données doit permettre de déboucher sur un modèle de définition des zones de risque pertinent.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Périodes, moyens à la mer et zone d'étude

1.1.1. Périodes

Trois campagnes de collecte de données ont été conduites durant les périodes estivales 2009, 2011 et 2012. Les missions ont été conduites à bord de deux voiliers affrétés spécialement pour l'occasion (Tableau 1).

Tableau 1. Détails des navires utilisés selon les expéditions

Année	Expéditions	Bateau	Armateur	Taille
2009	27 mai – 3 juin	Tamory	M. Didier RUBIOLO (via l'association Act for Nature et l'établissement Stars'n'Bars)	28 m
	6 – 15 juillet	Fleur de Passion	Fondation Antinéa et Association Pacifique	33 m
	2 – 29 août	Fleur de Passion	Fondation Antinéa et Association Pacifique	33 m
2011	7 – 20 août	Tamory	M. Didier RUBIOLO (via l'établissement Stars'n'Bars)	28 m
2012	3 – 10 août	Tamory	M. Didier RUBIOLO (via l'établissement Stars'n'Bars)	28 m

1.1.2. Matériel embarqué

Le matériel embarqué dans le cadre des missions se compose comme il suit :



- un PC portable alimenté (acquisition audio et logiciel REPCET) ;
- une antenne Iridium / GPS et un modem Iridium placés dans un boîtier étanche rectangulaire à fixer sur le pont (Figure 1) ;
- un câble de liaison série permettant de relier le PC au modem ;
- deux paires de jumelle, à mire et compas, grossissement 7X50 ;
- un GPS autonome ;
- un PC portable (saisie des données éthologiques) ;
- un hydrophone omnidirectionnel (RESON TC 4043-44) avec 25 m de câble étanche (alimentation et signal acoustique), associé à un préamplificateur autoalimenté (uniquement en 2009 et 2011) ;
- un appareil photo reflexe numérique (CANON 40D avec téléobjectif CANON EF 75-300 f 4-5.6 IS USM Stabiliser) pour la photo-identification des grands cétacés.

Figure 1. Antenne Iridium / GPS et modem Iridium placés dans un boîtier étanche rectangulaire.

1.1.3. Moyens humains

A bord des voiliers, au minimum 3 personnes embarquées ont pour tâche de satisfaire à l'étude éthologique. Dans chaque équipe, au moins l'un des observateurs est expérimenté, c'est-à-dire capables de respecter des impératifs d'observation proches de la méthode du transect de ligne, d'identifier les différentes espèces de cétacés, d'évaluer les distances, d'utiliser un GPS et de noter scrupuleusement les éléments relatifs aux observations. Cet observateur constitue généralement le chef de mission. Le Tableau 2 présente la liste des observateurs expérimentés à bord des voiliers.

Tableau 2. Liste des observateurs expérimentés embarqués à bord des voiliers. CET : observations et saisie des données, JOUR : Journaliste, C : Chef de mission.

Année	Période	Non du navire	Structure	Prénom Nom	Tâches à bord
2009	27 mai - 03 juin	Tamory	Chrisar	Bertrand GADAIX	CET
			Souffleurs d'Ecume	Pascal MAYOL	C, CET
				Philippe VILLAUME	JOUR, CET
	06 - 15 juillet	Fleur de Passion	Souffleurs d'Ecume	Pascal MAYOL	C, CET
				Frédéric CAPOULADE	CET
			Antinéa	Mattéo MELI	CET
	23 - 29 août	Fleur de Passion	Souffleurs d'Ecume	Pascal MAYOL	C, CET
				Delphine GAMBAIANI	CET
			Valérie MAUCORT	CET	
Antinéa	Alexandra BARBOT	CET			
2011	7 - 20 août	Tamory	Souffleurs d'Ecume	Pascal MAYOL	C, CET
				Delphine GAMBAIANI	CET
			IMBIOCO	Philippe VILLAUME	JOUR
2012	3 - 10 août	Tamory	Souffleurs d'Ecume	Pascal MAYOL	C, CET
				Jérôme COUVAT	CET
				Aurélien RAGONNET	JOUR

1.1.4. Zone d'étude

Les prospections ont été majoritairement réalisées dans la Partie française du Sanctuaire PELAGOS, plus particulièrement dans une zone comprise entre les latitudes 42,5° N et 43,7°N et les longitudes 5,53°E et 8,85°E (Figure 2).

En 2009 et 2011, l'effort de prospection dans cette zone a été réalisé selon des critères pragmatiques comme les prévisions météorologiques et les distances à un abri. En 2012, l'effort de prospection a été orienté selon les cartes émanant du modèle de prévision de présence des rorquals communs de Jean-Noël Druon (Druon *et al.*, 2012), téléchargées la veille pour le lendemain, afin d'optimiser les probabilités de rencontre de grands cétacés.

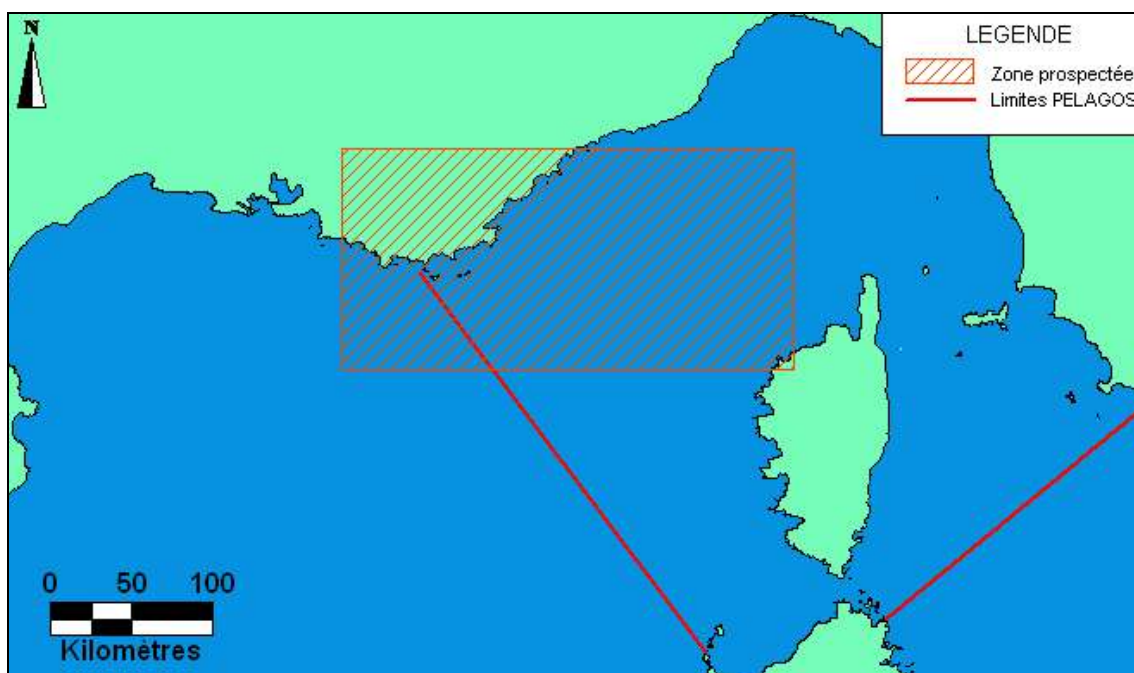


Figure 2. Carte de la zone prospectée lors des expéditions 2009, 2011 et 2012

1.1. Collecte de données

Ce chapitre décrit la méthode qui procède en deux temps. La recherche des animaux tout d'abord, suit la technique du transect de ligne. Lorsque qu'un grand cétacé est repéré, le transect est interrompu pour appliquer alors un protocole dédié à l'éthologie.

1.1.1. Recherche des animaux par la technique du transect de ligne

La recherche des animaux s'est faite selon le protocole du transect de ligne. Les conditions respectées lors de ces transects sont les suivantes : deux observateurs spécialisés veillant scrupuleusement la surface sur les 180 degrés à l'avant du bateau, une force de vent inférieure ou égale à 4 sur l'échelle Beaufort, une visibilité supérieure à 1 km et une luminosité suffisante (entre une demi-heure après le lever du soleil et une demi-heure avant le coucher). La navigation se fait à la voile aussi souvent que possible, dans une optique de cohérence écologique et afin de limiter au maximum les dérangements lors de l'observation. Toute prospection en transect est interrompue si l'une des conditions n'est pas respectée.

Lors d'un transect, une série d'informations est régulièrement relevée et notée par l'observateur de quart sur une fiche d'observations (Annexe 1). Le remplissage des fiches d'observations consiste à : compléter une première ligne (date, heure, position, météo, etc.), dès le début de la veille, en ajoutant la mention « début transect » (ou « DT ») dans la colonne « commentaires » ; remplir les lignes suivantes à chaque observation de cétacés (les petits cétacés sont également notés), changement de cap, changement notable de météo ou toutes les 30 minutes ; compléter une dernière ligne lors d'une fin de poste (remplacement, conditions ne permettant plus une veille attentive, absence, etc.) ou lorsqu'un grand cétacé est aperçu (rorqual commun ou cachalot) en inscrivant « fin transect » (ou « FT ») dans la colonne « commentaires ».

Des observations faites aléatoirement (hors transect) seront notées « aléatoire » ou « A » dans la colonne « commentaires ».

Dans le cadre de cette étude, ce protocole n'a d'autre but que de satisfaire aux besoins de rechercher des grands cétacés afin de suivre leur comportement. Néanmoins, les données récoltées selon la technique du transect de ligne présentent un intérêt en matière d'estimation d'abondance relative. Pour cette raison, les informations ainsi récoltées sont transmises :

- au GIS 3M (Groupement d'Intérêt Scientifique pour les Mammifères Marins de Méditerranée)
- au JRC (Joint Research Center) de la commission européenne.

Dès qu'un animal ciblé par l'étude (rorqual commun ou cachalot) est repéré, le travail en transect est arrêté pour laisser place au suivi éthologique de l'animal.

1.1.2. Suivi éthologique

a. Animal en surface

Lorsqu'un grand cétacé (rorqual commun ou cachalot) est aperçu, l'alerte est transmise à l'équipage et le transect de ligne est interrompu. Une tentative d'approche¹ divisée en trois étapes est alors amorcée :

- positionnement de la plateforme d'étude à 200 mètres de l'animal ;
- approche à très faible allure (env. 2 nœuds), afin de limiter le dérangement, jusqu'à atteindre une distance minimale de 100 mètres² entre la plateforme d'étude et l'animal ;

¹La vitesse des plateformes d'étude n'est pas nécessairement constante (l'objectif étant de pouvoir se déplacer à proximité des animaux), les navires peuvent ainsi naviguer à la voile. Par ailleurs, afin de faciliter l'approche des animaux, celle-ci peut être effectuée, le cas échéant, à bord d'une annexe (type semi-rigide).

²Par « distance minimale », il faut entendre que le navire peut évoluer entre 200 et 50 m de l'animal. Cette fourchette doit être utilisée pour optimiser les investigations et limiter le dérangement.

- suivi de l'animal en maintenant une distance minimale de 100 mètres entre lui et la plateforme, dans la limite de son dérangement, et conformément au schéma d'approche (Figure 3) du code de bonne conduite PELAGOS (PELAGOS, 2010).

CODE DE BONNE CONDUITE pour l'observation des cétacés en mer

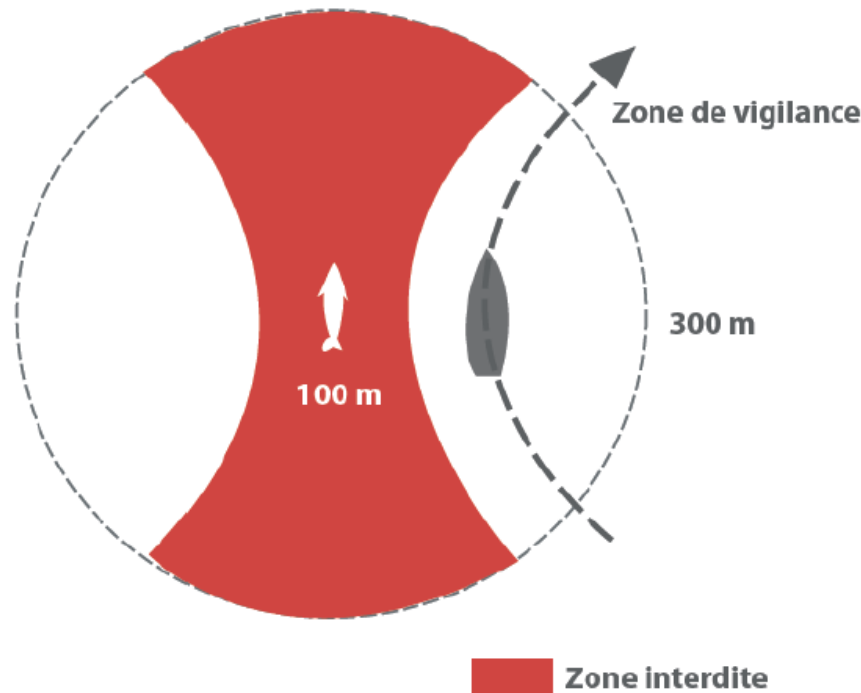


Figure 3. Code de bonne conduite pour l'observation des cétacés en mer (figure extraite de (PELAGOS, 2010))

Durant les étapes 2 et 3, un observateur est chargé de relever toutes les minutes, à voix haute, la position GPS de la plateforme d'étude ainsi que la distance par rapport à la plateforme et le relèvement de l'animal (position de l'animal par rapport au Nord). Trois différentes méthodes peuvent être utilisées afin d'estimer la distance des animaux au navire. Les distances peuvent être évaluées :

- à l'œil nu (en « calibrant » au préalable son œil à l'aide du radar de bord) ;
- à l'aide de jumelles graduées (Annexe 2 pour méthode de conversion des réticules en distance radiale)³ ;
- à l'aide de binoculaires de type Laser-Range Finder.

Ces informations sont simultanément notées sur une fiche d'observation (Annexe 1), par un consignateur. Dès la première ligne, le consignateur prendra soin d'écrire « début éthologie » (ou DT) dans la colonne « commentaires ». Il donnera également un numéro à l'animal dans la colonne « N° observation ». Chaque individu suivi possède un numéro qui lui est propre construit sur le modèle suivant : initiales espèce_date_heure de détection. Par exemple, un cachalot observé le 26 mai 2009 à 7:11 portera le numéro suivant : PM260509_0711.

Lorsque l'animal disparaît ou cherche à fuir (changement manifeste de cap ou de vitesse de nage) :

- l'approche est suspendue ;
- le consignateur conclut la dernière observation par un « fin éthologie » (ou « FE ») dans la colonne commentaires et y précise les motifs (e.g. « fuite », « sonde », etc.) ;

³Cette méthode est d'autant plus adaptée que l'observateur est haut au-dessus de l'eau (cas des ferries). Sa précision pour des cibles lointaines risque ainsi d'être réduite dans le cas d'une plateforme d'étude peu élevée (Cédric Cotté, Docteur en océanographie, com. pers.).

- le travail de transect de ligne est reconduit (paragraphe 1.1.1) ou un suivi du cycle de sonde peut-être envisagé.

b. Suivi du cycle de sonde

Quand un grand cétacé sonde et disparaît sous la surface, une tentative de suivi « visuel » de l'animal sur plusieurs cycles de sonde⁴ peut alors être amorcée. Pour cela :

- la plateforme d'étude est positionnée à l'emplacement précis de la sonde ;
- une recherche visuelle accrue est alors effectuée par tout l'équipage, sur 360° autour de la plateforme d'étude, pendant 50 minutes maximum pour le cachalot et 30 minutes maximum pour le rorqual commun⁵ ;
- la mention « sonde » (ou « So ») remplace alors la mention « fin éthologie » dans la colonne « commentaires » ;
- si l'animal est à nouveau détecté avant la fin du temps maximum d'attente, une nouvelle ligne est remplie avec la mention « surface » (ou « Su ») dans la colonne « commentaires ». Une tentative d'approche est alors à nouveau amorcée selon le protocole décrit au paragraphe 1.1.2 ;
- si l'animal n'est pas détecté à l'issue du temps maximum imparti, une nouvelle ligne est saisie avec les mentions suivantes dans la colonne « commentaire » : « animal perdu » (« ou P ») « fin éthologie » et, le cas échéant, « début transect ».

L'étude de plusieurs animaux au sein d'un même groupe peut-être la source de confusions (difficulté de reconnaître un animal par rapport à un autre). Afin de limiter ces biais, les animaux solitaires sont préférentiellement étudiés. En cas d'animaux en groupe, les observateurs prendront soin d'identifier d'éventuelles marques de reconnaissance (cicatrice, taille, pigmentation, forme de l'aile) sur l'un des individus et de focaliser leurs travaux sur ce dernier.

Les données des fiches d'observation sont saisies par les observateurs en repos dans un fichier Excel sur un ordinateur portable. Le traitement des données sera, quant à lui, réalisé à terre à l'aide du logiciel SIG MapInfo permettant de cartographier les trajectoires des animaux.

Lorsque plusieurs animaux sont détectés, plusieurs choix sont possibles. Si les animaux sont facilement reconnaissables (marques sur le corps) et ne sont pas synchrones, le suivi de deux voire trois individus en même temps est réalisé. Ce suivi est interrompu dès qu'il y a un doute sur l'identification des individus. Des données de photo-identification sont d'ailleurs collectées lors du suivi afin de faciliter cette identification à la fois *in situ* et *a posteriori*. Les photos seront consignées sur un ordinateur et porteront le numéro de l'observation (paragraphe 1.1.2). Si les individus ne sont pas facilement identifiables mais évoluent de manière synchrone, ils sont suivis comme un seul animal. En revanche, si les individus ne sont pas aisément reconnaissables et ne sont pas synchrones, le suivi n'est pas réalisé.

1.1.3. Acoustique

a. Intérêts de la recherche acoustique par hydrophone

En complément de la veille active décrite précédemment, l'étude des cachalots nécessite une recherche acoustique par hydrophone (Gannier *et al.*, 2002 ; Drouot, 2003 ; Drouot *et al.*, 2004b). En effet, les cachalots sont visuellement détectables seulement 18% du temps (Drouot, 2003) et passent la plus grande partie de leur temps à s'alimenter (Gordon et Steiner, 1992). Pour cela, ils réalisent une succession de cycles de plongées profondes en émettant une série de signaux acoustiques (« clics »).

L'acoustique permet de détecter les cachalots pendant 87 % de la durée de la plongée (Gannier *et al.*, 2002). Cette technique est particulièrement utile dans les régions comme le Golfe du Lion où les

⁴Période comprenant le temps de plongée (à partir du moment où l'animal sonde (dos très arqué pour le rorqual, nageoire caudale visible pour le cachalot) jusqu'à l'instant où l'animal réapparaît en surface) ainsi que le temps de respiration passé à récupérer en surface (réapparition de l'animal en surface à la fin de sa plongée jusqu'à l'instant où l'animal sonde à nouveau).

⁵ La synthèse bibliographique de Gambaiani (2009) met en évidence des temps de plongée maximum de 20 minutes pour le rorqual commun et un temps de plongée moyen pour le cachalot de 50 minutes.

animaux sont solitaires (moins visibles que les groupes sociaux) et les conditions météorologiques pas toujours favorables à l'observation (Gannier *et al.*, 2002).

D'après Bertrand Gadaix, responsable du développement informatique de REPCET (com. pers.), l'équipement acoustique⁶ mis à disposition par la société Chrisar pour l'étude REPCET ne permet pas d'étudier les déplacements d'un cachalot pendant plusieurs cycles de sonde. Les fonctions et limites de l'équipement sont présentées dans le tableau suivant (Tableau 3).

Tableau 3. Fonctions et limites de l'équipement acoustique mis à disposition par Chrisar.

POINTS FORTS	POINTS FAIBLES
<p>Cet équipement permet de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fournir une aide pour le repérage de grands cétacés à proximité du navire à l'aide des outils de traitement du signal de ChrisarLab Bio, • Reconnaître facilement les vocalises des rorquals communs et cachalots, • Reconnaître les clics des cachalots⁷. 	<p>Cet équipement ne permet pas de :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maintenir un contact acoustique avec l'animal durant sa plongée, • Évaluer la direction de nage de l'animal, • Estimer la distance séparant les animaux de la plateforme d'étude⁸.

Le matériel mis à disposition ne permet donc pas, dans le cadre de ce protocole, de fournir un véritable suivi des animaux. Il apporte une aide potentielle au repérage et la possibilité d'écouter et d'enregistrer les vocalises et clics des grands cétacés à des fins d'exploitation acoustique dans le cadre des perspectives de REPCET.

b. Méthodologie préconisée pour l'utilisation du matériel acoustique

En complément de la recherche visuelle réalisée en permanence par trois observateurs, une écoute acoustique peut être envisagée lorsque les conditions s'y prêtent (paragraphe c) et sur les secteurs propices à la présence de grands cétacés (canyons par exemple). La plate-forme est à l'arrêt, le matériel acoustique est immergé et l'écoute peut alors commencer. L'heure et la position du bateau sont notées sur la fiche d'observation et la mention «écoute acoustique» ou « EA » est précisée dans la colonne « commentaires ». Dans la même colonne, sont également mentionnés :

- PC (nb d'animaux détectés) = détection de clics de x cachalot(s) ;
- PV (nb d'animaux détectés) = détection de vocalises x de rorqual(s) communs⁹ ;
- N = pas de détection acoustique de grands cétacés.

De surcroît, lorsque le signal acoustique d'un animal est identifié :

- les données acoustiques sont enregistrées ;
- l'attention des observateurs accrue et, si possible, le dispositif de veille complété afin d'améliorer les chances de détection visuelle ;
- la recherche visuelle en transect de ligne est reprise si aucun animal n'est visuellement observé au bout de 30 minutes pour le rorqual commun et 1 heure pour le cachalot. Une option peut consister à laisser le matériel immergé dans la mesure où le navire ne dépasse pas la vitesse de 2 nœuds et si cela ne perturbe pas le signal.

Similairement, lorsqu'un grand cétacé sonde et disparaît de la surface après avoir été suivi, ses signaux acoustiques sont écoutés et enregistrés durant le suivi du cycle de sonde.

⁶L'équipement mis à disposition par Chrisar est constitué d'un hydrophone omnidirectionnel placé à l'arrière de la plateforme d'étude. Les signaux acoustiques sont traités à l'aide du logiciel acoustique de ChrisarLab Bio, et des outils graphiques associés, installés sur un PC de bureau embarqué à bord de la plateforme.

⁷La reconnaissance des clics de cachalots est délicate car ils peuvent être confondus par un non-acousticien avec les bruits transitoires du voilier. Toutefois, une répétition régulière du signal permet de faire cette discrimination et des alarmes peuvent être paramétrées pour détecter des niveaux de bruit et des plages de fréquences.

⁸La distance séparant les animaux de la plateforme d'étude peut être déterminée pour les vocalises des rorquals en utilisant des abaques approximatives (par mer calme) car les vocalises se propagent de façon relativement homogène dans toutes les directions. Cependant, cela est difficile pour les clics de cachalots qui sont des signaux très directionnels. Le niveau du signal dépend alors non seulement de la distance mais de l'angle sous lequel le cachalot se trouve par rapport à l'hydrophone.

⁹La vocalisation chez les rorquals communs de Méditerranée est un phénomène irrégulier.

c. Conditions d'utilisation de l'acoustique

L'utilisation du matériel acoustique apporte un lot de contraintes pour les manœuvres. Afin de limiter les interférences engendrées par les bruits ambiants et pour éviter d'endommager le matériel, l'étude acoustique doit être réalisée dans des profondeurs supérieures à 100 mètres, par mer force Beaufort < 4 et dans des secteurs où les activités maritimes (pêche, trafic maritime) sont peu intenses. Le matériel acoustique doit être utilisé à l'arrêt pour éviter les bruits parasites et ne pas risquer d'endommager ou de perdre l'hydrophone (choc, rupture de câble, etc.). Il doit ainsi être systématiquement remonté à bord lorsque le navire est en route à allure soutenue.

1.2. Analyse des données

L'objectif de l'analyse présentée ici est de calculer des vitesses de déplacement des grands cétacés qui seront utilisées pour modéliser la dynamique des zones de risque. Pour ce faire, il faut tout d'abord filtrer les données afin d'effectuer l'analyse sur un jeu de données robustes. Les distances entre les points d'observation seront ensuite calculées, et les vitesses entre ces mêmes points en seront déduites. Cependant, ces vitesses linéaires ne tiennent pas compte de la trajectoire de l'animal et un calcul supplémentaire sera effectué pour donner à ces vitesses un caractère en deux dimensions.

1.2.1. Filtrage des données

Trois filtres ont été appliqués aux données de suivi éthologique, afin de consolider le jeu de données.

Le premier filtre, d'abord, concerne les suivis simultanés de plusieurs individus. En cas de doute sur l'identification d'un ou des individus à certaines positions, celles-ci ne sont pas retenues. Cela vaut aussi pour un individu refaisant surface après une longue sonde et dont l'identification est incertaine

Les mouvements (et *a fortiori* les vitesses de déplacements) pouvant être très différents selon que l'animal est en surface ou en sonde (en particulier pour le cachalot), un deuxième filtre est ensuite appliqué. Il consiste à ne conserver que les cycles de sonde complets (sonde + temps de respiration en surface) lors des suivis. De cette manière, le nombre de sondes et le nombre de périodes en surface sont identiques dans un suivi, ce qui permet de limiter ces biais.

Le dernier filtre concerne la distance de l'observation au bateau. L'estimation de la distance se faisant à l'œil nu, il est très probable que le niveau de précision varie proportionnellement à la distance de l'animal (plus l'animal est loin, plus grande est l'imprécision). Une exploration des données est donc réalisée afin d'identifier un seuil au-delà duquel la précision de l'estimation est trop faible pour valider l'observation. Les vitesses sont regroupées par classes de distances et la variance de chaque est calculée. Les variances cumulées sont ensuite représentées en fonction de la distance. L'objectif est de déceler le seuil à partir duquel la variance augmente de manière significative, traduisant une forte variabilité des données (les résultats de ces calculs sont proposés au chapitre 2). Une fois estimé, toutes les observations au-delà de ce seuil sont écartées de l'analyse.

1.2.2. Obtention des positions des cétacés

Les positions des cétacés, en latitude et longitude, sont déterminées selon la position du bateau, la distance et le relèvement de l'animal de la manière suivante :

- $lat_C = \text{asin}[\sin(lat_B) * \cos(distance/R) + \cos(lat_B) * \sin(distance/R) * \cos(relèvement)]$
- $lon_C = lon_B + \text{atan2}[\sin(relèvement) * \sin(distance/R) * \cos(lat_B), \cos(lat_B) * \cos(distance/R) - \sin(lat_B) * \sin(lat_C)]$
- avec lat_C et lon_C la latitude et la longitude de la position du Cétacé, lat_B et lon_B la latitude et la longitude de la position du Bateau et le relèvement en radian, la distance et R le rayon de la Terre en mètres.

1.2.3. Distances entre les positions, vitesses linéaires et vitesses linéaires spatiales.

Une fois les positions des cétacés obtenues, les distances linéaires entre les points sont calculées avec la formule suivante :

- $\text{distance}_{AB} = \text{acos}(\sin(\text{lat}_A) * \sin(\text{lat}_B) + \cos(\text{lat}_A) * \cos(\text{lat}_B) * \cos(\text{lon}_B - \text{lon}_A) * R)$
- avec lat_A , lat_B , lon_A et lon_B les latitudes et longitudes des points A et B en radian, R le rayon de la Terre et la distance linéaire entre les points A et B en mètres.

La vitesse linéaire entre deux points a ensuite été calculée en divisant la distance entre les points par la différence de temps entre ces points.

Pour cette étude, la vitesse linéaire entre les positions des cétacés n'est pas suffisante. En effet, il faut aussi tenir compte de la trajectoire de l'animal : un rorqual commun progressant en moyenne à 6 km.h^{-1} en ligne droite n'a pas les mêmes implications pour l'ouverture de la zone de risque qu'un rorqual évoluant à la même vitesse en restant sur zone. Le deuxième animal reste plus longtemps dans la zone et cela doit être pris en compte dans les paramètres d'ouverture de la zone de risque. Ainsi, afin de tenir compte de la trajectoire de l'animal, les vitesses entre tous les points du suivi sont calculées. De fait, la vitesse moyenne de l'animal dont la trajectoire est aléatoire sera plus faible que celle de l'animal navigant selon un cap constant. Cette nouvelle notion de vitesse sera appelée **vitesse linéaire spatiale** (Figure 4).

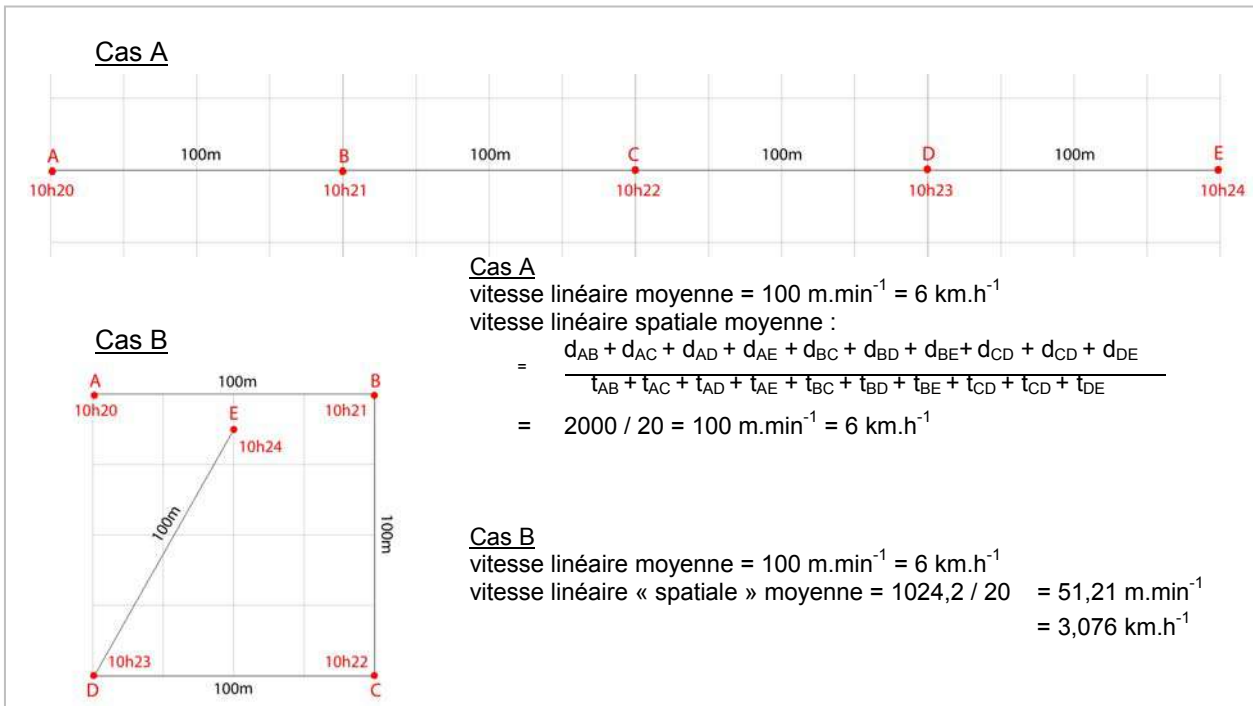


Figure 4. Influence de la trajectoire dans le calcul de la vitesse. Deux cas de déplacement de cétacé sont présentés (Cas A et Cas B), ne différant que par leur trajectoire. Si la vitesse linéaire moyenne est la même dans les deux cas, la vitesse linéaire spatiale moyenne est inférieure pour le cas B car les distances AC, AD, AE, BD, BE et CE sont inférieures.

2. RESULTATS

2.1. Effort de prospection

Près de 123 heures de prospection ont été réalisées entre 2009 et 2012 permettant de comptabiliser environ 20 heures d'observation, dont 15,75 heures avec 22 rorquals communs et 4,25 heures avec 6 cachalots. Le détail des prospections selon les années est présenté dans le Tableau 4 et la

Figure 5. L'année 2009 affiche l'effort de prospection le plus important (4 expéditions qui avaient également pour objectif de tester en mer une version expérimentale de REPCET). C'est en 2011 que l'effort de prospection ainsi que le temps d'observation sont les plus faibles (mauvaises conditions météorologiques). L'expédition 2012 a été la plus prolifique en nombre total d'heures de suivi éthologique (plus de deux fois plus qu'en 2009) mais avec un nombre de cétacés observés légèrement inférieur (11 contre 13). Les animaux ont pu être suivis plus longtemps au cours de cette année.

Tableau 4. Détail des temps et du nombre d'observations par année de prospection (Bp : rorqual, Pm : cachalot)

Année	Nb de jours d'expédition	Durée des recherches en transect	Durée des suivis éthologiques			Nombre d'individus observés		
			Bp	Pm	Total	Bp	Pm	Total
2009	12	73 h 37 min	5 h 48 min	17 min	6 h 05 min	10	3	13
2011	2	4 h 43 min	1 h 02 min	0 min	1 h 02 min	2	0	2
2012	7	45 h 31 min	8 h 56 min	3 h 55 min	12 h 51 min	8	3	11

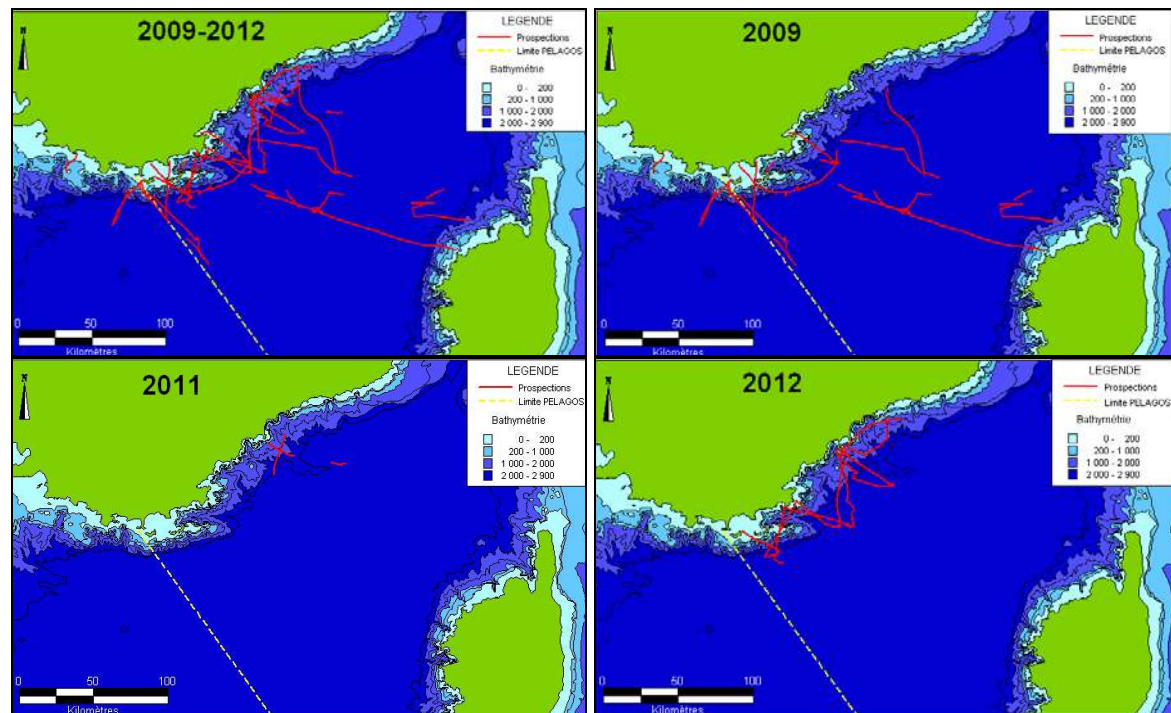


Figure 5. Cartes des prospections (transects + suivis éthologiques) effectuées sur l'ensemble de la période (années 2009, 2011 et 2012) puis par année.

2.2. Filtrage des données

Une fois les données récoltées, trois filtres sont appliqués. Ils concernent l'identification de l'individu suivi, les cycles de sonde et la distance de l'observation au bateau (paragraphe 1.3.1.).

2.2.1. Identification

Après avoir rejeté les positions d'animaux dont l'identification était incertaine lors du suivi, 353 positions sur un total de 396 (89%) ont été conservées pour les rorquals communs. Pour les cachalots, 26 positions de cachalots sur un total de 79 (33%) ont été conservées.

2.2.2. Cycles de sonde complets

Après avoir rejeté les positions qui ne formaient pas de cycle de sonde complet lors du suivi, 296 positions de rorquals (84% des positions restantes) ont été conservées. En revanche, aucune position de cachalot n'a été conservée par ce filtre. Les raisons de ce résultat sont discutées plus loin (Chapitre 3).

2.2.3. Analyse de variance

Conformément aux besoins exposés dans le paragraphe 1.3.3., le graphique des variances cumulées en fonction de la distance est présenté en

Figure 6. Deux paliers sont observés, le premier entre 400 et 500 mètres et le deuxième entre 700 et 800 mètres, marquant deux augmentations nettes de la variabilité des données. Néanmoins, on constate que les effectifs sont très variables d'une classe à l'autre (de 2 à 72) et, de fait, ils influent sur ces résultats.

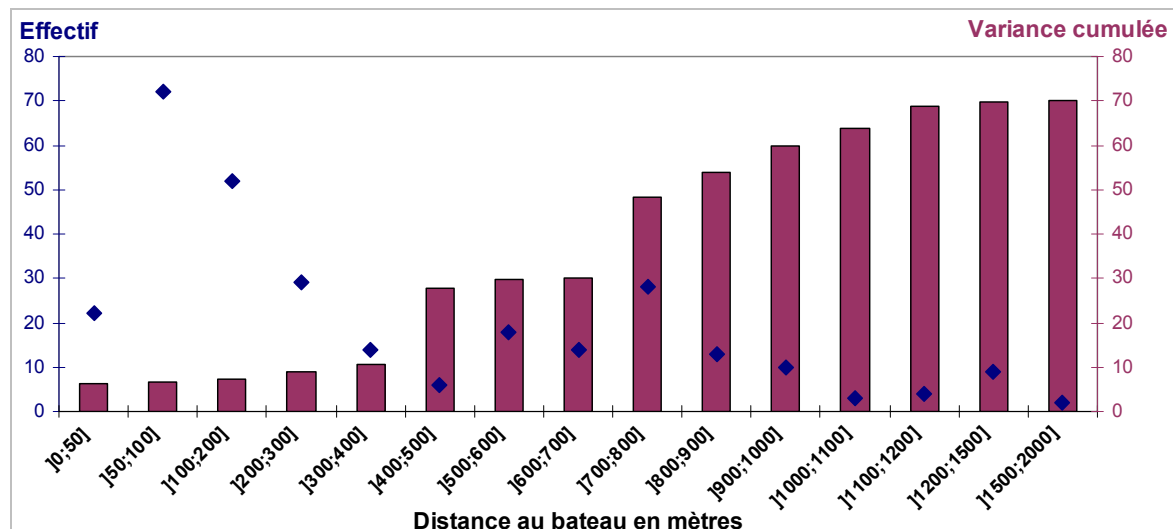


Figure 6. Graphique des variances cumulées croissantes des observations selon leur distance au bateau, avec leurs effectifs respectifs. Deux paliers sont observés, l'un entre 400 et 500 mètres et l'autre entre 700 et 800 mètres.

Afin d'atténuer l'influence de l'effectif, les quinze classes initiales sont regroupées en deux classes situées de part et d'autre du palier. La différence de variance entre ces deux classes est examinée (Figure 7). Pour les quatre premières comparaisons (entre ≤ 400 et $]400 ; 2000]$, entre ≤ 500 et $]500 ; 2000]$, entre ≤ 600 et $]600 ; 2000]$, ≤ 700 et entre $]700 ; 2000]$), la différence varie peu et reste élevée (écart compris entre 5 et 7,6). Un seuil très net se dessine à partir de la comparaison ≤ 800 et $]800 ; 2000]$, puisque l'écart de variance devient très faible (0,2) pour s'inverser ensuite. Il semble donc qu'il y ait une grande variabilité associée aux données d'observations réalisées au-delà de 700 mètres du navire. Ainsi, ne sont considérées dans l'analyse que les données collectées en-deçà de 700 mètres inclus, soit 229 positions de rorquals (77% des positions restantes).

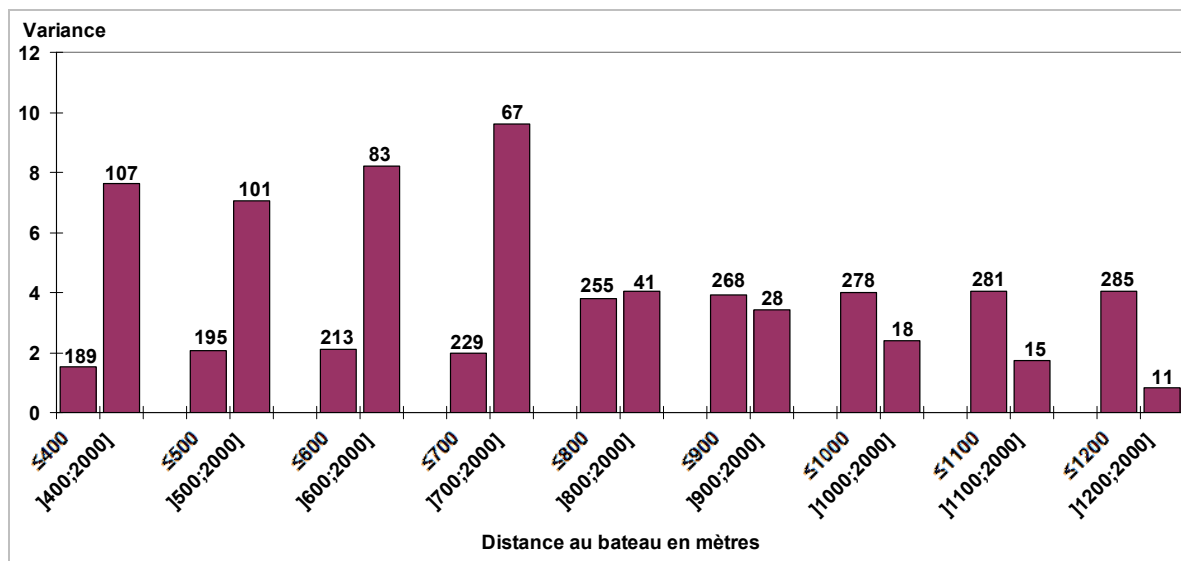


Figure 7. Comparaisons de variances des observations regroupées en deux classes. Les neuf comparaisons sont proposées sur un même graphique afin de conserver l'échelle de variance. Les nombres au-dessus des barres correspondent à l'effectif.

2.3. Vitesse de déplacement

2.3.1. Rorquals communs

Après applications des filtres, 229 positions (57%) ont donc été conservées (Figure 10). Les vitesses linéaires spatiales ont donc été calculées à partir de ces 227 positions. La moyenne de l'ensemble des vitesses linéaires spatiales pour les rorquals communs est de $0,81 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ (écart-type : $0,53$) soit $2,93 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ (écart-type : $1,9$) (Figure 9 et Figure 10).

2.3.2. Cachalots

Après application des filtres, aucune de ces positions n'a été retenue pour l'analyse. Les raisons de ce résultat sont discutées ci-après.

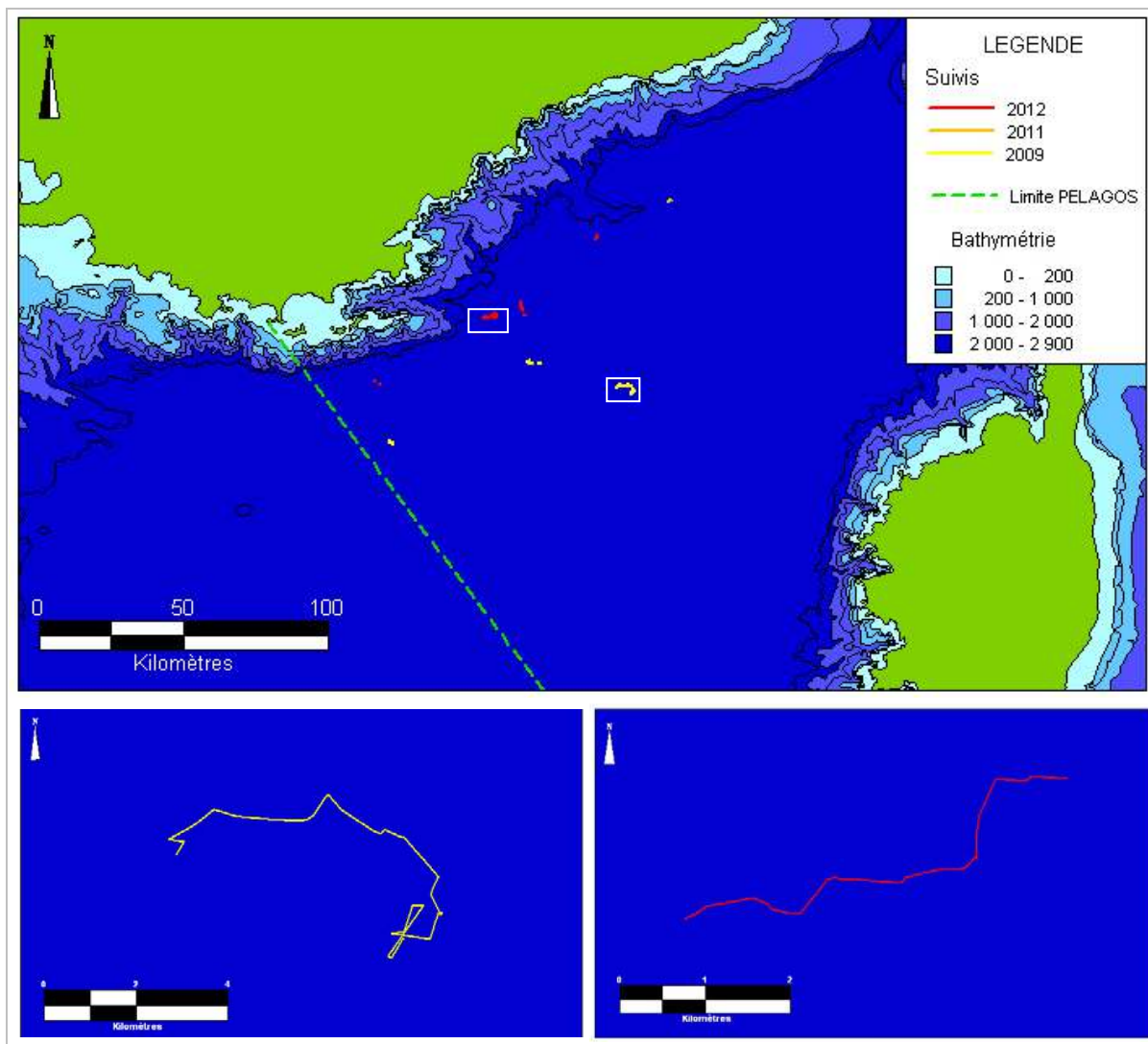


Figure 8 : Cartographie des trajectoires restantes après application des filtres. Carte générale de l'ensemble des points (en haut) et deux exemples de suivis en-dessous.

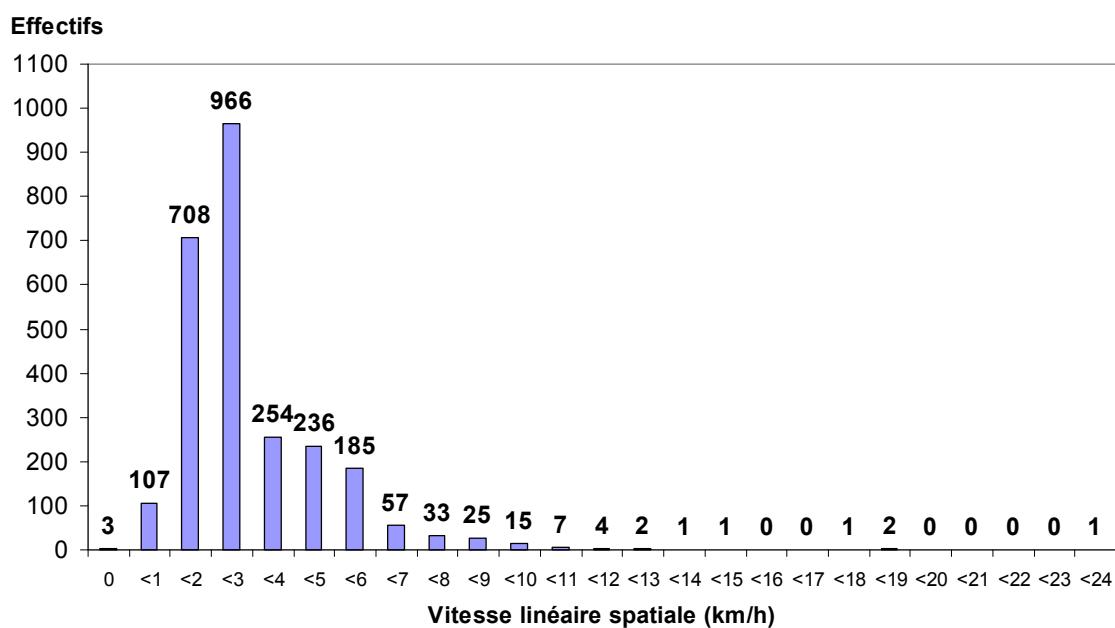


Figure 9 : Distribution des données de vitesses linéaires spatiales

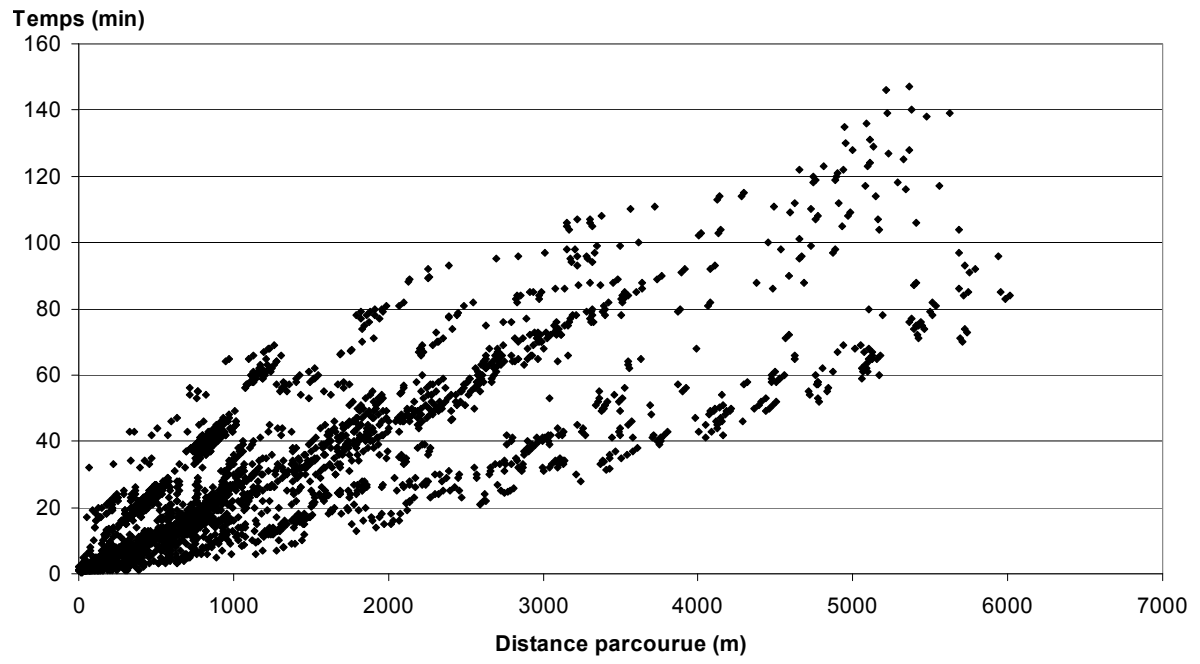


Figure 10. Répartition des vitesses linéaires spatiales des rorquals en $m.min^{-1}$ ($n=2608$).

3. DISCUSSION

Etant donné l'absence de résultat pour les vitesses linéaires spatiales des cachalots, qui sera traitée dans le chapitre 4, seul le cas du rorqual commun sera abordé dans ce paragraphe. Pour cette espèce, les valeurs obtenus dans cette étude sont plus faibles que celles proposées dans la littérature. Ainsi, dans le Sanctuaire PELAGOS, Jahoda *et al.* (2003) ont mesuré des vitesses réelles moyennes de déplacement de rorquals communs entre $1,3 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ ($\pm 0,5$) et $1,6 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ ($\pm 0,6$) selon la période d'approche d'un bateau, tandis que les rorquals communs observés par Lafortuna *et al.* (2003) ont évolué à une vitesse moyenne de $1,39 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ ($0,47$). Plusieurs raisons peuvent expliquer ces différences. La première est que, comme stipulé dans le paragraphe 1.3.3., les vitesses présentées ici ne sont pas les vitesses linéaires réelles des animaux mais des vitesses linéaires spatiales, qui tiennent compte de la trajectoire de l'animal. Il est donc logique que les résultats soient inférieurs aux vitesses réelles de la littérature. De plus, les travaux précités ont été conduits à bord d'unités motorisées. La présente étude a été réalisée à bord d'un voilier. Ces moyens pourraient impliquer une moindre capacité à suivre les animaux les plus rapides, peut-être sous-représentés. Cependant, ce type de navigation permet peut-être aussi de mieux observer des comportements calmes de type « repos » peut-être sous-représentés ou biaisés lors d'observations depuis des navires propulsés au moteur, dont les nuisances sonores sont susceptibles de plus perturber le comportement de l'animal (Jahoda *et al.*, 2003).

Ces résultats, basés sur un protocole et une analyse stricts, peuvent d'ores et déjà être utilisés pour modéliser des zones de risque de manière pertinente. Néanmoins, les éléments discutés ci-dessus montrent que des données complémentaires permettraient, dans l'avenir, d'affiner encore ces résultats.

L'absence de données de vitesses pour le cachalot s'explique par le faible nombre d'individus observés ($n=6$), mais surtout par la difficulté à suivre un cachalot pendant et après un cycle de sonde. En effet, la durée de sonde d'un cachalot en Méditerranée est en moyenne de 44 à 50 minutes (Drouot, 2003 ; Drouot *et al.*, 2004b ; Watwood *et al.*, 2006), chiffres similaires à ceux observés ailleurs dans le monde (Papastavrou *et al.*, 1989 ; Watkins *et al.*, 2002). Couplé à la prospection visuelle, un suivi acoustique avec un hydrophone multidirectionnel pourrait permettre de suivre les animaux lorsqu'ils sont en plongée et de recréer leur parcours (Wahlberg, 2002 ; Morrissey *et al.*, 2006).

Les données récoltées sur les vitesses linéaires des cachalots n'étant pas utilisables, les informations de vitesse pour les paramétrages d'ouverture et d'obsolescence des zones de risque sont à rechercher dans la littérature. Un important travail de synthèse bibliographique, en Méditerranée et au-delà, a déjà été réalisé par Gambaiani (2009). Les résultats indiquent que les vitesses de déplacement des cachalots en Méditerranée varient en moyenne entre $1,63 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ et $5,5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Cependant, ces vitesses ne tiennent pas compte de la trajectoire de l'animal et sont donc jugées trop rapides pour les besoins de cette étude. Drouot (2003), pour sa part, présente dans ses travaux de thèse sur les cachalots en Méditerranée nord-occidentale une vitesse minimale observée de $1,24 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. En attendant des données supplémentaires qui permettront le calcul de vitesses linéaires spatiales, il serait plus prudent de choisir les valeurs minimales (plutôt que les valeurs moyennes basses) trouvées dans la littérature pour définir l'obsolescence de la zone de risque, au nom du principe de précaution.

4. RECOMMANDATIONS POUR LA MISE À JOUR DES PARAMÈTRES DE LA ZONE DE RISQUE

Dans ce chapitre, les résultats de l'étude sont intégrés dans les paramètres des zones de risque de REPCET. La forme, la vitesse d'ouverture, le rayon, l'obsolescence et la colorimétrie des nouvelles zones de risque sont présentés pour le rorqual commun puis pour le cachalot.

4.1. Cas du Rorqual commun

4.1.1. Forme de la zone de risque

La forme pourrait être fonction du comportement de l'animal et de son cap. Lorsqu'un rorqual commun se déplace, son cap est relativement constant alors que quand il s'alimente, le cap est beaucoup plus aléatoire (Mouillot et Viale, 2001). La zone de risque pourrait donc prendre la forme d'un triangle en cas de déplacement (considération du cap) et de disque en cas de nourrissage (considération de l'alimentation sur un essaim de krill). Mais cela nécessiterait de demander aux officiers de quart de d'identifier le comportement de l'animal et de définir son cap. Or, la densité du travail à bord et les connaissances et techniques indispensables pour définir correctement ces paramètres rendent ce projet difficilement applicable. De fait, la forme de cercle est privilégiée car, bien que moins précise, elle est compatible avec tous les cas de comportements. **La zone de risque se traduit donc par un premier cercle dont la vitesse d'ouverture sera fonction des résultats de cette étude (vitesse linéaire spatiale maximale).**

Pour limiter la perte de précision, les auteurs proposent également de considérer la vitesse linéaire spatiale minimale. En effet, si le premier cercle traduit la vitesse maximale des animaux, **un second cercle, concentrique au précédent, peut symboliser la vitesse linéaire spatiale minimale. Ces deux cercles concentriques confèrent donc à la zone de risque une forme de couronne qui traduit la présence de l'animal initialement détecté.**

4.1.2. Vitesse d'ouverture de la zone de risque

Les vitesses maximale et minimale sont définies par la vitesse linéaire spatiale moyenne plus ou moins l'écart-type afin de ne pas tenir compte des valeurs les plus extrêmes et améliorer ainsi la pertinence des zones de risque dans la majorité des cas. La Figure 11 présente de résultat de ce traitement : **la vitesse linéaire spatiale maximale (droite rouge) est de $0,814 + 0,528 = 1,34 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ soit $4,83 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ et la vitesse linéaire spatiale minimale (droite verte) est de $0,814 - 0,528 = 0,286 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ soit $1,03 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.**

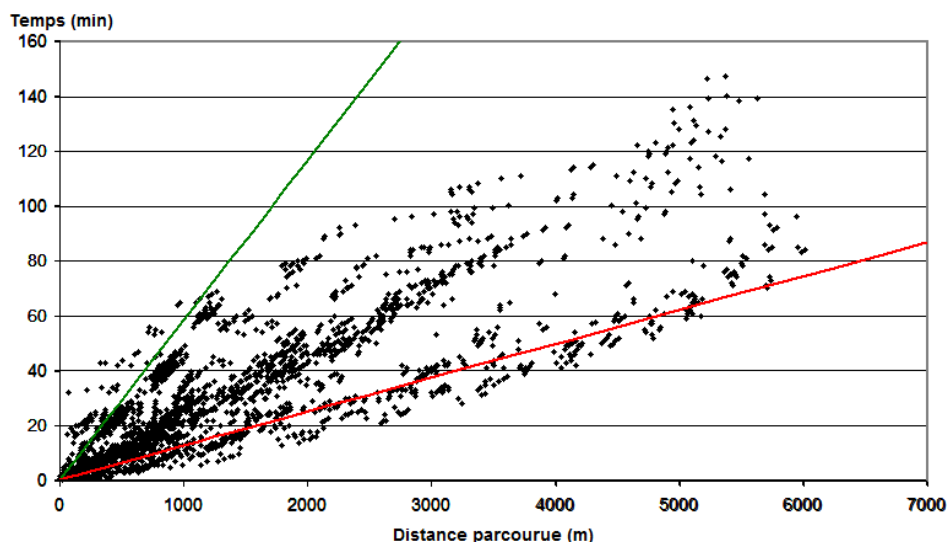


Figure 11. Répartition des vitesses linéaires spatiales des rorquals communs en $\text{m}\cdot\text{min}^{-1}$. La droite rouge correspond à la vitesse linéaire spatiale maximale de $4,83 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ et la droite verte à la vitesse linéaire spatiale minimale de $1,03 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$.

4.1.3. Rayon maximal de la zone de risque

La définition de la taille maximale de la zone de risque (et donc son seuil d'obsolescence) se définit techniquement selon la distance maximale de détection d'un grand cétacé. Un second facteur doit venir s'adjoindre à ce premier. Plus suggestif, il concerne l'ergonomie et la probabilité d'observation d'un animal signalé au préalable. L'analyse qui suit considère successivement ces deux éléments et part du postulat suivant : le navire est situé au centre de la zone.

Concernant la distance de détection d'abord, la première analyse considère les capacités de l'œil humain. Au travers de leurs expériences, Pirenne et Crouzy (1970) ont révélé que l'organe optique ne pouvait distinguer un détail inférieur à 0,01 degré d'angle visuel. Sur cette base, Mayol (2007) a calculé qu'un souffle de rorqual de (5 mètres de hauteur) pouvait être détecté jusqu'à 15,7 milles nautiques, et un dos (6 mètres de long exposés) jusqu'à 18,4 milles nautiques. Mais ces performances théoriques ne considèrent pas la rotondité de la Terre. Ainsi, pour un navire dont la passerelle est à 25 mètres de hauteur (entre 20 et 25 mètres pour les ferries et rouliers mixtes en général, Frédéric Capoulade, Commandant retraité de la SNCM, com. pers.), l'horizon se situe à environ 10 milles nautiques¹⁰. Cette valeur théorique constitue donc le rayon potentiel maximum de la zone de risque. Mais dans la réalité, la probabilité de détecter à nouveau l'animal dans une telle zone (1078 km²) est extrêmement faible et ne considère pas les perturbations optiques liées par exemple à l'état de la mer. De plus, cette probabilité est jugée bien trop « optimiste » par les professionnels (Olivier Varin, Directeur Général Adjoint Opérations, compagnie maritime La Méridionale, com. pers., appuyé par les officiers de plusieurs navires de la Méridionale).

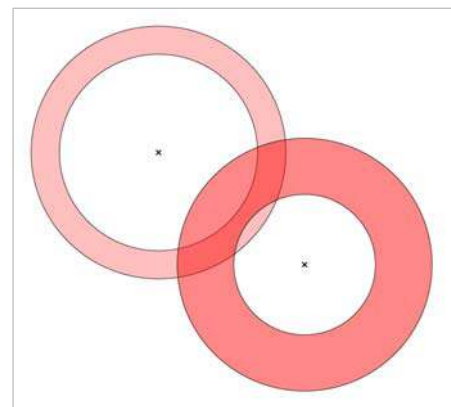
Dans la pratique, Mayol *et al.* (2008) ont démontré qu'un observateur entraîné était capable de détecter des rorquals communs jusqu'à une distance de 6 milles nautiques par beau temps (depuis une passerelle située à 18 m. à bord d'un NGV), bien que la très large majorité des observations se fassent bien en deçà (75% entre 0 et 2 MN et 95% entre 0 et 4 MN). Les auteurs, qui ont travaillé sur la comparaison des détections initiales entre un observateur spécialisé et deux officiers de quart, démontrent des performances inférieures pour ces derniers (97% de leurs détections initiales se font entre 0 et 2 MN). Dans la mesure où REPCET a précisément pour objectif d'améliorer la détectabilité des grands cétacés, et en cohérence avec les suggestions d'O. Varin et de ses officiers (com. pers.), la valeur intermédiaire de 2,5 MN, soit 4 630 mètres, est retenue.

4.1.4. Colorimétrie

Les cercles sont noirs pour rester visibles sur le fond de carte. La couronne, pour sa part, apparaît dans un rouge vif pour symboliser le risque. Le rouge s'atténue ensuite progressivement au cours du temps pour finir par se confondre totalement avec le fond de carte au moment où le second cercle rejoint le premier, soit au bout de 270 minutes. Ce dégradé revêt deux objectifs :

- Il traduit l'ancienneté de la zone de risque, mais en aucun cas une baisse du niveau de risque ;
- Il permet également de mettre en lumière les superpositions éventuelles entre deux zones de risque (
- Figure 12). La superposition de deux couronnes est susceptible de traduire un secteur particulièrement important, soit parce qu'elle affine la zone de risque d'un même animal vu par deux contributeurs successifs, soit parce qu'elle traduit une aire qui concerne deux alertes différentes.

Figure 12. Superposition de deux zones de risques. Du fait du fondu progressif au cours du temps, l'aire d'intersection entre les deux zones est plus foncée.



¹⁰ formule de l'horizon théorique visible : $r_{th} = \sqrt{[2R(H+h)]} = \sqrt{[12740*(0,025+0,0017)]} = 18,44 \text{ km} = 9,95 \text{ MN}$, avec R le rayon de la Terre = 6370 km, H la hauteur de la passerelle = 25 m et h la taille de l'officier = 1,7 m.

4.1.5. Synthèse

Lorsqu'une observation de rorqual est signalée, un premier disque (cercle noir et fond rouge) s'ouvre à une vitesse de $1,342 \text{ m.sec}^{-1}$ ($4,83 \text{ km.h}^{-1}$) autour du point d'observation initiale. Un second disque (cercle noir et fond vide) s'ouvre autour de l'observation initiale à la vitesse de $0,286 \text{ m.sec}^{-1}$ ($1,03 \text{ km.h}^{-1}$), marquant la limite intérieure de la zone de risque.

Le premier cercle atteint son rayon maximal (2,5 MN) au bout de 58 minutes. La zone apparaît dans un rouge vif dont l'intensité diminue au fil du temps. La couleur de la couronne finit par se fondre complètement avec le fond de la carte lorsque le second cercle rejoint le premier, soit au bout de 270 minutes.

Le point d'observation initial, pour sa part, reste visible pendant 24 heures.

La

Figure 13 présente cet enchainement.

4.2. Cas des cachalots

4.2.1. Forme et vitesse d'ouverture de la zone de risque

La forme de la zone de risque relative à une observation de cachalot est la même que celle relative à une observation de rorqual (paragraphe 4.1.1 et 4.1.2). Cette étude n'ayant pas permis d'obtenir des vitesses linéaires spatiales pour les cachalots, les vitesses utilisées pour la zone de risque sont les valeurs extraites de la littérature présentées dans le chapitre 3, à savoir :

- une vitesse maximale de $5,5 \text{ km.h}^{-1}$;
- une vitesse minimale de $1,24 \text{ km.h}^{-1}$

4.2.2. Rayon et colorimétrie

Le rayon de la zone de risque relative à une observation de cachalot est le même que pour celle relative à une observation de rorqual commun. Il en va de même pour les caractéristiques colorimétriques (paragraphe 4.1.3 et 4.1.4 respectivement).

4.2.3. Synthèse

Lorsqu'une observation de cachalot est signalée, un premier disque (cercle noir et fond rouge) s'ouvre à une vitesse de $1,53 \text{ m.sec}^{-1}$ ($5,5 \text{ km.h}^{-1}$) autour du point d'observation initiale.

Un second disque (cercle noir et fond vide) s'ouvre autour de l'observation initiale à la vitesse de $0,344 \text{ m.sec}^{-1}$ ($1,24 \text{ km.h}^{-1}$), marquant la limite intérieure de la zone de risque.

Le premier cercle atteint son rayon maximal (2,5 MN) au bout de 50 minutes. La zone apparaît dans un rouge vif dont l'intensité diminue au fil du temps. La couleur de la couronne finit par se fondre complètement avec le fond de la carte lorsque le second cercle rejoint le premier, soit au bout de 224 minutes.

Le point d'observation, pour sa part, reste visible pendant 24 heures.

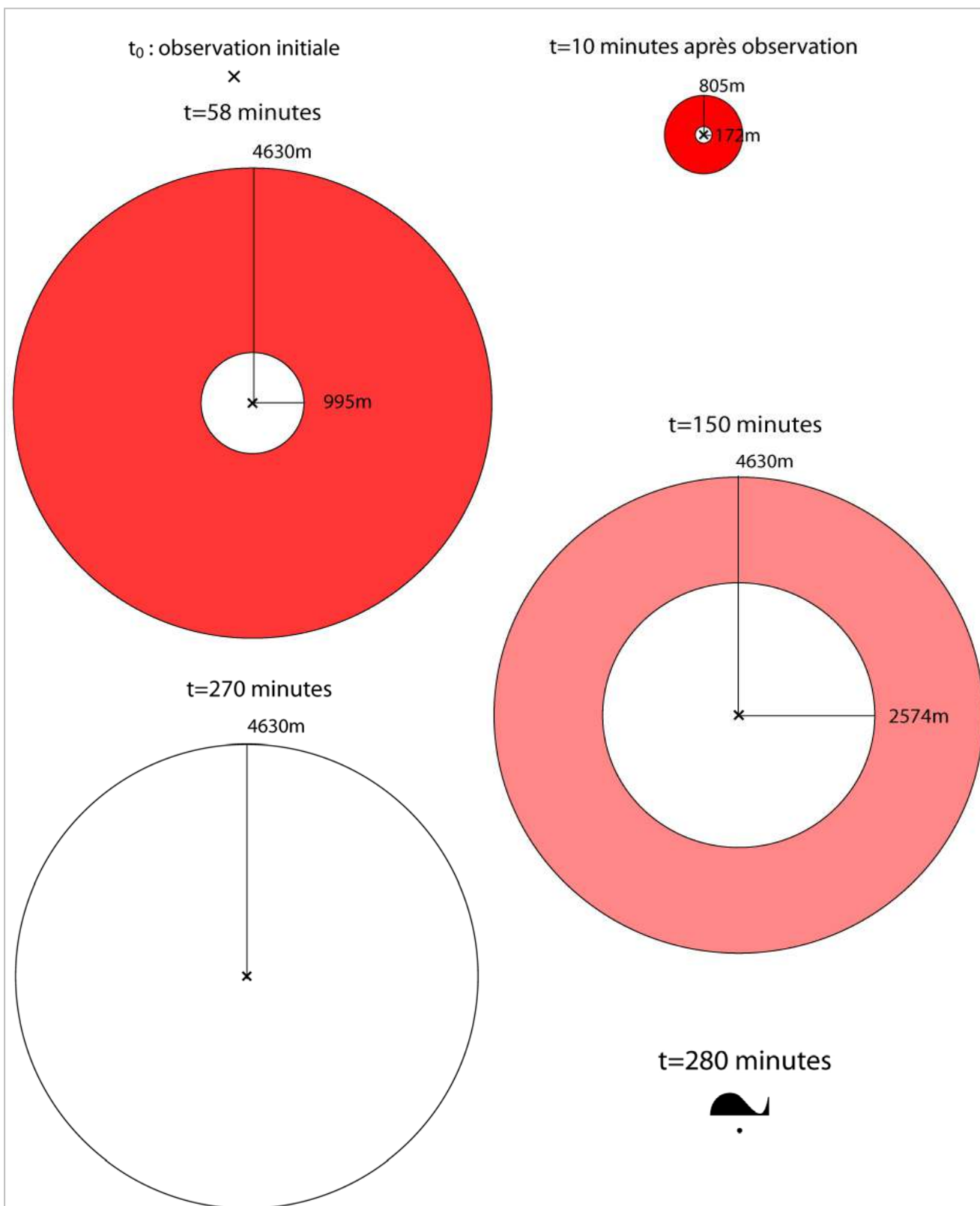


Figure 13. Séquence d'ouverture d'une zone de risque relative à l'observation d'un rorqual commun : le premier cercle s'ouvre à la vitesse de $1,342 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$ et atteint le rayon maximal de 4 630 mètres au bout de 58 minutes. Le deuxième cercle s'ouvre à la vitesse de $0,286 \text{ m}\cdot\text{sec}^{-1}$. La zone de risque devient obsolète après 270minutes, mais le point d'observation reste ensuite visible pendant 24 heures.

CONCLUSION

En Méditerranée et particulièrement dans la région du Sanctuaire PELAGOS, les populations de rorquals communs et de cachalots sont affectées par les collisions avec les navires de commerce. L'outil REPCET, qui repose sur la détection visuelle des cétacés et la communication de leur position entre les navires, permet de limiter le risque de collision au travers notamment de zones de risque. L'objectif de cette étude était de fournir un modèle robuste de définition de ces zones de risque. Une série d'embarquements dédiés a donc été opérée afin de recueillir des données selon un protocole de suivi éthologique.

Plusieurs filtres ont été appliqués aux données brutes, notamment concernant l'identification des individus, les cycles de sonde et la distance des observations au navire. Des vitesses linéaires tenant compte de la trajectoire de l'animal (vitesses linéaires spatiales) ont été calculées pour le rorqual commun, avec une moyenne de $2,93 \text{ km.h}^{-1}$ (écart-type : 1,9).

De tels calculs n'ont pu être réalisés pour le cachalot du fait d'un manque de données de qualité. Les informations de vitesse ont été extraites de la littérature.

D'après les résultats et selon plusieurs recommandations, les zones de risque REPCET revêtiront une forme de couronne, définie par deux cercles concentriques, avec un diamètre maximum de 2,5 milles nautiques. Pour les rorquals communs, le premier cercle s'ouvrira à la vitesse de $4,83 \text{ km.h}^{-1}$ (moyenne + écart-type) et le deuxième cercle à la vitesse de $1,03 \text{ km.h}^{-1}$ (moyenne - écart-type). Pour les cachalots, le premier cercle s'ouvrira à la vitesse de $1,24 \text{ km.h}^{-1}$ et le deuxième cercle à la vitesse de $5,5 \text{ km.h}^{-1}$. Ces zones de risque deviendront obsolètes lorsque le deuxième cercle atteindra le rayon maximum de 2,5 milles nautiques, soit au bout de 270 minutes pour les rorquals communs et 224 minutes pour les cachalots. Les couronnes auront une couleur rouge vif à leur apparition, qui se fondera petit à petit avec l'arrière-plan pour disparaître lorsque les zones deviendront obsolètes.

L'étude présentée ici a permis d'apporter de nouvelles informations sur les vitesses de déplacement des grands cétacés au sein du Sanctuaire PELAGOS, en particulier en ce qui concerne les notions de déplacement en deux dimensions (vitesses linéaires spatiales). Ces informations ont permis la création de zones de risque robustes dans REPCET, à la fois d'un point de vue biologique et d'un point de vue ergonomique.

Cependant, des données supplémentaires sont nécessaires pour affiner ces informations, en particulier pour le cachalot. Ses temps de plongée de 50 minutes en moyenne augmentent considérablement les difficultés pour suivre ces animaux sur des cycles de sonde complets. L'utilisation d'un hydrophone multidirectionnel constitue une solution pour remédier à ce problème. De plus, l'utilisation systématique de jumelles Laser-range permettrait d'estimer de manière plus précise la distance entre les animaux et le bateau. Cela aurait pour effet de faire baisser la variabilité due aux approximations lorsque ces distances sont élevées et donc d'avoir un jeu de données plus grand.

Ces données complémentaires permettraient enfin de tester le modèle actuel pour affiner les paramètres dynamiques des zones. De plus, un retour de l'ensemble des professionnels suite à la mise en place de ces zones de risque sera également nécessaire pour évaluer les paramètres ergonomiques.

Cette étude aura permis d'améliorer substantiellement le dispositif REPCET, lui-même conduit dans le cadre d'un programme plus vaste sur la limitation des risques de collisions au sein de PELAGOS. Ce programme symbolise bien les aspirations fondatrices du Sanctuaire : la collaboration étroite entre scientifiques, gestionnaires, ingénieurs, institutions et professionnels de la mer pour une protection efficace et durable des cétacés de Méditerranée. Souhaitons qu'avec le temps cette collaboration ne soit que plus renforcée et efficace.

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Antenne Iridium / GPS et modem Iridium placés dans un boîtier étanche rectangulaire.	11
Figure 2. Carte de la zone prospectée lors des expéditions 2009, 2011 et 2012.....	13
Figure 3. Code de bonne conduite pour l'observation des cétacés en mer (figure extraite de (PELAGOS, 2010)).....	15
Figure 4. Influence de la trajectoire dans le calcul de la vitesse. Deux cas de déplacement de cétacé sont présentés (Cas A et Cas B), ne différents que par leur trajectoire. Si la vitesse linéaire moyenne est la même dans les deux cas, la vitesse linéaire spatiale moyenne est inférieure pour le cas B car les distances AC, AD, AE, BD, BE et CE sont inférieures.	20
Figure 5. Cartes des prospections (transects + suivis éthologiques) effectuées sur l'ensemble de la période (années 2009, 2011 et 2012) puis par année.	21
Figure 6. Graphique des variances cumulées croissantes des observations selon leur distance au bateau, avec leurs effectifs respectifs. Deux paliers sont observés, l'un entre 400 et 500 mètres et l'autre entre 700 et 800 mètres.	22
Figure 7. Comparaisons de variances des observations regroupées en deux classes. Les neuf comparaisons sont proposées sur un même graphique afin de conserver l'échelle de variance. Les nombres au-dessus des barres correspondent à l'effectif.	23
Figure 8 : Cartographie des trajectoires restantes après application des filtres. Carte générale de l'ensemble des points (en haut) et deux exemples de suivis en-dessous.	24
Figure 9 : Distribution des données de vitesses linéaires spatiales.....	24
Figure 10. Répartition des vitesses linéaires spatiales des rorquals en $m.min^{-1}$	25
Figure 11. Répartition des vitesses linéaires spatiales des rorquals en $m.min^{-1}$. La droite rouge correspond à la vitesse linéaire spatiale maximale de $4,83 km.h^{-1}$ Et la droite verte à la vitesse linéaire spatiale ¹ minimale de $1,03 km.h^{-1}$	
Figure 12. Superposition de deux zones de risques. Du fait du fondu progressif au cours du temps, l'aire d'intersection entre les deux zones est plus foncée.	28
Figure 13. Séquence d'ouverture d'une zone de risque relative à l'observation d'un rorqual commun : le premier cercle s'ouvre à la vitesse de $1,342 m.sec^{-1}$ et atteint le rayon maximal de 4 630 mètres au bout de 58 minutes. Le deuxième cercle s'ouvre à la vitesse de $0,286 m.sec^{-1}$. La zone de risque devient obsolète après 270minutes, mais le point d'observation reste ensuite visible pendant 24 heures.....	30

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Détails des navires utilisés selon les expéditions	11
Tableau 2. Liste des observateurs expérimentés embarqués à bord des voiliers. CET : observations et saisie des données, JOUR : Journaliste, C : Chef de mission.....	12
Tableau 3. Fonctions et limites de l'équipement acoustique mis à disposition par Chrisar.....	17
Tableau 4. Détail des temps et du nombre d'observations par année de prospection.....	21

BIBLIOGRAPHIE

- Beaubrun, P., Capoulade, F., Dhermain, F., Gadaix, B., Gambaiani, D. and Mayol, P. (2010). Deux collisions en 2009. *Bulletin PELAGOS France*, 7: 4.
- Bérubé, M., Aguilar, A., Dendanto, D., Larsen, F., Notarbartolo di Sciara, G., Sears, R., Sigurjonsson, J., Urban-R, J. and Palsbøll, P.J. (1998). Population genetic structure of North Atlantic, Mediterranean Sea and Sea of Cortez fin whales, *Balaenoptera physalus* (Linnaeus 1758): analysis of mitochondrial and nuclear loci. *Molecular Ecology*, 7(5): 585-599.
- Cañadas, A., Sagarminaga, R. and García-Tiscar, S. (2002). Cetacean distribution related with depth and slope in the Mediterranean waters off southern Spain. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 49(11): 2053-2073.
- Castellote, M., Clark, C.W. and Lammers, M.O. (2012). Fin whale (*Balaenoptera physalus*) population identity in the western Mediterranean Sea. *Marine Mammal Science*, 28(2): 325-344.
- Castellote, M., Esteban, J.-A. and Clark, C.W. (2008). Fin whale (*Balaenoptera physalus*) movements along the Spanish mediterranean coast. *Journal of the Acoustical Society of America*, 123(5): 3775.
- Cotté, C., Guinet, C., Taupier-Letage, I., Mate, B. and Petiau, E. (2009). Scale-dependent habitat use by a large free-ranging predator, the Mediterranean fin whale. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 56(5): 801-811.
- De Stephanis, R., Verborgh, P., Pérez Gimeno, N., Sanchez Cabanes, A., Pérez Jorge, S., Esteban Pavo, R., Séller, N., Urquiola, E. and Guinet, C. (2005). Impacts produced by the maritime traffic on cetacean populations in the Strait of Gibraltar (Spain). Current situation and future previsions. Direccion General para la Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente, 35p
- Di-Méglio, N. and David, L. (2010). Suivi temporel du Sanctuaire PELAGOS par transects mensuels au large et réflexion sur des méthodologies de monitoring. PELAGOS France, 200p
- Di-Méglio, N., David, L., Capoulade, F., Gambaiani, D., Mayol, P., McKenzie, C., McKenzie, E. and Schneider, M. (2010). Synthèse des connaissances sur l'impact du trafic maritime. PELAGOS France, 351p
- Drouot-Dulau, V. and Gannier, A. (2007). Movements of sperm whale in the western Mediterranean Sea: preliminary photo-identification results. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87(01): 195-200.
- Drouot, V. (2003). Ecology of sperm whale (*Physeter macrocephalus*) in the Mediterranean Sea. Institute of Environmental Science, University of Wales. Bangor. 357p
- Drouot, V., Bérubé, M., Gannier, A., Goold, J.C., Reid, R.J. and Palsbøll, P.J. (2004a). A note on genetic isolation of Mediterranean sperm whales (*Physeter macrocephalus*)

- suggested by mitochondrial DNA. *Journal of Cetacean Research and Management*, 6(1): 29-32.
- Drouot, V., Gannier, A. and Goold, J., C. (2004b). Diving and Foraging Behaviour of Sperm Whales (*Physeter macrocephalus*) in the Northwestern Mediterranean Sea. *Aquatic Mammals*, 30(3): 419-426.
- Druon, J.-N., Panigada, S., David, L., Gannier, A., Mayol, P., Arcangeli, A., Cañadas, A., Laran, S., Di Méglia, N. and Gauffier, P. (2012). Potential feeding habitat of fin whales in the western Mediterranean Sea: an environmental niche model. *Marine Ecology Progress Series*, 464: 289-306.
- Duguy, R. (1991). Les mammifères marins de la Méditerranée occidentale. *Bulletin de la Société Zoologique de France*, 114(3): 89-96.
- Duguy, R., Casinos, A., Di Natale, A., Fillela, S., Ktari-Chakroun, F., Lloze, R. and Marchessaux, D. (1983). Répartition et fréquence des mammifères marins en Méditerranée. Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée, 28: 223-230
- EEA (2006). Priority issues in the Mediterranean environment. European Environment Agency, Report No. 4. Copenhagen, Denmark. 92p
- Engelhaupt, D., Rus Hoelzel, A., Nicholson, C., Frantzis, A., Mesnick, S., Gero, S., Whitehead, H.A.L., Rendell, L., Miller, P., De Stephanis, R., Cañadas, A.N.A., Airolidi, S. and Mignucci-Giannoni, A.A. (2009). Female philopatry in coastal basins and male dispersion across the North Atlantic in a highly mobile marine species, the sperm whale (*Physeter macrocephalus*). *Molecular Ecology*, 18(20): 4193-4205.
- Forcada, J., Aguilar, A., Hammond, P.S., Pastor, X. and Aguilar, R. (1996). Distribution and abundance of fin whales (*Balaenoptera physalus*) in the western Mediterranean Sea during summer. *Journal of Zoology*, 238(1): 23-34.
- Frantzis, A., Swift, R., Gillepsie, D., Menhennett, C., Gordon, J. and Gialinakis, S. (2000). Sperm whale presence off South-West Crete, Greece, Eastern Mediterranean. In: *European Research on Cetaceans - 13 Proceedings*, 13th Conference of the European Cetacean Society, Valencia, 20-24 April, 214-217p
- Gambaiani, D. (2009). Etude éthologique (synthèse bibliographique) du rorqual commun (*Balaenoptera physalus*) et du cachalot (*Physeter macrocephalus*) pour la définition de règles de représentation de l'Aire de Présence Potentielle des animaux. Souffleurs d'Ecume, 15p
- Gannier, A. (1997). Estimation de l'abondance estivale du rorqual commun *Balaenoptera physalus* (Linné, 1758) dans le bassin liguro-provençal (Méditerranée occidentale). *Revue d'Ecologie (Terre et Vie)*, 52(1): 69-86.
- Gannier, A., Drouot, V. and Goold, J., C. (2002). Distribution and relative abundance of sperm whales in the Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 243: 281-293.

- Gordon, J. and Steiner, L. (1992). Ventilation and dive patterns in sperm whales, *Physeter macrocephalus*, in the Azores. *Scientific Report of the International Whaling Commission*, SC/42/Sp7. 4: 561-565
- Jahoda, M., Lafortuna, C.L., Biassoni, N., Almirante, C., Azzellino, A., Panigada, S., Zanardelli, M. and Di Sciara, G.N. (2003). Mediterranean fin whale's (*Balaenoptera physalus*) response to small vessels and biopsy sampling assessed through passive tracking and timing of respiration. *Marine Mammal Science*, 19(1): 96-110.
- Lafortuna, C.L., Jahoda, M., Azzellino, A., Saibene, F. and Colombini, A. (2003). Locomotor behaviours and respiratory pattern of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*). *European Journal of Applied Physiology*, 90(3-4): 387-395.
- Laran, S., Castellote, M., Caudal, F., Monnin, A. and Glotin, H. (2010). Suivi acoustique des cétacés au nord du Sanctuaire PELAGOS. PELAGOS France, 81p
- Laran, S. and Drouot-Dulau, V. (2007). Seasonal variation of striped dolphins, fin- and sperm whales' abundance in the Ligurian Sea (Mediterranean Sea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87(01): 345-352.
- Marini, L., Consiglio, C., Angradi, A.M., Catalano, B., Sanna, A., Valentini, T., Finoia, M.G. and Villetti, G. (1996). Distribution, abundance and seasonality of cetaceans sighted during scheduled ferry crossings in the central Tyrrhenian Sea: 1989–1992. *Italian Journal of Zoology*, 63(4): 381-388.
- Mayol, P. (2007). Déteabilité des grands cétacés à bord des Navires à Grande Vitesse pour limiter les risques de collision. *Diplôme de l'Ecole Pratique des Hautes Etudes*. Ecole Pratique des Hautes Etudes Université de Montpellier II. 128p
- Mayol, P., Beaubrun, P., Capoulade, F. and Mugnier, P. (2008). Whale-ship collisions: Work and outlook from a team in the PELAGOS Sanctuary. The example of the REPCET project. International Whaling Commission, Scientific Committee
- Morrissey, R.P., Ward, J., DiMarzio, N., Jarvis, S. and Moretti, D.J. (2006). Passive acoustic detection and localization of sperm whales (*Physeter macrocephalus*) in the tongue of the ocean. *Applied Acoustics*, 67(11–12): 1091-1105.
- Mouillot, D. and Viale, D. (2001). Satellite tracking of a fin whale (*Balaenoptera physalus*) in the north-western Mediterranean Sea and fractal analysis of its trajectory. *Hydrobiologia*, 452(1): 163-171.
- Notarbartolo-Di-Sciara, G., Zanardelli, M., Jahoda, M., Panigada, S. and Airoidi, S. (2003). The fin whale *Balaenoptera physalus* (L. 1758) in the Mediterranean Sea. *Mammal Review*, 33(2): 105-150.
- Notarbartolo di Sciara, G. and Birkun, A., Jr (2010). Conserving whales, dolphins and porpoises in the Mediterranean and Black Seas: an ACCOBAMS status report. ACCOBAMS, Monaco. 212p

- Palsbøll, P.J., Bérubé, M., Aguilar, A., Notarbartolo-Di-Sciara, G. and Nielsen, R. (2004). Discerning between recurrent gene flow and recent divergence under a finite-site mutation model applied to North Atlantic and Mediterranean Sea fin whale (*Balaenoptera physalus*) populations. *Evolution*, 58(3): 670-675.
- Panigada, S. and Leaper, R. (2010). Ship strikes in the Mediterranean Sea: assessment and identification of conservation and mitigation measures. *Journal of Cetacean Research and Management*, SC/61/BC2.
- Panigada, S., Pesante, G., Zanardelli, M., Capoulade, F., Gannier, A. and Weinrich, M.T. (2006). Mediterranean fin whales at risk from fatal ship strikes. *Marine Pollution Bulletin*, 52(10): 1287-1298.
- Papastavrou, V., Smith, S.C. and Whitehead, H. (1989). *Diving behaviour of the sperm whale, Physeter macrocephalus, off the Galapagos Islands*. Ottawa, CANADA: National Research Council of Canada. 8p
- PELAGOS (2010). Code de Bonne Conduite pour l'Observation des Cétacés en mer. 3p.
- Pirenne, M.H. and Crouzy, R. (1970). L'acuité visuelle de l'homme. In *L'oeil et la vision*. Gauthiers-Villars, Paris. 287p.
- SCOT (2004). Etude du trafic en Méditerranée nord-occidentale. Rapport DT/TRA/03-363.
- Souffleurs d'Ecume (2012). REPCET : Présentation générale du système. 8p
- Wahlberg, M. (2002). The acoustic behaviour of diving sperm whales observed with a hydrophone array. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 281(1-2): 53-62.
- Watkins, W.A., Daher, M.A., Dimarzio, N.A., Samuels, A., Wartzok, D., Fristrup, K.M., Howey, P.W. and Maiefski, R.R. (2002). Sperm whale dives tracked by radio tag telemetry. *Marine Mammal Science*, 18(1): 55-68.
- Watwood, S.L., Miller, P.J.O., Johnson, M., Madsen, P.T. and Tyack, P.L. (2006). Deep-diving foraging behaviour of sperm whales (*Physeter macrocephalus*). *Journal of Animal Ecology*, 75(3): 814-825.

Annexe 1 : Fiche d'observation



Souffleurs d'écume

Nom du navire :

Observateur(s) :

Observation						Navire						Météo			Cétacés						Autres					
N° observation	Date			Heure			Latitude			Longitude			Cap	Vitesse	Température mer	Visibilité	Etat de la mer	Gisement relatif	Gisement estimé	Distance (réticules)	Distance estimée	Espèce	Nb d'individus	Commentaires		
	J	M	A	H	Min	°	'	"	°	'	"	°	nds	°	°			m								

Etat de la mer : 1 : Miroir ; 2 : petites rides ; 3 : vaguelettes ; 4 : moutons ; 5 : vagues modérées, nombreux moutons ; 6 : Lames, quelques embruns ; 7 : écume soufflée ; 8 : tourbillons d'embruns, nettes traînées d'écume.

Visibilité : 0 : moins de 50 m ; 1 : 50 m ; 2 : 200 m ; 3 : 500 m ; 4 : 1 km ; 5 : 2 km ; 6 : 4 km ; 7 : 10 km ; 8 : > 10 km.

Annexe 2 : Conversion des réticules en distance radiale

La distance radiale (distance directe entre l'observateur et l'objet) est calculée à partir du nombre de réticules séparant l'horizon de l'observation. la distance à l'horizon H et le facteur de conversion des réticules C (Kinzey *et al.*, 2000) doivent être évalués pour convertir des réticules en distance radiale.

Calcul de la distance à l'horizon H : $H = (2 rh + h^2)^{1/2}$

Avec : r : rayon de la Terre en kilomètres (km), r = 6371 Km
h : hauteur au-dessus de l'eau à laquelle se trouvent les binoculaires.

Calcul du facteur de conversion C correspondant au nombre de radians par réticule :

Pour cela, une cible dont on connaît la hauteur doit être placée à une distance déterminée et observée avec des jumelles réticulées. En comptant le nombre de réticules occupées par la cible, on calcule le facteur de conversion C par la formule :

$$C = L / n_r \cdot D$$

Avec : L : longueur de la cible (m),
n_r : nombre de réticules occupés par cible,
D : distance entre la cible et les jumelles (m).

Le facteur de conversion calculé pour les jumelles utilisées lors des observations est de 0,0102 radians par réticule.

On obtient alors la formule permettant de calculer la distance radiale D_r :

$$D_r = (r + h) \sin(\alpha + \lambda C) - (r^2 - [(r + h) \cos(\alpha + \lambda C)]^2)^{1/2}$$

Avec : α : arctan (H/r)
λ : nombre de réticules entre l'observation et l'horizon

Référence :

Kinzey, D., Olson, P. and Gerrodette, T. (2000). Marine mammal data collection procedures on research ship line-transect surveys by the Southwest Fisheries Science Center. Southwest Fisheries Science Center, LJ-00-08. 35p