

**VETAGRO SUP  
CAMPUS VETERINAIRE DE LYON**

Année 2013 - Thèse n°028

***LES BALEINES A BOSSE DE L'OCEAN INDIEN  
OCCIDENTAL : SUIVI PAR TELEMETRIE SATELLITAIRE***

**THESE**

Présentée à l'UNIVERSITE CLAUDE-BERNARD - LYON I  
(Médecine - Pharmacie)  
et soutenue publiquement le 18 juillet 2013  
pour obtenir le grade de Docteur Vétérinaire

par

*Caroline KOHL*  
Née le 09 juin 1988  
à Paris 15ème



VetAgro Sup





Civilité	Nom	Prénom	Unités pédagogiques	Grade
M.	ALOGNINOUBA	Théodore	Unité pédagogique Pathologie du bétail	Professeur
M.	ALVESDEOLIVEIRA	Laurent	Unité pédagogique Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	ARCANGIOLI	Marie-Anne	Unité pédagogique Pathologie du bétail	Maître de conférences
M.	ARTOIS	Marc	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	BARTHELEMY	Anthony	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contr actuel
Mme	BECKER	Claire	Unité pédagogique Pathologie du bétail	Maître de conférences
M.	BELLI	Patrick	Unité pédagogique Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences Contr actuel
Mme	BELLUCO	Sara	Unité pédagogique Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	BENAMOUMITH	Agnès	Unité pédagogique Equine	Maître de conférences
M.	BENOIT	Etienne	Unité pédagogique Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	BERNY	Philippe	Unité pédagogique Biologie fonctionnelle	Professeur
Mme	BONNETGARIN	Jeanne-Marie	Unité pédagogique Biologie fonctionnelle	Professeur
Mme	BOULOCHER	Caroline	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	BOURDOISEAU	Gilles	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	BOURGOIN	Gilles	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	BRUYERE	Pierre	Unité pédagogique Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Maître de conférences Contr actuel
M.	BUFF	Samuel	Unité pédagogique Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Maître de conférences
M.	BURONFOSSE	Thierry	Unité pédagogique Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
M.	CACHON	Thibaut	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contr actuel
M.	CADORE	Jean-Luc	Unité pédagogique Pathologie médicale des animaux de compagnie	Professeur
Mme	CALLAITCARDINAL	Marie-Pierre	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	CAROZZO	Claude	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	CHABANNE	Luc	Unité pédagogique Pathologie médicale des animaux de compagnie	Professeur
Mme	CHALVETMONFRAY	Karine	Unité pédagogique Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
M.	COMMUN	Loïc	Unité pédagogique Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	DE BOYER DES ROCHES	Alice	Unité pédagogique Gestion des élevages	Maître de conférences Stagiaire
Mme	DELIGNETTEMULLER	Marie-Laure	Unité pédagogique Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	DEMONT	Pierre	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	DESJARDINS PESSON	Isabelle	Unité pédagogique Equine	Maître de conférences Contr actuel
Mme	DJELOUADJI	Zorée	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	ESCRIOU	Catherine	Unité pédagogique Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
M.	FAU	Didier	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	FOURNEL	Corinne	Unité pédagogique Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Professeur
M.	FRANCK	Michel	Unité pédagogique Gestion des élevages	Professeur
M.	FREYBURGER	Ludovic	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	FRIKHA	Mohamed-Ridha	Unité pédagogique Pathologie du bétail	Maître de conférences
M.	GENEVOIS	Jean-Pierre	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	GILOTFROMONT	Emmanuelle	Unité pédagogique Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	GONTHIER	Alain	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	GRAIN	Françoise	Unité pédagogique Gestion des élevages	Professeur
M.	GRANCHER	Denis	Unité pédagogique Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	GREZEL	Delphine	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
M.	GUERIN	Pierre	Unité pédagogique Biotechnologies et pathologie de la reproduction	Professeur
Mme	GUERINFAUBLEE	Véronique	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	HUGONNARD	Marine	Unité pédagogique Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
M.	JUNOT	Stéphane	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
M.	KECK	Gérard	Unité pédagogique Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	KODJO	Angeli	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LAABERKI	Maria-Halima	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences Stagiaire

M.	LACHERETZ	Antoine	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LAMBERT	Véronique	Unité pédagogique Gestion des élevages	Maître de conférences
Mme	LE GRAND	Dominique	Unité pédagogique Pathologie du bétail	Maître de conférences
Mme	LEBLOND	Agnès	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
Mme	LEFRANCOHL	Anne-Cécile	Unité pédagogique Equine	Maître de conférences
M.	LEPAGE	Olivier	Unité pédagogique Equine	Professeur
Mme	LOUZIER	Vanessa	Unité pédagogique Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
M.	MARCHAL	Thierry	Unité pédagogique Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Professeur
Mme	MIALET	Sylvie	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Inspecteur en santé publique vétérinaire (ISPV)
Mme	MICHAUD	Audrey	Unité pédagogique Gestion des élevages	Maître de conférences Stagiaire
M.	MOUNIER	Luc	Unité pédagogique Gestion des élevages	Maître de conférences
M.	PEPIN	Michel	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Professeur
M.	PIN	Didier	Unité pédagogique Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	PONCE	Frédérique	Unité pédagogique Pathologie médicale des animaux de compagnie	Maître de conférences
Mme	PORTIER	Karine	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
Mme	POUZOTNEVORET	Céline	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Stagiaire
Mme	PROUILLAC	Caroline	Unité pédagogique Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
Mme	REMY	Denise	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
M.	ROGER	Thierry	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
M.	SABATIER	Philippe	Unité pédagogique Biologie fonctionnelle	Professeur
M.	SAWAYA	Serge	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences
Mme	SEGARD	Emilie	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contraint
Mme	SERGENTET	Delphine	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Maître de conférences
Mme	SONET	Juliette	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Maître de conférences Contraint
M.	THIEBAULT	Jean-Jacques	Unité pédagogique Biologie fonctionnelle	Maître de conférences
M.	VIGUIER	Eric	Unité pédagogique Anatomie Chirurgie (ACSAI)	Professeur
Mme	VIRIEUXWATRELOT	Dorothee	Unité pédagogique Pathologie morphologique et clinique des animaux de compagnie	Maître de conférences Contraint
M.	ZENNER	Lionel	Unité pédagogique Santé Publique et Vétérinaire	Professeur

*A Monsieur le Professeur François DISANT,*  
De la faculté de Médecine de Lyon,  
Qui nous a fait l'honneur d'accepter la présidence de notre jury de thèse.  
Hommages respectueux.

*A Madame la Maitre de conférence Véronique LAMBERT,*  
De VetAgro Sup campus vétérinaire de Lyon,  
Pour ses précieux conseils et sa disponibilité,  
Nous lui adressons nos remerciements les plus profonds.

*A Monsieur le Professeur Philippe BERNY,*  
De VetAgro Sup campus vétérinaire de Lyon,  
Qui a accepté avec sympathie de faire partie de notre jury de thèse,  
Qu'il en soit sincèrement remercié.



# Table des matières

---

Table des figures .....	- 11 -
Table des tableaux .....	- 13 -
Introduction.....	- 15 -
<b>PARTIE 1 - DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES CONCERNANT LES BALEINES A BOSSE DE L'OCEAN INDIEN OCCIDENTAL .....</b>	<b>- 17 -</b>
<b>I. GENERALITES A PROPOS DES BALEINES A BOSSE .....</b>	<b>- 17 -</b>
A. Statut actuel .....	- 17 -
B. Classification et morphologie.....	- 17 -
C. Migration.....	- 20 -
D. Orientation .....	- 21 -
E. Alimentation.....	- 22 -
F. Reproduction.....	- 23 -
<b>II. LA POPULATION DE BALEINES A BOSSE DE L'OCEAN INDIEN OCCIDENTAL .....</b>	<b>- 26 -</b>
A. Structure générale des populations de baleines à bosse .....	- 26 -
1. <i>A l'échelle mondiale</i> .....	- 26 -
2. <i>A l'échelle de l'océan Indien occidental</i> .....	- 28 -
B. Description des sites de l'océan Indien occidental .....	- 29 -
1. <i>Topographie et fréquentation du stock C1</i> .....	- 29 -
2. <i>Topographie et fréquentation du stock C2</i> .....	- 31 -
3. <i>Topographie et fréquentation du stock C3</i> .....	- 33 -
4. <i>Topographie et fréquentation du stock C4</i> .....	- 34 -
C. Abondance et tendance de la population de l'océan Indien occidental .....	- 35 -
1. <i>Abondance</i> .....	- 35 -
2. <i>Tendance</i> .....	- 36 -
D. Relations et échanges entre les sous-populations de l'océan Indien occidental .....	- 36 -
E. Couloirs de migration des baleines à bosse de l'océan Indien occidental.....	- 38 -
F. Relation avec la population du nord de l'océan Indien .....	- 40 -
<b>III. DANGERS ET MENACES DANS L'OCEAN INDIEN OCCIDENTAL.....</b>	<b>- 42 -</b>
<b>IV. METHODES D'ETUDE DES BALEINES A BOSSE.....</b>	<b>- 43 -</b>
A. La photo-identification.....	- 43 -

1.	<i>Principe de la méthode</i>	- 43 -
2.	<i>Identification par l'aile dorsal</i>	- 44 -
3.	<i>Identification par la nageoire caudale</i>	- 44 -
4.	<i>Fiabilité de la méthode</i>	- 46 -
B.	L'analyse génétique	- 46 -
1.	<i>Prélèvement des échantillons</i>	- 46 -
2.	<i>Analyse des échantillons</i>	- 47 -
C.	Le suivi par télémétrie satellitaire	- 48 -
1.	<i>Le système Argos</i>	- 48 -
2.	<i>Travaux déjà réalisés</i>	- 50 -
<b>PARTIE 2 - CONTRIBUTION A L'ETUDE DES BALEINES A BOSSE DE L'OCEAN INDIEN OCCIDENTAL : DEPLOIEMENT DE BALISES A GEOLOCALISATION SATELLITAIRE</b>		
I.	PRESENTATION DU PROJET	- 54 -
A.	L'association Megaptera	- 54 -
B.	Objectifs du projet	- 55 -
II.	MATERIEL ET METHODES	- 56 -
A.	Aires d'étude et approche des baleines	- 56 -
B.	Implantation des balises	- 57 -
A.	Prélèvement des biopsies	- 60 -
B.	Traitement et analyses des données récoltées grâce aux balises	- 60 -
III.	RESULTATS	- 61 -
A.	Analyse génétique des biopsies et sexage des individus	- 61 -
B.	Déploiements	- 62 -
C.	Parcours des baleines marquées	- 65 -
1.	<i>Odin</i>	- 65 -
1.	<i>Nduju</i>	- 66 -
2.	<i>Mongomé</i>	- 67 -
3.	<i>Inaïa et Exagone</i>	- 68 -
4.	<i>Leïa</i>	- 70 -
5.	<i>Teria</i>	- 72 -
6.	<i>Sea Blue</i>	- 73 -
IV.	DISCUSSION	- 76 -
A.	Réactions observées lors du déploiement	- 76 -
1.	<i>Approche des baleines</i>	- 76 -
2.	<i>Lors de l'implantation de la balise</i>	- 76 -

B. Durées d'émission des balises.....	- 77 -
1. <i>Décrochage de la balise</i> .....	- 78 -
2. <i>Autres causes possible concernant l'interruption d'émission</i> .....	- 80 -
C. Migration tardive observée pour certains individus.....	- 80 -
D. Haltes durant la migration et échanges entre les régions C2 et C3.....	- 81 -
E. Un couloir de migration le long de la côte Ouest de Madagascar.....	- 83 -
F. Vitesses de migration .....	- 85 -
Conclusion.....	- 83 -
Annexes.....	- 89 -
Bibliographie .....	- 99 -

## Liste des annexes :

<u>Annexe 1</u> : Feuille de déploiement de Odin.....	- 85 -
<u>Annexe 2</u> : Feuille de déploiement de Nduju.....	- 86 -
<u>Annexe 3</u> : Feuille de déploiement de la baleine équipée de la balise n°37236.....	- 87 -
<u>Annexe 4</u> : Feuille de déploiement de Mongomé.....	- 88 -
<u>Annexe 5</u> : Feuille de déploiement d'Inaïa et Exagone.....	- 89 -
<u>Annexe 6</u> : Feuille de déploiement de Leïa.....	- 90 -
<u>Annexe 7</u> : Feuille de déploiement de Caribou.....	- 91 -
<u>Annexe 8</u> : Feuille de déploiement de Teria et Sea Blue.....	- 92 -
<u>Annexe 9</u> : Exemple de photographie post-déploiement : balise n°27261 implantée sur Inaïa (Caroline KOHL).....	- 93 -



# Table des figures

---

<i>Figure 1: Quelques éléments morphologiques de la baleine à bosse</i> .....	- 18 -
<i>Figure 2 : Différences de coloration entre les baleines de l'hémisphère sud et du Pacifique nord</i> .....	- 20 -
<i>Figure 3 : Euphausia superba (Fisheries and Aquaculture Department)</i> .....	- 23 -
<i>Figure 4 : Baleine à bosse frappant l'eau de la nageoire caudale pendant la saison de reproduction (Caroline KOHL)</i> .....	- 24 -
<i>Figure 5 : Les stocks de baleines à bosse de l'hémisphère sud : zones de reproduction (A : sud-ouest de l'Atlantique, B : sud-est de l'Atlantique, C : sud-ouest de l'Océan Indien, D : sud-est de l'Océan Indien, E-F : sud-ouest du Pacifique, G : sud-est du Pacifique, X : nord de l'Océan Indien) et zones d'alimentation (hachurées en bleu) de l'Antarctique (figure établie à partir de Findlay et al., 2009)</i> .....	- 2 -
<i>Figure 6 : Zones de reproduction des baleines à bosse : les sous-populations (représentées en gris) du stock C définies par la Commission Baleinière Internationale (figure modifiée à partir de Rosenbaum et al., 2009)</i> .....	- 29 -
<i>Figure 7 : Les eaux côtières du Mozambique et les concentrations importantes en baleines à bosse (point bleus)</i> .....	- 31 -
<i>Figure 8 : Localisation de l'archipel des Comores (à gauche) et l'île de Mayotte(à droite) : la barrière de corail est représentée en gris foncé, et les récifs frangeants ainsi que la double barrière du sud-ouest sont représentés en gris clair (modifiée à partir de Kiszka et al. 2007)</i> ....	- 33 -
<i>Figure 9 : L'île de Madagascar (les pointillés représentent l'isobathe 500 m)</i> .....	- 34 -
<i>Figure 10 : L'île de la Réunion (les plages grises représentent les récifs coralliens et la ligne pointillée représente l'isobathe 100 mètres)</i> .....	- 35 -
<i>Figure 11 : Routes de migration (flèches blanches) des baleines à bosse dans l'océan Indien occidental, proposées par Best et al. (1998) ; les zones d'hivernage sont représentées en gris clair (IWC 2000)</i> .....	- 40 -
<i>Figure 12 : Les trois types d'ailerons dorsaux de baleine à bosse : aileron triangulaire (A), en faucille (B) et arrondi (C) (Megaptera)</i> .....	- 44 -
<i>Figure 13 : Photo-identification de deux baleines à bosse par leur nageoire caudale</i> .....	- 46 -

<i>Figure 14 : Prélèvement d'une biopsie à l'aide d'une arbalète (Caroline KOHL) .....</i>	<i>- 47 -</i>
<i>Figure 15 : Principe de la localisation Argos grâce à la mesure de l'effet Doppler-Fizeau (www.argos-system.org).....</i>	<i>- 50 -</i>
<i>Figure 16 : Balise SPOT 5 .....</i>	<i>- 58 -</i>
<i>Figure 17 : Déploiement d'une balise satellitaire sur une baleine à bosse à Mohéli à l'aide d'un fusil à air comprimé « ARTS » (Caroline KOHL) .....</i>	<i>- 59 -</i>
<i>Figure 18 : Positionnement de la balise dans le guide et lubrification de celui-ci pour un déploiement optimal (Caroline KOHL).....</i>	<i>- 60 -</i>
<i>Figure 19 : Implantation d'une balise satellite sur une baleine à bosse .....</i>	<i>- 60 -</i>
<i>Figure 20 : Parcours d'Odin (la partie en pointillés correspond au parcours supposé lors des 6 premiers jours sans émission, l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée).....</i>	<i>- 66 -</i>
<i>Figure 21 : Parcours de Nduju (l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée).....</i>	<i>- 66 -</i>
<i>Figure 22 : Parcours de Mongomé (l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée ; les pointillés indiquent la route supposée de Mongomé durant les 3 jours sans émission) .....</i>	<i>- 68 -</i>
<i>Figure 23 : Parcours d'Inaïa (l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée).....</i>	<i>- 69 -</i>
<i>Figure 24 : Parcours d'Exagone (l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée) .....</i>	<i>- 69 -</i>
<i>Figure 25 : Parcours de Leïa (l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée).....</i>	<i>- 71 -</i>
<i>Figure 26 : Parcours de Teria (l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée ; les pointillés indiquent la route supposée de Teria durant les 3 jours sans émission) .....</i>	<i>- 73 -</i>
<i>Figure 27 : Parcours de Sea Blue (l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée) .....</i>	<i>- 74 -</i>
<i>Figure 28 : Ajout d'une couche d'antibiotique à longue dispersion autour du corps de la balise (Mate et al., 2007) .....</i>	<i>- 80 -</i>

*Figure 29 : Parcours de Teria (jaune), Sea Blue (rose), et Odin (bleu) (les aires d'alimentation sont quadrillées en noir)..... - 85 -*

## Table des tableaux

---

*Tableau I : Estimations de la population de baleines à bosse dans différentes régions du globe (site internet de la CBI : [www.iwcoffice.org](http://www.iwcoffice.org))..... - 35 -*

*Tableau II : Balises déployées sur des baleines à bosse autour de l'île de Mayotte et de Mohéli (archipel des Comores) en octobre 2011 et octobre 2012 ..... - 63 -*



# Introduction

---

Les baleines à bosse (nom scientifique : *Megaptera novaeangliae*, appelée aussi *Megaptera nodosa* dans l'ancienne dénomination) sont présentes dans tous les océans du globe, et font partie des cétacés les plus étudiés du monde. Mais aujourd'hui la majorité des informations recueillies concernent les populations de l'hémisphère nord, celles de l'hémisphère sud étant encore peu connues. Le sanctuaire baleinier de l'océan Indien, créé par la Commission Baleinière Internationale en 1979, est une des sept zones majeures de l'hémisphère sud que les baleines à bosse fréquentent durant l'hiver austral. Peu de projets de recherche ont été conduits sur les cétacés de ce sanctuaire, malgré de nombreuses initiatives comme la création, en 1994, du sanctuaire austral pour renforcer la protection des grands cétacés migrant dans l'océan Indien et les eaux australes. Le « Southern Ocean Research Partnership » (SORP) a également été créé en 2009, avec pour objectif de renforcer les mesures de conservation des grands cétacés en Antarctique. Les habitats et déplacements des baleines à bosse du sanctuaire de l'océan Indien sont donc actuellement mal connus et mal compris, surtout dans la zone de l'océan Indien occidental. Une grande partie des informations actuelles ont été recueillies durant la période de la chasse baleinière grâce au programme de marquage « Discovery » ; à cela s'ajoutent les données issues des quelques travaux de photo-identification et d'analyse ADN. C'est la raison pour laquelle l'association *Megaptera* a initié en 2010 le projet de suivi par satellite des baleines à bosse de l'océan Indien. Son objectif principal est d'étudier les mouvements de ces cétacés entre leurs sites de reproduction dans l'océan Indien occidental, puis lors de leur migration annuelle depuis ces aires de reproduction vers leurs aires d'alimentation en Antarctique. Cette étude est une première dans le sanctuaire de l'océan Indien ; il s'agit en effet d'un suivi dynamique de l'espèce, fournissant beaucoup plus d'informations que ne l'ont fait les études réalisées jusqu'alors.

Nous aborderons dans une première partie les données bibliographiques concernant les baleines à bosse ; nous y détaillerons entre autres les différentes populations de l'océan Indien pour une meilleure compréhension du projet, mais aussi les diverses méthodes

d'étude utilisées pour le suivi de ces cétacés. Puis, dans une seconde partie, nous présenterons le travail de suivi par télémétrie satellitaire de 11 baleines à bosse réalisé dans l'océan Indien occidental en 2011 et 2012. Enfin nous discuterons des différents résultats obtenus, et tenterons de proposer des améliorations possibles pour les études futures.

# PARTIE 1 - DONNEES BIBLIOGRAPHIQUES CONCERNANT LES BALEINES A BOSSE DE L'OCEAN INDIEN OCCIDENTAL

---

## I. GENERALITES A PROPOS DES BALEINES A BOSSE

### A. Statut actuel

La baleine à bosse (*Megaptera novaeanglae*) est un **mammifère marin** présent dans le monde entier.

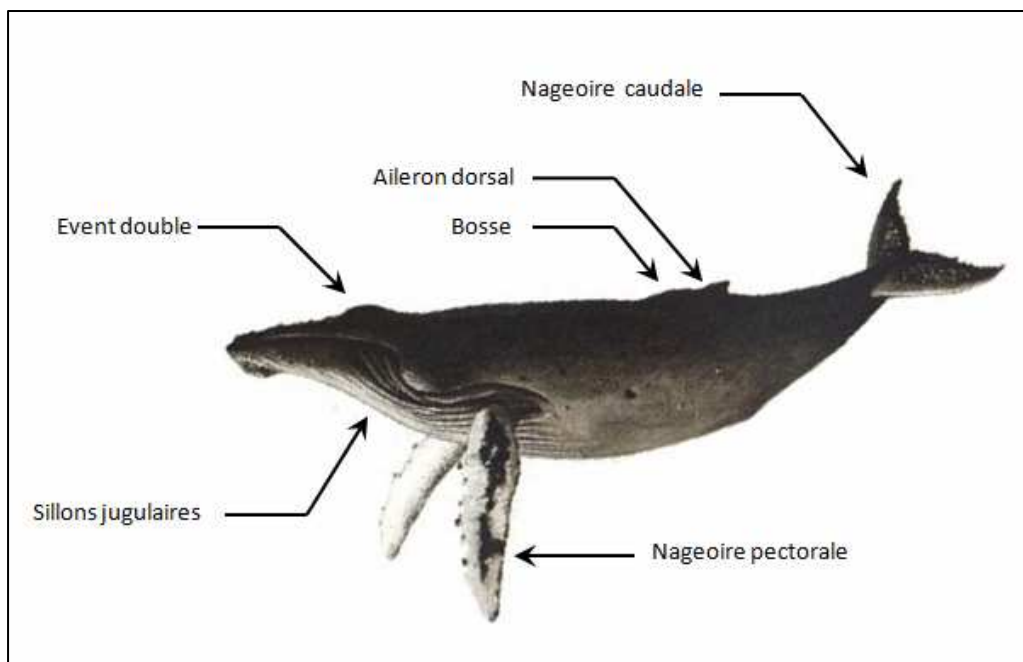
L'espèce a longtemps été chassée (essentiellement entre 1750 et 1950) ce qui a considérablement réduit le stock mondial. Au moins 150 000 baleines à bosse ont été capturées durant le XXème siècle, la population a ainsi diminuée de plus de 90% (Clapham, 1996). Mais grâce à de nombreuses initiatives, les effectifs de baleines à bosse se sont bien reconstitués : en 1966, les membres de la Commission Baleinière Internationale ont décidé d'un moratoire interdisant la chasse commerciale de la baleine à bosse, qui est toujours en vigueur aujourd'hui. Cette interruption de la chasse a sauvé l'espèce de l'extinction.

La baleine à bosse fait également partie des **espèces protégées** : en 1970, elle est classée comme « espèce en danger » par *The Endangered Species Conservation Act* ; puis en 1973, l'espèce a été automatiquement incluse dans la liste des *Endangered and Threatened Wildlife and Plants* (Fleming A, Jackson JA, 2011). Mais grâce à la nette augmentation des stocks, l'espèce est passée du statut « vulnérable » au statut « préoccupation mineure » dans la liste rouge de l'UICN (Union Internationale pour la Conservation de la Nature).

### B. Classification et morphologie

La baleine à bosse appartient à l'ordre des **Cétacés**. Elle possède des fanons, ce qui la différencie des dauphins qui sont dotés de dents, d'où son appartenance au sous-ordre des

**Mysticètes.** Pour respirer à la surface, elle utilise un évent qui, contrairement à celui des dauphins, est double. Elle fait partie de la famille des **Balenopteridés** (NOAA, 1984) et possède donc, comme tous les animaux de cette famille, un aileron dorsal. La face ventrale de son corps est munie de sillons jugulaires qui permettent à la sa gorge de se distendre ; elle peut ainsi se nourrir en gobant une très grande quantité d'eau contenant du krill et des petits poissons. Son nom de baleine « à bosse » lui vient de la bosse située devant son aileron dorsal (*Figure 1*), et non des nombreuses protubérances dont est pourvu son rostre ; celles-ci sont chacune munie d'un unique poil nommé « vibrisse », comparable aux moustaches d'un chat. Il semblerait que ces poils puissent lui fournir de nombreuses informations concernant son environnement (température de l'eau, densité en plancton...). Les autres noms qui la désignent sont « jubarte », ou encore « mégaptère » qui signifie en grec « grandes ailes » du fait de ses nageoires pectorales très longues qui peuvent atteindre 4 mètres.



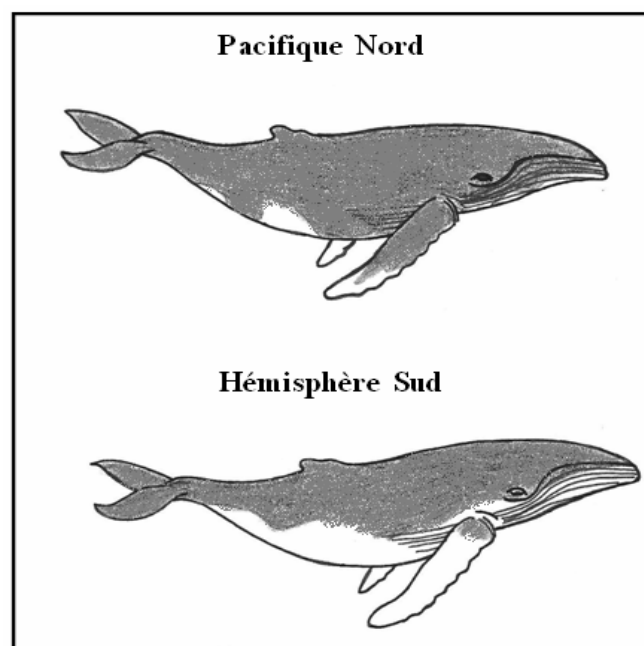
*Figure 1: Quelques éléments morphologiques de la baleine à bosse*

Une baleine à bosse adulte mesure en moyenne entre 13 et 15 mètres de long (Chittleborough, 1965 ; Mikhalev, 1997), avec une petite différence entre les sexes puisque les femelles sont en général 1 mètre voire 1,5 mètre plus longues que les mâles. Les tailles

maximales rapportées de manière fiable sont 17,4 mètre pour un mâle et 16,2 mètres pour une femelle (Chittleborough, 1965).

Le poids d'un adulte peut aller de 25 à 40 tonnes (site internet American Cetacean Society), mais il varie beaucoup en fonction des saisons. En effet, les baleines à bosse se nourrissent peu voire pas du tout durant la saison de reproduction et vivent sur leurs réserves graisseuses, ce qui a pour conséquence la perte de près d'un tiers du poids corporel chez les femelles allaitantes.

Concernant la coloration, les baleines à bosse de l'hémisphère sud semble différer de celles de l'hémisphère nord sur différents points ; notamment sur le patron général du corps. Alors que le dos de l'animal est foncé chez tous les individus, sa face ventrale varie du blanc au noir avec de grandes différences entre les populations des deux hémisphères : chez certaines baleines à bosse de l'hémisphère sud, la coloration blanche domine fortement, et s'étend parfois jusqu'aux flancs. Les nageoires pectorales peuvent même être complètement blanches chez certains individus (*Figure 2*). Les baleines diffèrent également par la coloration et les motifs de la face ventrale de la nageoire caudale. En effet, les baleines à bosse de l'hémisphère sud semblent présenter des nageoires caudales significativement plus claires que celles du nord de l'océan Pacifique (Rosenbaum *et al.*, 1995).



*Figure 2 : Différences de coloration entre les baleines de l'hémisphère sud et du Pacifique nord*

Il est possible d'estimer l'âge des baleines à bosse en comptant les stratifications (les couches sombres et claires) accumulées dans les conduits auditifs. Ces comptages sont calibrés par comparaison avec la croissance annuelle des fanons, ou encore avec les corps jaunes et corps blancs présents sur les ovaires des femelles. Mais les désaccords concernant les estimations sont nombreux. A l'heure actuelle, la plupart des scientifiques s'accordent pour dire que deux stratifications s'ajoutent chaque année dans les conduits auditifs, ce qui suggère une longévité moyenne d'environ 50 ans, avec un record de longévité de l'espèce supérieur à 90 ans (Chittleborough, 1959 ; Best, 2006).

## C. Migration

L'espèce est une des plus grandes migratrices du globe. Les populations de baleines à bosse des deux hémisphères effectuent une **migration annuelle** : elles **se nourrissent durant l'été** dans les **eaux polaires**, riches en krill et petits poissons, et **se reproduisent en hiver** dans les eaux plus chaudes et peu profondes des **basses latitudes**. Certaines parcourent plus de 8000 kilomètres entre les zones d'alimentation et les zones de reproduction (Stone *et al.* 1990).

La migration a lieu avec un léger décalage selon les catégories de reproduction : les femelles allaitantes rejoignent les zones de reproduction les premières, suivies des mâles immatures sexuellement, puis des mâles matures qui précèdent les femelles « restantes ». Les femelles gestantes sont les dernières à migrer (Dawbin, 1966 ; Chittleborough 1965). Inversement, les femelles gestantes repartent vers les eaux froides les premières alors que les femelles allaitantes sont les dernières.

Quelques baleines à bosse ont été observées dans des zones d'alimentation durant l'hiver ; il semblerait donc que certains rares individus (essentiellement des femelles ni gestantes ni allaitantes) ne migrent pas (Mackintosh, 1965).

Plusieurs études génétiques (voir Partie 1, IV.B. pages 45 à 47) ont montré que les baleines à bosse étaient très fidèles à leur site d'alimentation et à leur site de reproduction (Baker *et al.*, 1993). Ce phénomène a, sur le long terme, généré la formation de populations très

structurées et différenciées les unes des autres puisque le brassage génétique se fait principalement entre les individus d'une même population.

En outre, les migrations inter-océaniques semblent être très rares chez les baleines à bosse. Cependant, une migration entre l'océan Atlantique et l'océan Indien a été décrite (Pomilla, Rosenbaum 2005): grâce à l'analyse génétique de biopsies prélevées sur un grand nombre de baleines à bosse, un mâle vu dans la baie d'Antongil (Madagascar) en 2000 a été revu deux ans plus tard dans les eaux du Gabon. De plus, l'analyse des clichés de l'aileron dorsal confirme qu'il s'agissait bien du même individu. Une autre description de ce type avait été notée en Australie (Chittleborough, 1965). Notons que ces échanges inter-océaniques semblent se produire essentiellement en l'absence de barrière géographique.

Il est également possible que des mouvements migratoires ou des accouplements « inter-hémisphériques » aient lieu, par exemple entre des populations le long des côtes pacifiques, bien qu'actuellement aucune preuve génétique ou télémétrique n'existe (Baker, 2002).

## D. Orientation

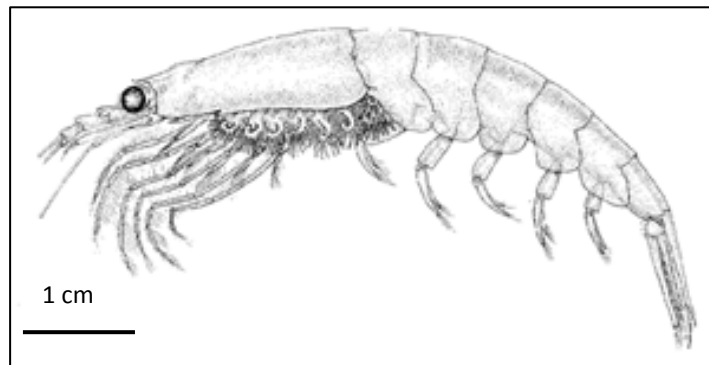
Les baleines à bosse naviguent avec une étonnante précision ; elles sont capables de se déplacer de façon rectiligne sur de grandes distances. Les mécanismes précis leur permettant de s'orienter dans les océans sont encore très mal compris, mais plusieurs hypothèses sont proposées par les biologistes marins. Tout d'abord, il semblerait que ces animaux soient capables de **ressentir les variations de température**, et donc d'identifier les différentes zones traversées lors de leurs longs voyages. De plus, il est probable que la **position du soleil** participe à l'orientation des baleines à bosse. Durant une étude menée entre 2003 et 2010 (Horton *et al.*, 2011), 16 baleines à bosse ont été suivies par télémétrie satellitaire dans les océans Atlantiques et Pacifique, toutes les trajectoires présentaient des segments en parfaite ligne droite sur plusieurs centaines de kilomètres, avec pour la plupart des variations de 1° maximum, sans être perturbées par les forts courants océaniques ou les vents violents. Ceci suppose une compensation de la part des baleines pour maintenir une trajectoire constante. Mais d'après cette étude, la position du soleil au lever, durant sa course et au coucher différencierait de plusieurs degrés entre les différentes trajectoires

obtenues, et même au sein des trajectoires prises individuellement (Horton *et al.*, 2011). Ainsi il semble clair que cette théorie ne suffit pas à expliquer à elle seule une telle précision dans les déplacements des baleines à bosse. Le **magnétisme terrestre** joue très certainement un rôle important, comme c'est notamment le cas chez les oiseaux. En effet, les oiseaux sont dotés de parcelles de magnétite au niveau de la tête, ce qui fait en quelque sorte office de boussole. Plusieurs expériences ont été menées avec des pigeons voyageurs et des rouges-gorges : lorsque l'on fixe un aimant sur le dos de ces oiseaux, ou que l'on perturbe le magnétisme autour d'eux, ils sont complètement désorientés. On sait que des particules de magnétite sont présentes dans la boîte crânienne des baleines à bosse, il est donc fort probable qu'elles puissent elles aussi utiliser cet outil d'orientation. Cependant, d'après l'étude citée précédemment (Horton *et al.*, 2011), le magnétisme varie également de façon significative tout au long des routes enregistrées, et pourtant les baleines parviennent à garder une trajectoire constante. Ceci suggérerait que le magnétisme puisse ne pas être la seule source d'informations utilisées par les baleines à bosse pour se diriger, mais il est possible qu'il y participe et que les baleines utilisent des informations spatiales dérivées du champ magnétique durant leur migration.

## E. Alimentation

Le régime alimentaire des baleines à bosse se compose essentiellement de **krill** (petits crustacés : *Euphasia superba* (Figure 3)), mais aussi d'autres **crustacés** comme les copépodes, ou encore de petits poisson. Elles se nourrissent dans les **eaux froides des hautes latitudes**, riches en krill (Matthews, 1937). La prise de nourriture se fait surtout à la surface ou juste en dessous. C'est une espèce « gobeuse » : les individus avancent vers les bancs de krill la gueule grande ouverte et les sillons jugulaires se déploient pour permettre l'absorption d'un maximum d'eau. Ensuite l'eau ressort en étant filtrée par les fanons, qui gardent toute la nourriture. L'une des techniques de chasse les plus abouties est le « filet à bulles » : les baleines nagent en rond autour d'un banc de krill ou de poissons tout en soufflant de l'air, ce qui crée un filet qui concentre le plancton (NOAA, 1984). Elles peuvent ainsi avaler près d'une tonne de nourriture par jour.

En revanche, les baleines à bosse **ne semblent pas se nourrir durant la période de reproduction** (Chittleborough, 1965).



*Figure 3 : Euphausia superba (Fisheries and Aquaculture Department)*

## F. Reproduction

La plupart des informations concernant la reproduction des baleines à bosse ont été recueillies grâce à l'observation des carcasses durant les 65 premières années du 20ème siècle (période de la chasse baleinières). Selon des estimations faites sur la côte est de l'Australie, la maturité sexuelle est atteinte entre 9 et 11 ans dans l'hémisphère sud. En revanche, elle serait plus précoce dans l'hémisphère nord : entre 5 et 11 ans, avec une grande hétérogénéité en fonction des différentes populations de baleines à bosse (Clapham, 1992). Les femelles deviennent matures sexuellement lorsqu'elles atteignent une taille d'environ 12 à 12,5 mètres, et les mâles autour de 11,5 à 12 mètres (Matthews, 1937 ; site internet American Cetacean Society).

Comme chez la plupart des cétacés, **la reproduction des baleines à bosse est saisonnière**. En effet, chez la femelle, l'ovulation se fait durant l'hiver. De même il semblerait qu'il y ait chez le mâle une variation saisonnière de la production de sperme (Chittleborough, 1955 ; Chittleborough, 1965). Durant la saison de reproduction, les baleines à bosse adoptent des comportements particuliers : les mâles chantent, forment des groupes compétitifs pour se mesurer les uns aux autres afin d'obtenir les faveurs de la femelle (on peut alors observer

des sauts, des frappes de nageoires pectorales et caudales (*Figure 4*), des grognements...), et escortent parfois les femelles allaitantes pour tenter de s'y accoupler.

La **durée de gestation** est d'environ **11 mois et demi**, et le temps de lactation varie entre 10 et 11 mois (Chittleborough, 1965). Le sevrage commence autour du sixième mois, le baleineau prenant son indépendance à la fin de sa première année. Dans l'hémisphère nord, la mère met au monde un baleineau tous les 2-3 ans en moyenne. Dans l'hémisphère sud, des intervalles naissance-naissance de seulement un an ont été enregistrés à plusieurs reprises.



*Figure 4 : Baleine à bosse frappant l'eau de la nageoire caudale pendant la saison de reproduction (Caroline KOHL)*

A retenir :

- ✓ **Les baleines à bosse migrent chaque année des eaux polaires où elles se nourrissent en été, vers les basses latitudes pour se reproduire en hiver. Leur fidélité à leur site de reproduction ainsi qu'à leur site d'alimentation a conduit, au fil du temps, à l'établissement de populations différentes sur l'ensemble du globe.**
- ✓ **L'orientation des baleines durant leur migration reste encore un mystère ; la position du soleil ainsi que le magnétisme semblent jouer un rôle important.**
- ✓ **La reproduction des baleines à bosse est saisonnière et coordonnée avec leur migration annuelle : la durée de gestation de 11 mois et demi permet ainsi aux**

**femelles d'être fécondées dans les eaux chaudes et protégées des tropiques et d'y mettre bas l'année suivante à la même période.**

## II. LA POPULATION DE BALEINES A BOSSE DE L'OCEAN INDIEN OCCIDENTAL

### A. Structure générale des populations de baleines à bosse

#### 1. A l'échelle mondiale

Les baleines à bosse du globe sont divisées géographiquement en **trois grands groupes** : celles du **nord de l'océan Atlantique**, celles du **nord de l'océan Pacifique**, et enfin celles de **l'hémisphère sud** (NOAA, 1984). D'un point de vue génétique, chacune de ces populations est dominée, en termes de fréquence et de diversité, par un clade différent d'ADN mitochondrial (voir Partie 1, IV.B.2. page 46) (Baker *et al.*, 1993).

Dans l'hémisphère nord, elles se nourrissent à proximité du pôle nord entre les mois de juin et septembre et se reproduisent dans les eaux subtropicales et tropicales durant les mois de janvier, février et mars. Plusieurs stocks d'alimentation et de reproduction ont été définis pas la Commission Baleinière Internationale.

Dans l'hémisphère sud, le même phénomène se produit mais de façon inversée : elles se nourrissent en Antarctique entre les mois de janvier et avril, et se reproduisent dans les eaux plus proches de l'équateur entre les mois de juillet et octobre. Les mouvements migratoires des baleines à bosse de l'hémisphère sud ont été initialement décrits en 1987 par Kellogg, qui a alors identifié six stocks (deux pour chaque bassin océanique de l'hémisphère sud). Plus tard, la Commission Baleinière Internationale a défini **les stocks A à G** (*Figure 5*) **et le stock X** en se basant sur les zones d'hivernage fréquentées. Elle a également délimité **les zones d'alimentation de l'hémisphère sud** parmi **six aires distinctes (de I à VI)** (Findlay *et al.*, 2009 ; Donovan, 1991), en regroupant différentes sources : les données obtenues grâce aux marquages « Discovery » décrites par Rayner (1940), les concentrations en baleines rapportées par les navires ainsi que les positions des prises pendant la période de chasse baleinière. Les cartes obtenues grâce à ces informations sont en constante évolution depuis

les années 1990, l'objectif étant de proposer le modèle le plus juste concernant ces stocks dont la structure reste actuellement encore hypothétique (Figure 5).

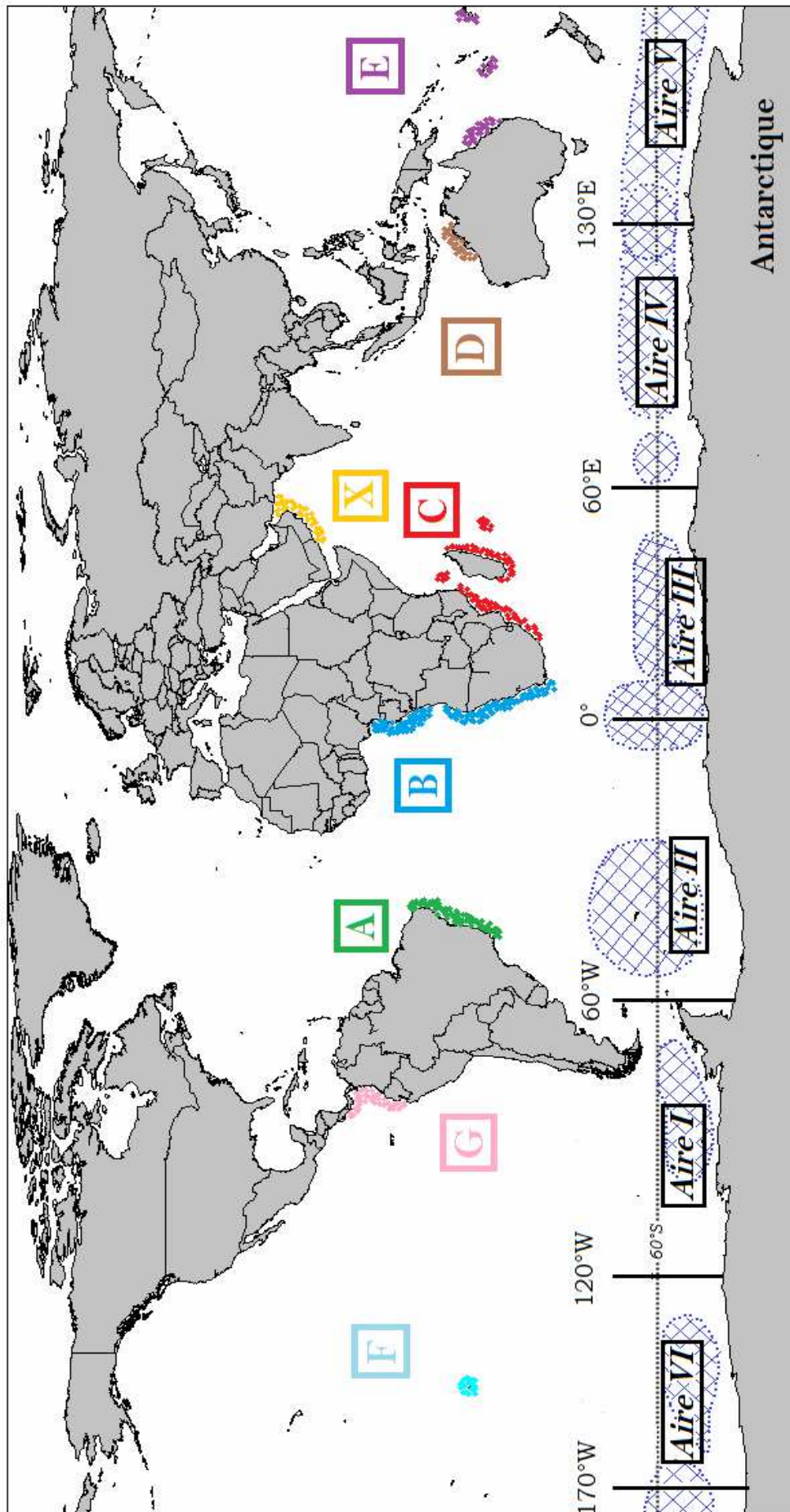


Figure 5 : Les stocks de baleines à bosse de l'hémisphère sud : zones de reproduction (A : sud-ouest de l'Atlantique, B : sud-est de l'Atlantique, C : sud-ouest de l'Océan Indien, D : sud-est de l'Océan Indien, E-F : sud-ouest du Pacifique, G : sud-est du Pacifique, X : nord de l'Océan Indien) et zones d'alimentation (hachurées en bleu) de l'Antarctique (figure établie à partir de Findlay et al., 2009)

Le flux génétique (voir Partie 1, IV.B.2. page 47) entre l'hémisphère nord et l'hémisphère sud est très faible (Baker, 1997), ce qui suggère de **très faibles échanges** entre ces grands groupes, autrement dit que leurs routes ne se croisent pas.

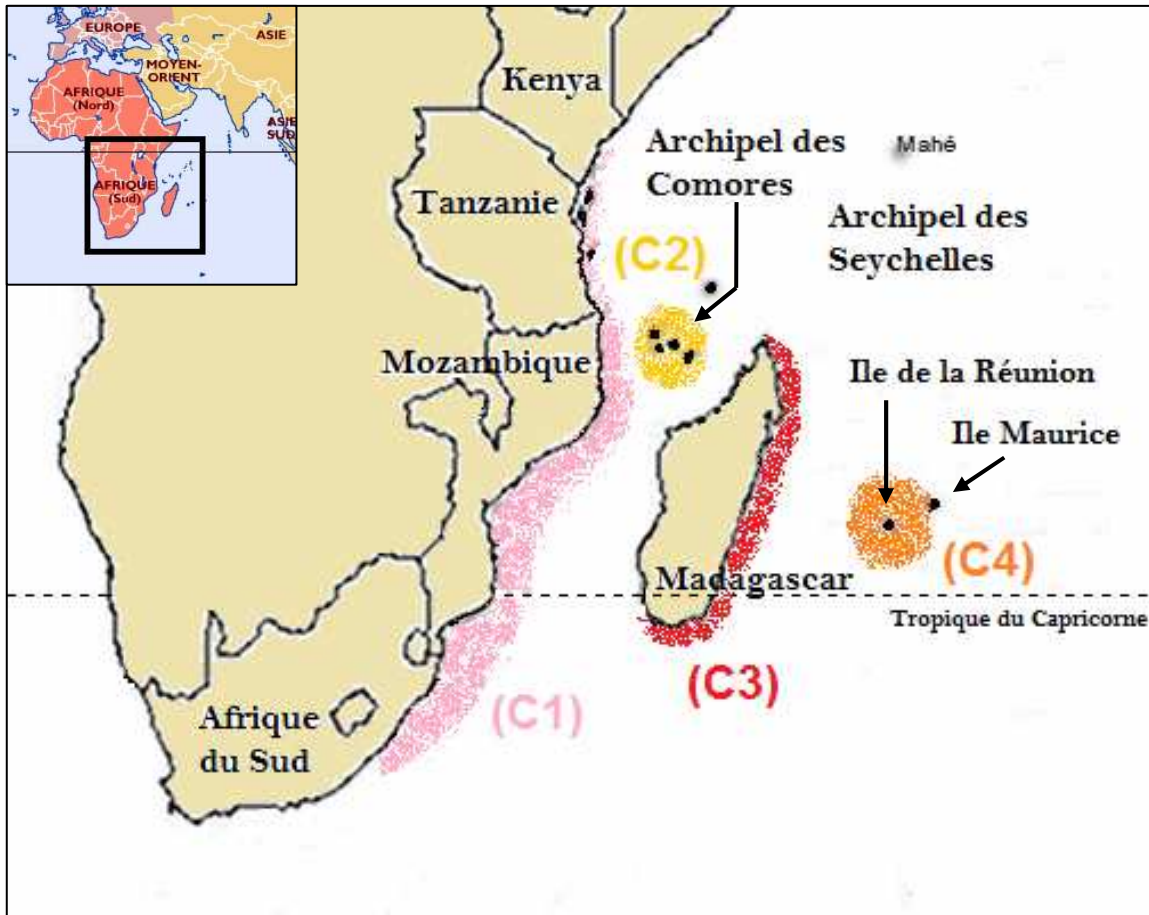
Des études réalisées à partir d'échantillons de peau de baleines à bosse appartenant aux stocks A, B, C et X mettent en évidence de grandes différences entre ces populations (Rosenbaum *et al.*, 2009). En effet, la comparaison d'ADN mitochondriaux de plus de 1500 individus issus de ces quatre zones suggère qu'il faut véritablement considérer ces stocks comme quatre populations distinctes, en particulier les stocks du nord de l'océan Indien et de l'océan Indien occidental (respectivement X et C) qui semblent être les plus éloignés génétiquement des autres stocks.

## *2. A l'échelle de l'océan Indien occidental*

**Les sous-stocks C1, C2 et C3**, ont été reconnus à l'intérieur du stock C par la Commission Baleinière Internationale en 2000. Ainsi au moins trois zones de reproductions sont décrites dans l'océan Indien occidental (*Figure 6*) :

- Les eaux côtières du nord-est de **l'Afrique du sud, du Mozambique** jusqu'au nord de la Tanzanie et le sud du Kenya (Findlay *et al.*, 1994 ; Fleming and Jackson, 2011) : sous-population **C1**
- **Les eaux de l'Archipel des Comores et du sud des Seychelles** (Findlay *et al.*, 1994 ; Fleming and Jackson, 2011) ; Kiszka *et al.*, 2007 ; Hermans and Pistorius, 2008 ; Kiszka *et al.*, 2008) : sous-population **C2**
- Les eaux de **l'est et du sud de Madagascar**, notamment la baie d'Antongil et l'île de Saint Marie (Fleming and Jackson, 2011 ; Rosenbaum *et al.*, 1997) : sous-population **C3**.

Puis une quatrième région **C4** (*Figure 6*) comprenant l'île de la Réunion et l'île Maurice a été proposée en 2008 (Fleming and Jackson, 2011 ; Dulau-Drouot *et al.*, 2011). Les baleines à bosse sont observées à la Réunion entre les mois de juin et novembre (Dulau-Drouot *et al.*, 2008).



*Figure 6* : Zones de reproduction des baleines à bosse : les sous-populations (représentées en gris) du stock C définies par la Commission Baleinière Internationale (figure modifiée à partir de Rosenbaum *et al.*, 2009)

## B. Description des sites de l'océan Indien occidental

### 1. Topographie et fréquentation du stock C1

D'une manière générale, la côte du Mozambique est une zone relativement calme ; en effet elle est protégée de la haute mer par le canal du Mozambique, et 25 rivières se jettent dans la mer à cet endroit ce qui crée une zone relativement sablonneuse et riche en dépôts

sédimentaires, avec une grande mangrove. Des îles coralliennes et des bancs sablonneux protègent la côte.

Selon une étude menée par Findlay en 1991, la densité de baleines à bosse est plus importante dans la région particulière de Sofala Bank au sud du Mozambique : c'est une baie peu profonde de 20 mètres de profondeur en moyenne, qui s'étend loin au large. Ainsi la topographie de la côte protège cette zone du courant d'Agulhas, ce qui explique qu'elle soit de plus en plus utilisée par les couples « mère-baleineau » (Findlay, 1994). Mais une étude menée en 2003 a enregistré de fortes concentrations en baleines à bosse dans des zones inattendues (entre Cabo Inhaca et Xai Xai, et autour du banc de Pantaloon et du banc de David) et des concentrations plus faibles dans la zone de Sofala Bank (*Figure 7*). En outre, les couples « mère-baleineau » ont été observés dans toute la région étudiée, c'est-à-dire de Cabo Inhaca jusqu'au nord de l'île de Mozambique (*Figure 7*), ce qui suggère une expansion de la zone utilisée par les femelles en lactation (Findlay *et al.*, 2011).

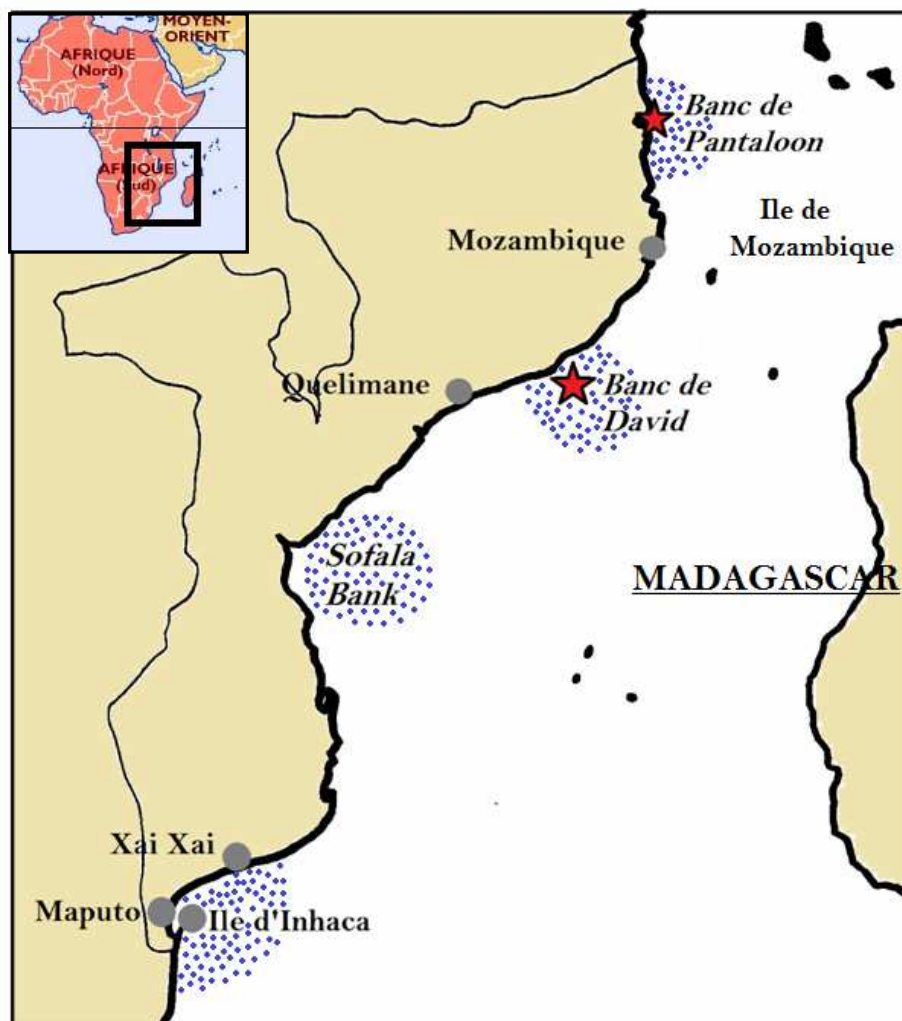


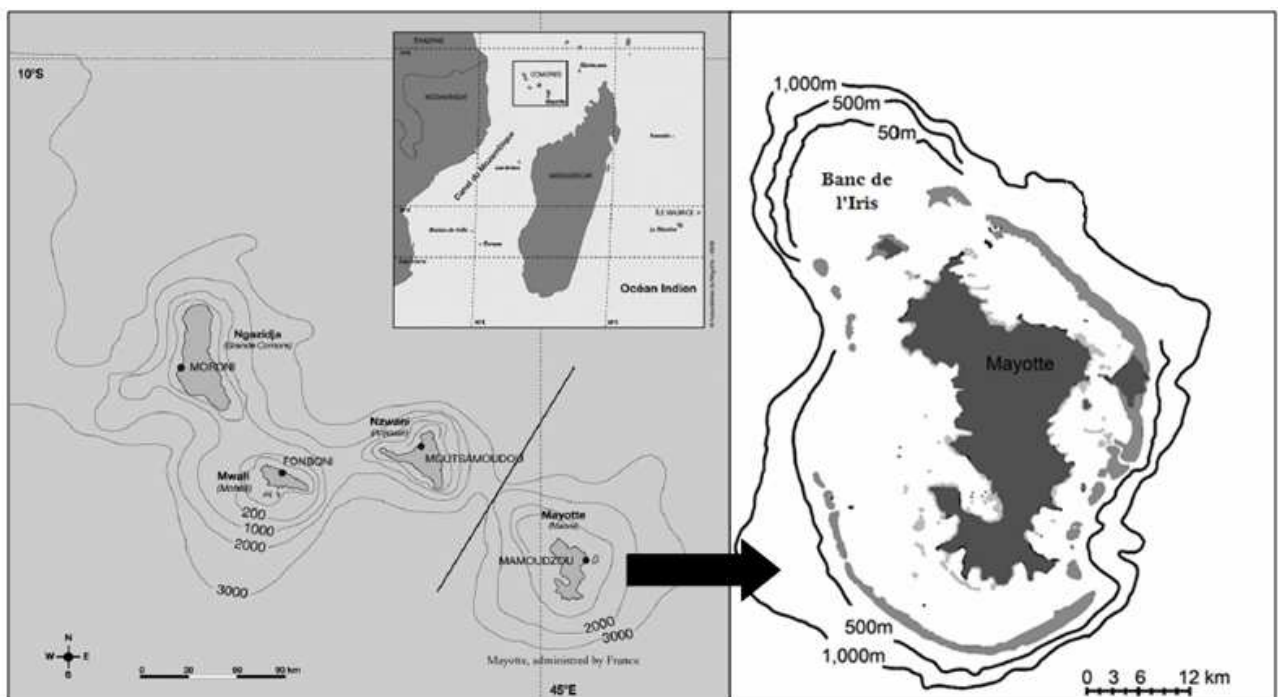
Figure 7 : Les eaux côtières du Mozambique et les concentrations importantes en baleines à bosse (point bleus)

## 2. Topographie et fréquentation du stock C2

Ce stock est actuellement considéré comme étant le moins étudié, où peu de données ont été jusque-là récoltées. L'archipel des Comores est formé d'îles volcaniques alignées en croissant de lune (d'où leur autre nom d'îles de la Lune). Anjouan et Grande-Comore sont entourées par des eaux océaniques profondes alors que Mohéli est bordée d'îlots et d'un plateau corallien où les eaux sont peu profondes, fréquentées par les baleines à bosse entre les mois de juillet et octobre pour l'accouplement et la mise bas. La présence de couples « mère-baleineau » autour des Comores indique que l'archipel constitue bel et bien une véritable pouponnière pour l'espèce. De plus, la présence de groupes compétitifs et l'observation de comportements de reproduction en fond une zone d'accouplement (Kiszka *et al.*, 2010). Depuis 1997, la majorité des études sur les mammifères marins de l'archipel ont été réalisées autour de Mayotte (l'île la plus à l'est de l'archipel). Elle est en effet considérée comme un des sites principaux de reproduction pour les baleines à bosse dans l'océan Indien occidental (Kiszka *et al.* 2010, Ersts *et al.* 2011b). Elle est entièrement encerclée par un immense récif de 197 km de longueur (*Figure 8*). Les mammifères peuvent rentrer dans le lagon (qui est un des plus grands du monde : 1500 km<sup>2</sup>) par de nombreuses passes présentes tout le long de la barrière de corail. Un second récif s'ajoute au large du premier dans le sud-ouest de l'île, et une barrière effondrée est présente dans le nord-ouest de l'île. La profondeur du lagon est en moyenne de 20 mètres et de nombreux îlots y sont éparpillés (Kiszka *et al.* 2007). Autour de Mayotte, les zones les plus fréquentées sont le lagon et les récifs entourant l'île (Kiszka *et al.* 2007). Elles le sont surtout par des couples « mère-baleineau », accompagnés parfois d'une escorte, bien que des groupes compétitifs aient également été observés. Les zones de hauts fonds semblent être très appréciées, surtout durant la fin de l'hiver austral, par les couples mère-baleineau. C'est le cas notamment du banc de l'Iris (situé à la pointe nord de Mayotte, avec une profondeur moyenne de 30 mètres et une étendue d'environ 215 km<sup>2</sup>), du banc de Zélée et du récif du

Geyser (formant tous les deux un complexe isolé à 80 miles nautiques au nord-est de Mayotte, avec des profondeurs variant entre 1 et 40 mètres) qui possèdent des conditions environnementales propices à l'hivernage des baleines à bosse (Ersts *et al.*, 2011b).

Concernant les Seychelles, les baleines à bosse sont régulièrement vues près d'Aldabra (sud-ouest des Seychelles) entre fin juillet et novembre, mais très peu d'études y ont été réalisées compte tenu de l'isolement géographique (Hermans and Pistorius, 2008). L'île de Mahé est également fréquentée par l'espèce. L'atoll d'Aldabra, inscrit au Patrimoine Mondial de l'UNESCO pour la richesse de sa faune, est composé de quatre îles principales entourant un lagon central hébergeant plusieurs petits îlots. La première observation enregistrée à Aldabra date de 1986. Le nombre d'individus a ensuite augmenté chaque année, et est devenu plus constant à partir de 2002. Les baleines sont majoritairement vues autour de l'atoll, et à de rares occasions à l'entrée du lagon. Durant l'année 2007, l'équipe d'observation s'est davantage impliquée dans le recensement des baleines à bosse, ce qui a permis l'obtention de données plus complètes que lors des années précédentes, notamment concernant la composition des groupes rencontrés. Ainsi, sur un total de 256 observations durant la saison, on note une prédominance des individus solitaires, puis des groupes de 2 individus, des couples « mère-baleineau » dont la plupart accompagnés d'une escorte, et enfin des groupes de 3 individus ou plus (Hermans et Pistorius, 2008).



*Figure 8* : Localisation de l'archipel des Comores (à gauche) et l'île de Mayotte (à droite) : la barrière de corail est représentée en gris foncé, et les récifs frangeants ainsi que la double barrière du sud-ouest sont représentés en gris clair (modifiée à partir de Kiszka et al. 2007)

### 3. Topographie et fréquentation du stock C3

Au niveau des côtes sud-est et sud-ouest de Madagascar (*Figure 9*) s'étendent de vastes plages de sables protégées par des petits récifs et des bancs de sable. Au large de Tuléar (côte sud-ouest), un grand récif protège les terres. La baie d'Antongil (nord-est) s'avance loin dans les terres et présente plusieurs vastes zones de hauts fonds, avec une moyenne de 23 mètres de profondeur dans la partie nord, où les baleines à bosse sont très souvent observées. La première étude menée dans la baie d'Antongil date de l'été 1996 ; elle a permis l'observation de nombreux comportements caractéristiques de la reproduction (chants, comportements compétitifs) prouvant que cette baie est, pour l'espèce, une des principales zones de reproduction de l'océan Indien (Rosenbaum *et al.*, 1997).

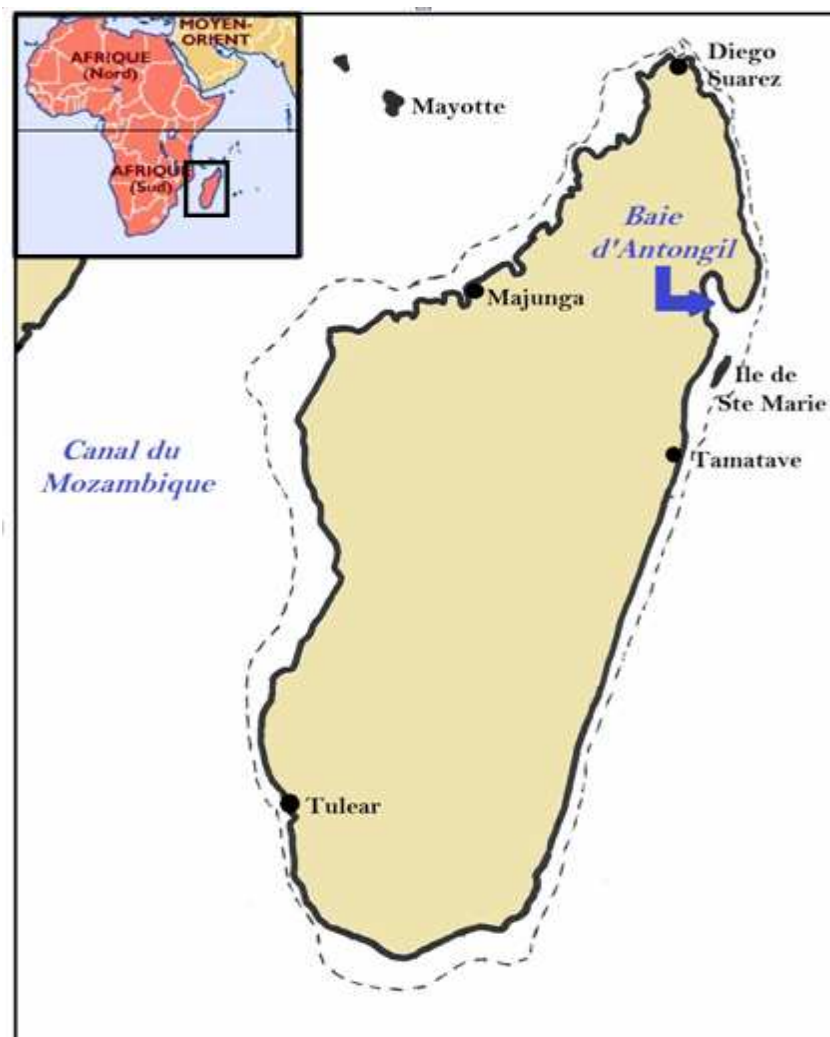


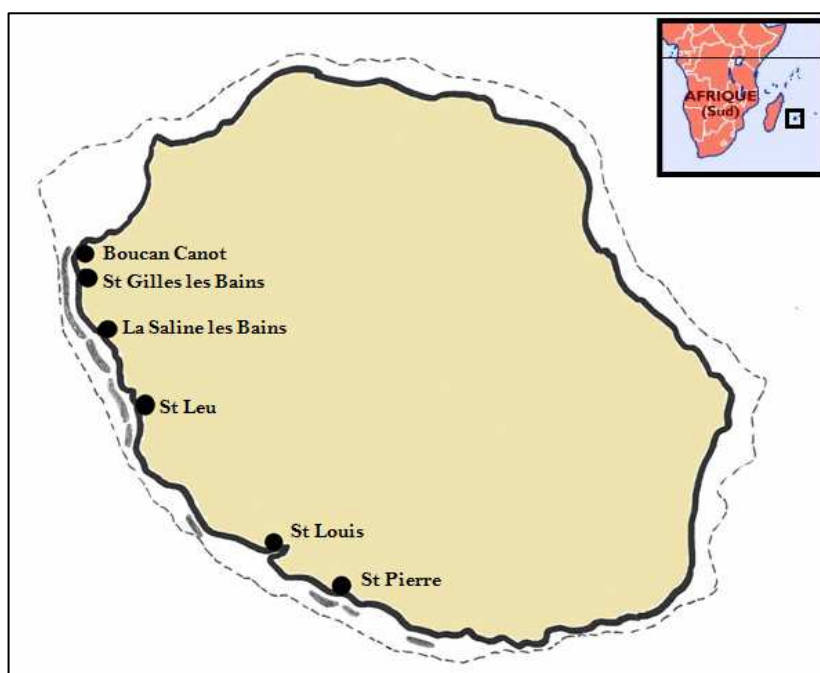
Figure 9 : L'île de Madagascar (les pointillés représentent l'isobathe 500 m)

De plus, un grand nombre de couples « mère-baleineau » (avec des baleineaux de tous âges) a été recensé au cours de cette étude, prouvant que les eaux peu profondes et protégées de la Baie d'Antongil en font la principale pouponnière de la côte est de Madagascar pour les baleines à bosse (Rosenbaum *et al.*, 1997).

Chaque année, la côte Est de Madagascar est fréquentée par un grand nombre d'individus mais ils restent peu de temps sur la zone, puis reviennent d'une année sur l'autre à peu près à la même date (Cerchio *et al.*, 2009). Cette régularité temporelle suggère des mouvements réguliers dans cette zone de reproduction.

#### 4. Topographie et fréquentation du stock C4

Les îles Mascareignes sont situées sur un plateau sous-marin d'environ 3000 mètres de profondeur. Ce sont des îles volcaniques dont les fonds marins côtiers présentent des pentes abruptes ; des profondeurs importantes sont donc rapidement atteintes lorsque l'on s'éloigne de la côte. L'île de La Réunion est peu protégée puisque sa barrière de corail constitue une ceinture discontinue d'environ 25 km de long sur le côté ouest de l'île ; elle n'encercle donc qu'une petite portion des côtes (moins de 10%) (Figure 10).



*Figure 10 : L'île de la Réunion (les plages grises représentent les récifs coralliens et la ligne pointillée représente l'isobathe 100 mètres)*

Les baleines à bosse sont essentiellement observées sur des profondeurs n'excédant pas les 100 mètres, donc très proches des côtes (Dulau-Drouot *et al.*, 2008).

D'après les travaux de photo-identification, les intervalles entre les recaptures varient de quelques jours à deux mois ; on peut donc penser que certaines baleines restent dans la zone une majeure partie de la saison. Mais à l'heure actuelle, il n'y a pas de recapture d'une année sur l'autre dans cette zone, ce qui suggère un faible degré de fidélité au site.

## C. Abondance et tendance de la population de l'océan Indien occidental

### 1. Abondance

Les derniers relevés de la Commission Baleinière Internationale (*Tableau I*) estiment la population de mégaptères **dans l'hémisphère sud** à plus de **60 000 individus** (d'après des données prélevées dans les zones de reproduction).

*Tableau I : Estimations de la population de baleines à bosse dans différentes régions du globe (site internet de la CBI : [www.iwcoffice.org](http://www.iwcoffice.org))*

	Année(s)	« Meilleure » estimation	Approximation de l'intervalle de confiance à 95%
<b><u>HEMISPHERE SUD</u></b>			
Aires d'alimentation de l'Antarctique	1997-1998	42000	34000-52000
Sud-est de l'Amérique	2005	6200	4600-8500
Sud-ouest de l'Amérique	2003-2004	2900	2000-4200
Ouest de l'Australie	2008	29000	24000-40000
Ouest de l'Afrique	2005	9800	7000-12000
Est de l'Afrique	2006	14000	11000-19000
Mer d'Arabie	2007	80	60-110
<b><u>ATLANTIQUE NORD</u></b>			

<b>Nord-ouest de l'Atlantique</b>	1992-1993	11600	10000-13000
<b>Ouest du Groenland</b>	2007	3000	1000-8000
<b><u>PACIFIQUE NORD</u></b>	2007	22000	19000-23000

**Concernant l'océan Indien occidental**, l'estimation la plus récente a été faite dans la baie d'Antongil (Madagascar, stock C3), grâce à la photo-identification et à la comparaison des génotypes (données récoltés entre 2000 et 2006). **Les estimations varient entre 4936 et 8169** baleines à bosse selon les modèles utilisés (Cerchio *et al.*, 2009). Etant donné que l'étude s'est faite sur plusieurs années et que l'on sait qu'il existe des échanges inter-annuels entre C3 et notamment C2 (voir Partie 1, II.F. page 39), ces résultats recensent les baleines à bosse du stock C3 mais certainement aussi quelques-unes de C2, et éventuellement de C1 (Ersts *et al.*, 2006, Cerchio *et al.*, 2008).

Une autre étude menée entre le 26 aout et le 16 septembre 2003 le long de la côte du Mozambique (stock C1) a recensé les mégaptères entre Cabo Inhaca jusqu'au nord de l'île de Mozambique ; les estimations obtenues varient entre 5930 et 5965 baleines à bosse (Findlay *et al.*, 2011) pour le stock C1.

## 2. Tendances

Toutes les estimations précédentes doivent être modulées par un **taux de progression annuelle des populations de 5% à 10%**. Deux études de comptage ont été réalisées à Cape Vidal (est de l'Afrique du sud) sur une route de migration (Findlay and Best, 2006). La première (observations faites du 6 au 22 juillet, durant quatre années entre 1988 et 2002) indique un accroissement de la population de 12,3 % par an, ce qui biologiquement paraît peu réaliste pour cette espèce (Zerbini, 2010). La deuxième (périodes du 6 au 30 juillet, durant 3 années entre 1990 et 2002) donne un accroissement de la population de 9%, ce qui semble plus plausible. Mais ces estimations sont limitées par le fait qu'elles aient été calculées avec un petit nombre de données et sur des périodes courtes.

## D. Relations et échanges entre les sous-populations de l'océan Indien occidental

Les mouvements de ces cétacés entre les zones de reproduction sont mal connus ; pourtant **la compréhension des relations entre les différentes zones d'hivernage est indispensable pour la conservation de cette espèce et la gestion, entre autre, des trafics maritimes de la région.**

A priori, **les échanges entre les stocks C1 et C3 sont très réduits** ; en effet, les divergences au niveau de l'ADN nucléaire et mitochondrial sont significatives entre ces deux régions (Rosenbaum *et al.*, 2009). Sur plus de 1400 biopsies prélevées dans ces deux zones, l'analyse par les méthodes génétiques et la comparaison des génotypes indique qu'une seule baleine aurait été capturée à deux reprises (recapture) (voir Partie 1, IV.A.1. page 42) dans ces deux régions. De plus, des travaux de photo-identification regroupant 1300 individus ont permis seulement deux recaptures entre C1 et C3 (Cerchio *et al.*, 2008).

Concernant l'archipel des Comores (C2), des différences significatives avec la côte est de l'Afrique (C1) ont été mises en évidence, ce qui suggère un **flux génétique faible entre les zones C1 et C2** (Rosenbaum *et al.* 2009 ).

En revanche, au moins neuf baleines à bosse ont été identifiées comme fréquentant à la fois Madagascar (C2) et l'archipel des Comores (C3) (Ersts *et al.*, 2011a). Plusieurs recaptures ont en effet été réalisées entre ces deux zones d'hivernage entre 1996 et 2006 : quatre baleines uniquement grâce aux méthodes de photo-identification, deux baleines à la fois grâce aux données génétiques et aux données de photo-identification, et trois baleines uniquement grâce aux données génétiques (Ersts *et al.*, 2006 ; Ersts *et al.*, 2011a ; Pomilla and Rosenbaum, 2006). Ces preuves montrent que des baleines fréquentant les îles Comoriennes certaines années fréquentent également les eaux de Madagascar d'autres années. Il semble donc y avoir **un plus haut degré d'échange entre les sous-populations C2 et C3**. En outre, ces mouvements entre C2 et C3 semblent similaires à ceux observés à l'intérieur de l'archipel d'Hawaï ou dans la zone de Mexico car les distances parcourues sont tout à fait comparables ; une telle observation suggère que les aires C2 et C3 pourraient en réalité constituer une seule et même aire d'hivernage, et pousse ainsi à s'interroger quant aux délimitations établies jusqu'alors pour les stocks de l'océan Indien occidental (Ersts *et al.*, 2011a).

En terme d'analyses génétiques, deux études montrent que les échantillons prélevés en C2 et en C3 ne sont pas significativement différents les uns des autres, alors qu'ils semblent significativement différents de ceux prélevés en C1 (Rosenbaum *et al.*, 2009 ; Pomilla, 2005). Mais en analysant les résultats de façon plus précise à l'intérieur du stock C1, c'est-à-dire en traitant indépendamment les échantillons de la côte est de l'Afrique du sud et ceux des côtes du Mozambique et en les comparant aux échantillons de C2 et C3, les différences sont beaucoup plus importantes avec les échantillons prélevés au niveau de la côte est de l'Afrique du sud, alors que les échantillons prélevés au niveau des côtes du Mozambique ne sont pas significativement différents de ceux des zones C2 et C3 (Pomilla, 2005).

Ainsi il est fortement possible que les deux sous-régions **C2 et C3 soient fréquentées par les mêmes baleines à bosse** (Ersts *et al.* 2011a).

Cependant, il est important de noter que la collecte de toutes ces données permettant d'évaluer d'éventuels échanges entre les différents stocks de l'Océan Indien Occidental est biaisée par le fait que chaque zone n'a pas été étudiée avec le même degré d'intensité et d'investissement. Il est vrai que jusqu'ici, peu d'efforts ont été consacrés à la compréhension des mouvements des baleines à bosse dans l'archipel des Comores, contrairement aux autres zones.

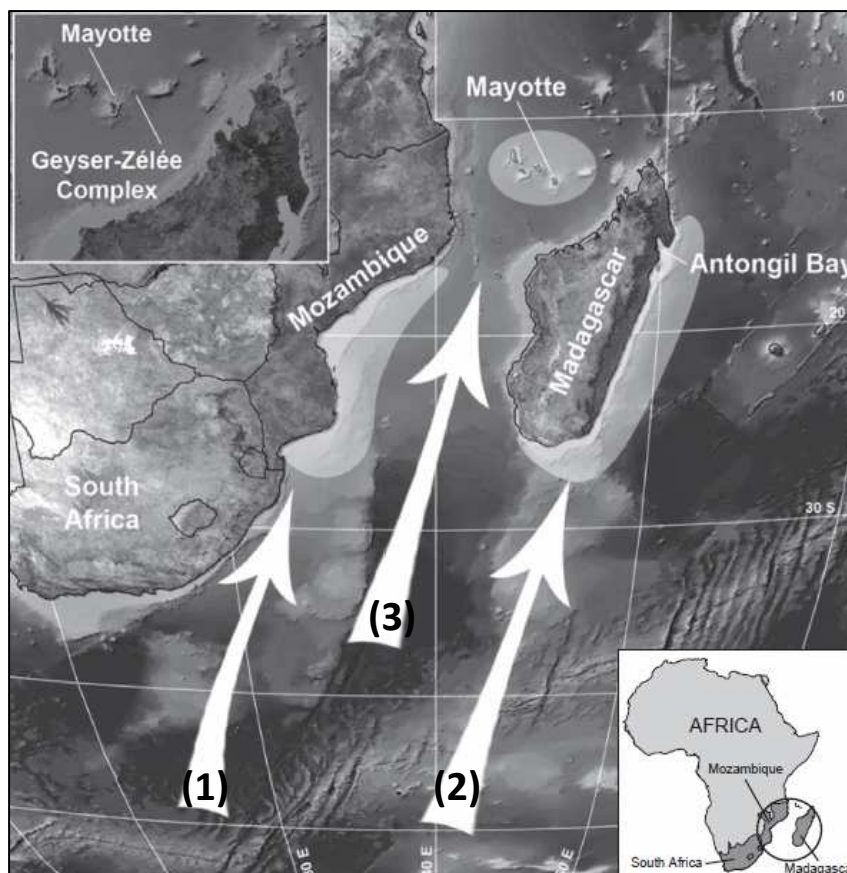
## E. Couloirs de migration des baleines à bosse de l'océan Indien occidental

Les baleines à bosse de l'océan Indien occidental migrent chaque année entre l'Antarctique (où elles se nourrissent car les eaux présentent une forte densité en krill) et l'océan Indien (leur zone de reproduction) (Dawbin, 1966).

Grâce à des travaux de comptage, d'observation, d'enregistrements acoustiques et en utilisant les données de la chasse baleinière, au moins trois routes de migration sont proposées (Best *et al.*, 1998) (*Figure 11*):

- **une première route (1)** se situe le long de **la côte est de l'Afrique du sud** : les baleines arrivent de l'Antarctique et atteignent la côte africaine à Knysna autour du mois d'avril. Elles s'écartent du continent Africain à partir de ce même point de longitude lors de leur retour en Antarctique, aux alentours du mois de décembre. D'après les études réalisées en 1990, il semblerait que la même proportion de la population utilise cette route dans les deux sens de migration (Best *et al.* 1998).
- **une deuxième route (2)** est au **large du cap Sainte Marie** (pointe sud de Madagascar)
- et probablement **une troisième route de migration(3)** serait située au **centre du canal du Mozambique**, positionnée d'après les données acoustiques récoltées en 1994 : quelques mâles chanteurs ont été enregistrés au centre du canal, alors qu'aucun n'a été détecté dans les parties latérales de ce canal (Best *et al.* 1998). Cependant, il n'est pas complètement exclu que ce supposé couloir de migration ne soit en fait qu'un regroupement de diverses baleines des côtes Africaines et Malgaches, autrement dit une zone où se mélangent les populations utilisant les couloirs (1) et (2).

En revanche, aucun couloir de migration n'a été identifié pour les baleines à bosse des îles Mascareignes (la Réunion et l'île Maurice).



*Figure 11 : Routes de migration (flèches blanches) des baleines à bosse dans l'océan Indien occidental, proposées par Best et al. (1998) ; les zones d'hivernage sont représentées en gris clair (IWC 2000)*

Cependant il est possible que les baleines **changent de couloirs de migration** au cours d'une saison ou, plus probablement, d'une saison à l'autre. Seules des techniques spécifiques comme des analyses génétiques ou le déploiement de balises satellites (qui permettent de suivre les baleines de façon dynamique) pourraient fournir de telles informations.

## F. Relation avec la population du nord de l'océan Indien

Une petite population de baleines à bosse estimée à 82 individus (Minton *et al.*, 2011) est présente dans le nord de l'océan Indien (**stock X**) et semble être **sédentaire**, contrairement aux autres populations du globe. La dynamique de cette population est mal comprise à l'heure actuelle, mais elle est reconnue comme étant une population isolée résidente. Tandis que la grande majorité des baleines à bosse se reproduisent dans les eaux chaudes, où toutes les conditions sont réunies pour le développement des petits, puis partent se nourrir dans les eaux polaires riches en krill, la population X est présente dans la même zone en été et en hiver. En effet, des études réalisées autour des côtes d'Oman ont montré que les baleines étaient présentes toute l'année dans la zone (Baldwin 2000). Elles y trouvent certainement nourriture, protection, et chaleur pour pouvoir à la fois s'y reproduire et s'y nourrir. Les données de photo-identification rapportent des mouvements saisonniers entre deux zones : la région du Dhofar (île de Kuria Muria) où les baleines seraient plus présentes durant les mois de février-mars et où des chants ont été enregistrés (suggérant des activités de reproduction), et le golfe de Masirah où les baleines sont observées autour du mois d'octobre. Des comportements d'alimentation ont été rapportés dans ces deux zones, mais un peu plus fréquemment autour de Masirah. De plus, de nombreuses données issues des chasses baleinières illégales de 1966 ont montré que les tailles de fœtus prélevés chez les femelles gestantes tuées étaient similaires à celles mesurées dans l'hémisphère nord au

même moment (Mikhalev 1997). Il semblerait donc que cette population suive le même cycle de reproduction que les populations de l'hémisphère nord.

Quelques hypothèses avaient été émises concernant une éventuelle connexion avec le stock C, mais d'après les analyses génétiques, la population du stock X est très fortement différenciée des autres populations de l'océan Indien, donc des stocks de l'océan Indien occidental (Rosenbaum *et al.*, 2009 ; Pomilla *et al.*, 2006).

A retenir :

- ✓ **Les baleines à bosse du globe sont divisées géographiquement en trois grands groupes distincts entre lesquels il y a peu d'échange : celles du nord de l'océan Atlantique, celles du nord de l'océan Pacifique, et enfin celles de l'hémisphère sud.**
- ✓ **Dans l'hémisphère sud, la Commission Baleinière Internationale a défini 8 stocks (de A à G ainsi que le stock X), l'océan Indien occidental correspond au stock C. Elle a également divisé les zones d'alimentation de l'hémisphère sud en six aires distinctes (de I à VI).**
- ✓ **Les sous-stocks C1 (côtes du sud-est de l'Afrique), C2 (archipel des Comores) et C3 (côte est de Madagascar), ont été reconnus comme étant 3 populations distinctes à l'intérieur du stock C par la Commission Baleinière Internationale en 2000. Puis une quatrième région C4 (îles Mascareignes) a été proposée en 2008. Cependant il est possible que C2 et C3 soient fréquentés par les mêmes individus.**
- ✓ **Les trajets précis de migration des baleines du stock C sont encore mal connus. A l'heure actuelle trois routes sont proposées : le long de la côte est de l'Afrique du sud, au large de la pointe sud de Madagascar et au centre du canal du Mozambique.**

### III. DANGERS ET MENACES DANS L'OCEAN INDIEN OCCIDENTAL

Ce n'est que tout récemment que des études sismiques en vue de l'exploitation de ressources naturelles (pétrole et gaz) se sont développées dans cette zone du globe. Des travaux de forage sont prévus (et même parfois déjà commencés) dans de nombreuses régions de l'océan Indien occidental : dans le bassin du Mozambique, autour des côtes de Zanzibar, sur la côte nord-ouest de Madagascar, à la Réunion et aux Seychelles, et l'on rencontre des baleines à bosse de façon saisonnière dans chacune de ces zones. Ces activités engendrent non seulement un risque important de **dégradation de l'habitat naturel** de tous les mammifères marins, mais également **l'augmentation du trafic maritime** dans ces zones, ainsi que des **nuisances sonores** pouvant masquer les communications entre baleines à bosse (Fleming and Jackson, 2011). Or, on sait que le chant est un élément essentiel de la reproduction chez cette espèce ; on comprend donc qu'une pollution sonore de ce type aura certainement des répercussions importantes, notamment sur la reproduction de l'espèce. Malgré cela, aucun projet d'interruption saisonnière des travaux ou aucun autre compromis n'ont été proposés pour protéger ces zones pendant la saison de reproduction des baleines. De plus, le risque de **collision avec des navires** devient de plus en plus important avec l'intensification du trafic maritime. La baleine à bosse est la seconde espèce la plus atteinte par ce genre d'accident, après le rorqual commun. Etant accompagnées par leur jeune baleineau, les femelles allaitantes se déplacent lentement et passent beaucoup de temps à la surface, ce qui les rend encore plus exposées aux collisions. Le risque est également majeur sur les routes de migration empruntées chaque année par un grand nombre d'individus. Actuellement, plus de 140 collisions avec des mégaptères ont été rapportées dans le monde, mais on estime qu'elles sont bien plus fréquentes (Laist *et al.*, 2001), et beaucoup de pays ne rapportent pas ces accidents ; c'est le cas de Madagascar et du Mozambique entre autre. Il est donc très difficile d'estimer le nombre de collisions dans l'océan Indien occidental.

La gravité des collisions entre navires et baleines à bosse a été prise en considération dans certaines régions du globe, comme le nord de l’océan Atlantique, le nord de l’océan Pacifique ou encore la mer Méditerranée, mais très peu dans l’hémisphère sud. Par exemple, **un système de séparation du trafic a été mis en place en 1982 dans la baie de Fundy (Canada)** puis des modifications ont été adoptées en 2002 par l’Organisation Maritime Internationale pour réduire les probabilités de collision. En effet, les collisions entre les navires et les baleines franches ont été identifiées comme une menace importante pour l’espèce, et en 2000, une étude comparative des données d’observation des baleines franches a démontré un chevauchement entre des zones de concentrations élevées de baleines franches et la voie maritime sortante. Ces modifications ont impacté sur certaines activités commerciales de la région, mais les industries ont tout de même soutenu ces changements pour contribuer à la protection des baleines franches de la baie de Fundy. De telles initiatives pourraient être prises dans l’hémisphère sud, notamment dans l’océan Indien occidental ; voilà pourquoi il est nécessaire de **connaître précisément les habitats et déplacements des baleines à bosse** dans cette zone puisque de tels renseignements sont **essentiels pour la gestion durable de ces populations de baleines à bosse**.

## IV. METHODES D’ETUDE DES BALEINES A BOSSE

### A. La photo-identification

#### *1. Principe de la méthode*

Bien que la plupart des espèces de baleines présentent des particularités permettant leur identification, les baleines à bosse sont de loin celles qui sont le plus photo-identifiées. Cette méthode de suivi est utilisée dans tous les océans du monde. En effet, elle est relativement facile à réaliser et ne nécessite pas un financement important, mis à part le coût lié aux sorties en mer. C’est un travail effectué depuis de nombreuses années dans l’océan Indien par plusieurs associations et groupes de scientifiques pour l’étude de ces cétacés.

La photo-identification complète d'un individu comprend la photographie de la **face ventrale de sa nageoire caudale** et les photographies du **côté droit et du côté gauche de son aileron dorsal**.

Une fois que l'individu a été photo-identifié (on appelle cela une « capture »), les photographies accompagnées des dates et lieux d'observation sont saisies dans un catalogue d'identification. Chaque identification est comparée à toutes les autres données du catalogue. Cette étape est souvent faite à l'œil nu ; bien que des logiciels soient parfois utilisés, ils donnent des résultats plus ou moins fiables. Lorsque deux photographies correspondent entre-elles, c'est qu'elles appartiennent à la même baleine ; on parle alors de « matching » ou de « recapture photographique ».

## *2. Identification par l'aileron dorsal*

Chaque aileron est **particulier** par sa forme et les éventuelles marques et cicatrices qu'il porte.

On peut néanmoins classer les ailerons en trois types en fonction de leur forme : les ailerons triangulaires (*Figure 12 A*), en faucille (*Figure 12 B*) et arrondis (*Figure 12 C*).

Photographier cet aileron est relativement facile puisqu'il est visible chaque fois que la baleine fait surface pour respirer.



*Figure 12* : Les trois types d'ailerons dorsaux de baleine à bosse : aileron triangulaire (A), en faucille (B) et arrondi (C) (*Megaptera*)

## *3. Identification par la nageoire caudale*

Elle repose sur le fait que chaque baleine à bosse possède une nageoire caudale **unique**. Il faut prendre en compte plusieurs critères :

- le **motif noir et blanc** : on classe les nageoires caudales en 5 groupes suivant le pourcentage de blanc et de noir (groupe 1 = majorité de blanc ; groupe 5 = majorité de noir)
- les **cicatrices** qu'elle porte (marques laissées par les coquillages, blessures infligées par des prédateurs : requins ou orques...)
- la **dentelure** du bord de fuite

L'identification d'une baleine grâce à sa nageoire caudale (*Figure 13*) est donc possible, mais uniquement lorsque la nageoire caudale est visible, ce qui peut se produire dans plusieurs situations :

- lorsque l'animal **sonde** (c'est-à-dire lorsqu'il plonge en profondeur) car la baleine est forcée d'arquer fortement son dos et de sortir complètement sa nageoire hors de l'eau à cette occasion
- lors de **certains comportements** comme les « frappes de caudale » (*Figure 4*) qui sont surtout observées chez les mâles lors des parades amoureuses ou chez les mères et leur baleineau dans le cadre de séances d'apprentissage
- lorsque la caudale est **immobile hors de l'eau** : plusieurs hypothèses ont été émises pour tenter d'expliquer ce comportement, il pourrait s'agir de moyen de thermorégulation, ou encore une position permettant l'allaitement du baleineau.



*Figure 13 : Photo-identification de deux baleines à bosse par leur nageoire caudale  
(Caroline KOHL)*

#### *4. Fiabilité de la méthode*

Selon Blackmer (2000), les particularités superficielles comme la coloration de la nageoire caudale ou les marques observables sur la peau varient de façon considérable dans le temps, alors que les particularités morphologiques comme la forme de l'aile ou les bords de fuite de la nageoire caudale sont plus stables, et donc beaucoup plus fiables pour l'identification (Blackmer, 2000). Cependant, les modifications apparaissent surtout chez les animaux jeunes, et il semblerait que le patron de la face ventrale de la nageoire caudale se stabilise autour de l'âge de deux ans. De plus, les modifications de coloration de la nageoire caudale ne rendent que dans de très rares cas les individus méconnaissables, sauf chez les jeunes individus. Ainsi la photo-identification des jeunes baleines (c'est-à-dire avant l'âge un an et demi voire deux ans) paraît très difficile.

Concernant les bords de fuite de la nageoire caudale, même si cette particularité paraît plus stable dans le temps, elle varie énormément avec la distance de photographie et selon l'angle de vue.

On comprend donc que la photo-identification n'est fiable que si l'on prend en compte **un maximum de critères différents** (morphologiques et superficiels) pour pallier aux éventuelles modifications passées ou futures subies par l'animal.

## B. L'analyse génétique

### *1. Prélèvement des échantillons*

Les échantillons sont des échantillons de peau, ils sont obtenus en réalisant une **biopsie** ou en récupérant les **peaux mortes** consécutives à la « mue » des baleines à bosse (la peau se renouvelle très rapidement chez cette espèce). Les biopsies peuvent être prélevées de différentes manières, à l'aide d'une longue perche par exemple, ou grâce à une arbalète

(Figure 14) dont la flèche est équipée d'un cylindre en acier destiné à prélever une carotte de peau. Cette flèche est également munie d'un flotteur ou d'un fil permettant à l'opérateur de la récupérer après le tir.

Les échantillons peuvent ensuite être conservés dans différents types de solutions (Ethanol 95%, diméthylsulfoxyde, solution saturée en sel...) au congélateur, avant d'être analysés.

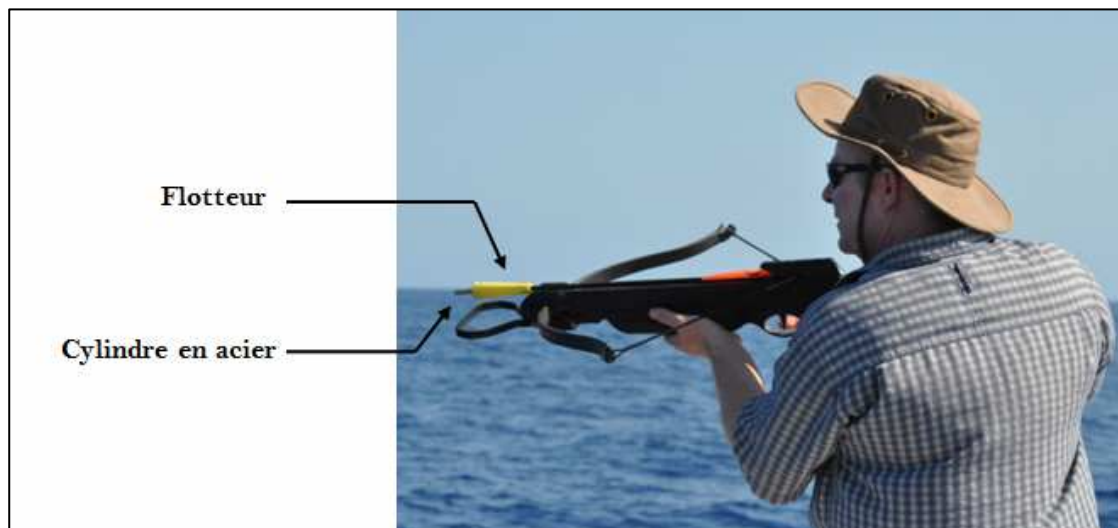


Figure 14 : Prélèvement d'une biopsie à l'aide d'une arbalète (Caroline KOHL)

## 2. Analyse des échantillons

L'ADN génomique est extrait du prélèvement d'épiderme par action d'une protéase, suivie par des méthodes d'extraction au phénol et chloroforme, ou à l'aide de kits spéciaux optimisés pour l'extraction d'acides nucléiques (Cerchio *et al.*, 2009 ; Pomilla and Rosenbaum, 2006). Une phase d'amplification par PCR (Polymerase Chain Reaction) est ensuite réalisée.

Il est également possible de **sexer** chaque échantillon en amplifiant les marqueurs ZFX et ZFY, respectivement présents sur les chromosomes sexuels X et Y.

Le **génotypage** de chaque individu est réalisé en analysant les différentes formes alléliques d'une dizaine de loci de marqueurs microsatellites (Best *et al.*, 1998 ; Pomilla and Rosenbaum, 2005). Les microsatellites sont des séquences particulières d'ADN non codantes

formées par une répétition continue d'un motif de plusieurs nucléotides ; ils sont très abondants et très polymorphes chez les eucaryotes. Plusieurs auteurs (notamment Palsbøll *et al.*, 1997) ont identifié les loci de microsatellites qui peuvent être exploités afin de génotyper, donc identifier des individus de façon catégorique. De même que pour la photo-identification, toutes les données des identifications génétiques sont regroupées dans un catalogue afin de pouvoir les comparer à chaque nouvelle biopsie prélevée et analysée. Lorsque deux génotypes sont identiques, c'est qu'il s'agit de la même baleine qui a été vue et prélevée à deux reprises : on parle alors de « recapture » (comme pour la photo-identification).

Les liens maternels peuvent aussi être déterminés en comparant les ADN mitochondriaux (ADNm). Pour cela, une région particulière de l'ADNm d'un peu moins de 500 paires de bases, appelée « région de contrôle », est analysée. En effet, c'est au niveau de cette région que sont observés la majorité des polymorphismes nucléotidiques (Best *et al.*, 1998 ; Baker *et al.*, 1993). Ainsi 37 nucléotypes de l'ADNm de baleine à bosse ont été définis ; la phylogénie de ces nucléotypes a notamment été établie par la méthode de Neighbor-Joining, qui les a divisés en trois clades majeurs. En se basant sur cette phylogénie, il est possible de mesurer des flux génétiques (c'est-à-dire le degré d'échange de gènes ou de leurs allèles) entre les différentes populations de baleines à bosse du globe (Baker *et al.*, 1993).

Ainsi, non seulement les données obtenues par l'analyse génétique permettent **l'identification individuelle** de chaque baleine à bosse, mais elles aident également à répondre à des questions phylogéniques et démographiques. En outre, l'utilisation de marqueurs génétiques pour identifier les baleines représente une excellente alternative aux autres méthodes puisque le génotype d'un individu est **permanent**. Il s'agit ainsi d'une méthode extrêmement **fiable, objective et indiscutable**.

## C. Le suivi par télémétrie satellitaire

Cette méthode d'étude permet de suivre les baleines de façon **dynamique**.

### 1. Le système Argos

Les balises utilisées pour le suivi des baleines (et de beaucoup d'autres espèces) sont des **balises Argos**. Argos est un système mondial de localisation par satellite dédié à l'étude et à la protection de notre environnement, à la protection de la vie humaine et aux programmes présentant un intérêt gouvernemental déclaré. Il est issu d'une coopération entre le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales), la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), la NASA (National Aeronautics and Space Administration) et de la CLS (Collecte Localisation Satellites).

Les balises émettent régulièrement des messages aux satellites (qui sont en orbite polaire circulaire à 850 km d'altitude autour de la Terre) qui sont équipés d'un système embarqué Argos. Ces messages sont caractérisés notamment par la fréquence d'émission qui doit être stable car le calcul de la localisation est basée sur la mesure de **l'effet Doppler-Fizeau** : lorsque le satellite se rapproche de la balise, la fréquence des ondes électromagnétiques mesurées par l'équipement embarqué est supérieure à la fréquence réelle d'émission, et inversement lorsque le satellite s'éloigne de la balise (*Figure 15*).

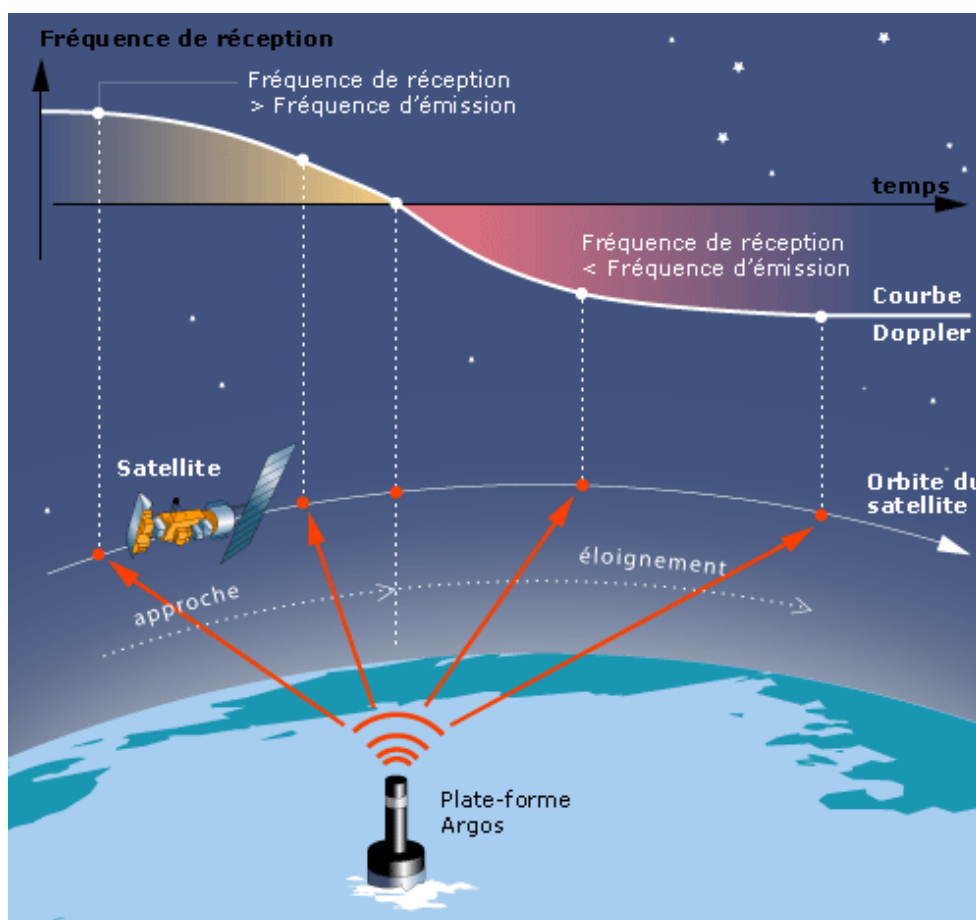


Figure 15 : Principe de la localisation Argos grâce à la mesure de l'effet Doppler-Fizeau

([www.argos-system.org](http://www.argos-system.org))

Chaque satellite repère simultanément et à tout moment toutes les balises situées à l'intérieur d'un cône dont le diamètre au sol est d'environ 5000 km. La durée de "visibilité" d'une balise par un satellite est de dix minutes environ. Chaque satellite met environ 100 minutes pour effectuer une rotation complète autour de la Terre.

A chaque réception d'un message, le satellite mesure la fréquence et la date d'arrivée du message. Une fois les messages reçus par le satellite, ils sont stockés sur l'enregistreur et retransmis vers le sol à chaque fois que le satellite passe au-dessus de l'une des trois stations principales de réceptions (Wallops Island, Etats-Unis - Fairbanks, Alaska - Svalbard, Norvège). De plus, près de 50 stations reçoivent les informations en provenance des satellites en temps réel et les retransmettent vers des centres de traitement. Ce réseau d'antennes en bande L est distribué de façon à obtenir une couverture mondiale. Ensuite, deux centres de traitement (Washington DC, Etats-Unis et Toulouse, France) traitent les données afin de calculer les localisations (site internet Argos).

## 2. Travaux déjà réalisés

Ce n'est que tout récemment que le déploiement de balises satellites sur des baleines à bosse a été initié. De tels travaux ont été réalisés dans plusieurs zones du globe :

- ✓ **l'Océan Pacifique nord** : 6 balises satellites ont été déployées sur des baleines à bosse dans l'Archipel d'Hawaï en 1998, leur durée de fonctionnement a varié entre 0,5 et 17 jours, les baleines marquées ont parcouru entre 30 et 1860 km (Mate *et al.*, 1998) ; 11 autres balises déployées autour de l'île de Socorro (Mexique) en février 2003 ont notamment permis de suivre deux individus pendant la totalité de leur migration jusqu'aux zones d'alimentation, elles ont fonctionné entre 4,9 et 149 jours et les baleines marquées ont parcouru entre 222 et 10 481 km (Lagerquist *et al.* 2008)

- ✓ **l'océan Pacifique sud** : 7 balises ont été déployées sur des baleines à bosse dans les eaux des îles Cook durant les mois de septembre 2006 et 2007 afin de mieux connaître les connections entre les zones d'hivernage et les zones d'alimentation, leur durée de fonctionnement a varié entre 4 et 40 jours et les baleines marquées ont parcouru jusqu'à 5 400 km (Hauser *et al.*, 2012)
  
- ✓ **l'océan austral** : 11 balises ont été déployées sur des baleines à bosse durant les mois de janvier 2004, 2005 et 2006 dans le détroit de Gerlache (Antarctique) et ont permis de suivre les déplacements des baleines à bosse dans leur zone d'alimentation, leur durée de fonctionnement a varié entre 4 et 80 jours et les baleines marquées ont parcouru entre 223 et 4 356 km (Dalla Rosa *et al.* 2008b)
  
- ✓ **l'océan Atlantique sud** : 11 balises ont été déployées sur des baleines à bosse en octobre 2003 au niveau de la côte sud-est du Brésil, leur durée de fonctionnement a varié entre 5 et 205 jours et les distances parcourues par les baleines marquées varient entre 60 et 7 258 km ; deux individus ont ainsi été suivis jusqu'à leur aire d'alimentation (Zerbini *et al.* 2006)
  
- ✓ **l'océan Atlantique nord** : 5 balises ont été déployées sur des baleines à bosse pendant la période d'alimentation dans l'ouest du Groenland durant les mois d'aout 2002, 2003, 2004 et 2005, les durées de fonctionnement des balises ont varié entre 13 et 111 jours et les baleines marquées ont parcouru entre 189 et 3 341 km (Heide-Jorgensen & Laidre 2007)

Toutes ces études ont permis une meilleure et plus ample compréhension des **trajets de migration** entre aires de reproduction et aires d'alimentation mais également des **mouvements intra-aires de reproduction**. En revanche, ce type d'étude n'avait jusqu'alors jamais été réalisée dans le sanctuaire de l'océan Indien. **Le déploiement de balises satellites sur les baleines à bosse dans cette partie du globe est une première !**

A retenir :

- ✓ **La photo-identification consiste en la photographie de la face ventrale de la nageoire caudale, du côté droit et du côté gauche de l'aileon dorsal. Elle est peu coûteuse mais moins fiable que les autres méthodes d'étude.**
- ✓ **L'analyse génétique d'échantillons de peau permet non seulement l'identification individuelle de chaque baleine à bosse de manière indiscutable, mais également de procéder à un sexage et de répondre à des questions phylogéniques et démographiques.**
- ✓ **La télémétrie satellitaire est la seule méthode d'étude permettant le suivi dynamique des baleines à bosse. Elle n'avait jusqu'alors jamais été utilisée dans le sanctuaire de l'océan Indien.**



# PARTIE 2 - CONTRIBUTION A L'ETUDE DES BALEINES A BOSSE DE L'OCEAN INDIEN OCCIDENTAL : DEPLOIEMENT DE BALISES A GEOLOCALISATION SATELLITAIRE

---

## I. PRESENTATION DU PROJET

### A. L'association Megaptera

L'association Megaptera est une association française de loi 1901 à but non lucratif reconnue d'intérêt général, créée en 1998 à Mayotte et présidée par Michel VELY, vétérinaire inspecteur et membre de la délégation française au comité scientifique de la Commission Baleinière Internationale depuis 2008. Elle regroupe des chercheurs et des volontaires, tous bénévoles, issus d'horizons divers. L'association participe à la connaissance et la conservation des mammifères marins et du requin baleine dans l'océan Indien. Elle développe des programmes d'études autour des baleines à bosse, des cachalots et des dauphins côtiers et pélagiques. Elle a également un rôle important dans la sensibilisation : ces informations sont en effet diffusées via divers supports (livres, dépliants, supports multimédia...) auprès des populations locales, des professionnels du tourisme et de la pêche, des autorités nationales et locales, des touristes, mais aussi auprès des écoles via des conférences et des sorties en mer. Chaque année, l'association accueille des éco-volontaires pour renforcer l'équipe sur le terrain et ainsi participer aux diverses missions que sont notamment la collecte de données, la photo-identification, ou encore l'organisation de conférences. Enfin, Megaptera promeut et encadre un écotourisme durable en sensibilisant le public à l'approche et au respect des mammifères marins, grâce à la mise en place de chartes d'approche expliquant les codes de bonne conduite et d'observation des cétacés.

En 2010, Megaptera a mis en place un projet de suivi des baleines à bosse de l'océan Indien occidental par balisage satellite, qui a été initié à Rodrigues. Malheureusement, les

conditions météorologiques et la faible abondance de baleine à bosse dans les eaux rodriguaises n'ont pas permis la réalisation du projet initial. La mission a donc été réitérée en 2011 et 2012.

## B. Objectifs du projet

Ce type d'étude n'avait jusqu'alors jamais été réalisé dans cette partie du globe ; cette étude constitue donc **le premier déploiement réussi de balises satellites sur des baleines à bosse dans le sanctuaire de l'océan Indien.**

Les objectifs principaux de ce projet sont :

- ✓ **étudier la migration annuelle** des baleines à bosse (*Megaptera novaeangliae*) depuis l'archipel des Comores (zone de reproduction du sanctuaire de l'océan Indien) vers leurs aires d'alimentation en Antarctique
- ✓ mettre en évidence les éventuels **déplacements entre les différents sites de reproduction** dans l'océan Indien occidental (Archipel des Comores, Seychelles, Madagascar, îles Mascareignes et côte est africaine)

Ce projet permettra en particulier de confirmer ou non l'utilisation des couloirs de migration déjà décrits, ou éventuellement d'en décrire des nouveaux. Il permettra également d'établir des zones d'étapes utilisées par les baleines à bosse durant leur migration, ou encore de calculer des vitesses de migration.

De nombreuses questions sont actuellement sans réponse : en combien de temps atteignent-elles ces zones exactement ? S'arrêtent-elles en chemin pour se reposer ou s'alimenter ? Les mâles suivent-ils les mêmes trajets migratoires que les femelles accompagnées de baleineaux ?

L'utilisation de balises satellitaires permet d'étudier les individus de manière dynamique, c'est pourquoi il s'agit de la méthode la plus adaptée à l'étude des mouvements des baleines à bosse.

Ce projet a été réalisé avec deux biologistes marins : le Dr Sabrina FOSSETTE (NOAA Southwest Fisheries Science Center, Environmental Research Division, Pacific Grove,

California 93950, USA), et le Dr Mads-Peter Heide- Jørgensen (Greenland Institute of Natural Resources, Bok 570, 3900 Nuuk, Greenland), avec Mikkel Villum Jensen, expert en conception de matériel scientifique et spécialiste en déploiement de balises sur les mammifères marins, et avec Nils Bertrand, directeur de Sea Blue Safari (opérateur touristique à Mayotte), pilote expérimenté dans l'approche des mammifères marins.

Cette étude a permis la réalisation de deux articles en biologie marine :

- ✓ *Fossette S, Heide-Jørgensen MP, Vély M, Jensen, MV, Bertrand N. (2012) A First description of humpback whale (Megaptera novaeangliae) movements between breeding grounds in the Indian Ocean Whale Sanctuary. Paper SC/64/SH3 presented to the Scientific Committee of the International Whaling Commission.*
  
- ✓ *Fossette S, Heide-Jørgensen MP, Jensen MV, Kiszka J, Bertrand N, Vély M. Humpback whale (Megaptera novaeangliae) post-breeding dispersal and southward migration in the western Indian Ocean Whale Sanctuary. Submitted to Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.*

## II. MATERIEL ET METHODES

### A. Aires d'étude et approche des baleines

Dans l'archipel des Comores, la période de reproduction se termine autour du mois d'octobre ; c'est en effet à cette période que l'on observe les dernières baleines entamer leur migration vers les eaux froides du sud. Ainsi le choix de déployer les balises en fin de saison de reproduction permet de maximiser les chances de pouvoir suivre les baleines durant leur voyage vers l'Antarctique.

La recherche des baleines et le déploiement des balises s'est faite à bord d'un bateau semi-rigide (type Zodiac®) de 7 mètres de long, autour de l'île de Mohéli (archipel des Comores) entre le 11 et le 14 octobre 2011 et entre le 16 et le 20 octobre 2012, ainsi que dans les eaux

de Mayotte les 11, 12 et 21 octobre 2012. Toutes les balises ont donc été déployées dans l'aire de reproduction C2 (voir Partie 1, II.A.2. page 27).

Lorsqu'une baleine à bosse est repérée, son comportement et sa trajectoire sont analysés. L'objectif est **d'anticiper** sa prochaine réapparition en surface afin de positionner le bateau à environ cinq mètres d'elle dans son **trois-quarts arrière**.

## B. Implantation des balises

Les balises sont implantées uniquement sur des baleines à bosse **adultes**.

Toutes les balises déployées sont des balises Argos et elles ont été spécialement conçues pour être déployées sur des mammifères marins. Deux types différents ont été utilisés :

- ✓ balises **SPOT 5** (Figure 16), Wildlife Computers, USA, cylindriques de 10 cm de long sur 2 cm de diamètre. Elles permettent d'enregistrer et de transmettre la position de l'animal en mer via le système ARGOS (la localisation de l'animal est établie avec une précision variant de 150m à 1km).
- ✓ balises **SPLASH**, Wildlife Computers, USA, 53×35×23cm, (MK10A) permettant d'obtenir en plus de la position géographique de l'animal, des informations sur la profondeur de plongée de la baleine et la température de l'eau.

Toutes les balises ont été équipées d'une flèche munie de barbillons (le tout en acier chirurgical) afin d'optimiser la fixation de la balise dans la couche graisseuse de l'animal.

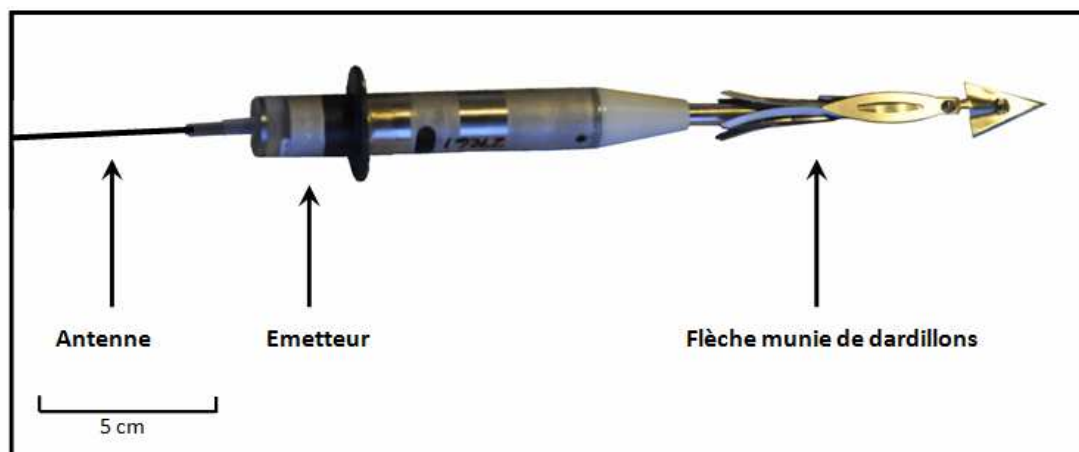


Figure 16 : Balise SPOT 5

Le déploiement des balises a été effectué de deux façons différentes :

- à l'aide **d'un fusil à air comprimé** « ARTS » : Air Rocket Transmitter System, à une distance d'environ 6 mètres de l'animal avec une pression de 11 à 14 bars (selon la technique mise au point par Heide-Jorgensen et al. (2001)) (*Figure 17*) ; la balise est insérée dans un « guide » en plastique (*Figure 18*) conçu pour pouvoir être lui-même inséré dans le canon du fusil ; le guide est lubrifié à l'aide d'un spray de silicone pour éviter tout frottement avec la paroi du canon lors du tir
- à l'aide d'une **perche de 8 mètres de long en fibre de verre** qui nécessite d'être placé à 4-5 mètres de la baleine (technique décrite par Heide-Jørgensen et al. (2003)) ; la balise est fixée au bout de cette perche et s'en décroche une fois implantée dans la couche graisseuse de la baleine.

L'utilisation de l'une ou l'autre technique dépend surtout du modèle de la balise : les balises SPLASH ont été implantées avec la perche, et les SPOT 5 avec le fusil.

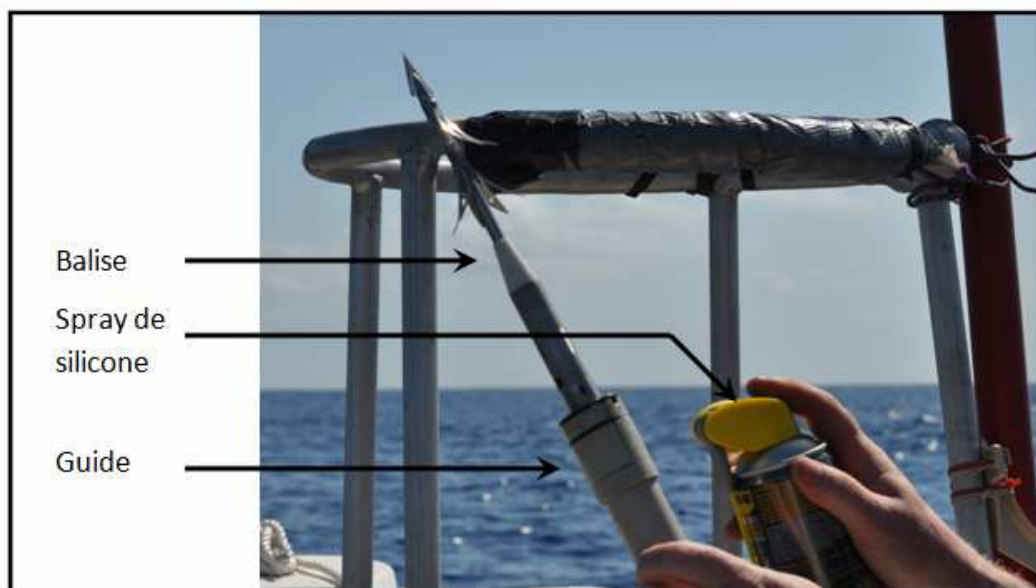
Ces deux techniques sont couramment utilisées depuis près de 15 ans pour le déploiement de balises sur plusieurs espèces de baleines. Elles ont déjà été utilisées avec succès sur les baleines à bosse par d'autres équipes de recherche (Zerbini et al. 2006, Heide-Jorgensen & Laidre 2007, Dalla Rosa et al. 2008).

Les balises sont implantées dans la **couche graisseuse** de l'animal sur son flanc droit ou gauche, légèrement devant l'aileron dorsal et généralement à moins de 2 m de la ligne médiane du corps (*Figure 19*). Ce positionnement est important car il permet à la balise d'être **émergée** à chaque fois que la baleine fait surface pour respirer, ce qui est nécessaire pour qu'elle puisse émettre (chaque balise est équipée d'un « interrupteur à l'eau de mer », c'est-à-dire un capteur qui détecte les moments durant lesquels la balise est hors de l'eau et doit donc transmettre au satellite). Notons que la balise est munie d'une extension circulaire

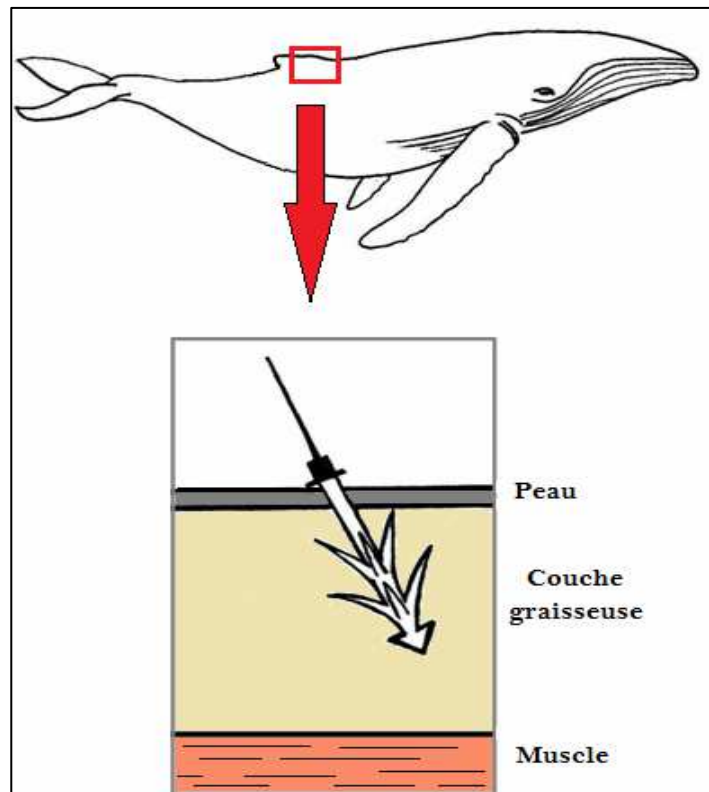
dans sa partie distale qui permet de contrôler la profondeur d'implantation et ainsi maintenir le récepteur et l'antenne à la surface de la peau.



*Figure 17 : Déploiement d'une balise satellitaire sur une baleine à bosse à Mohéli à l'aide d'un fusil à air comprimé « ARTS » (Caroline KOHL)*



*Figure 18 : Positionnement de la balise dans le guide et lubrification de celui-ci pour un déploiement optimal (Caroline KOHL)*



*Figure 19 : Implantation d'une balise satellite sur une baleine à bosse*

## A. Prélèvement des biopsies

Lorsque la balise est déployée avec le fusil à air comprimé, la biopsie est prélevée à l'aide d'une arbalète ; ceci nécessite donc un deuxième intervenant ou une deuxième approche de l'animal. Au contraire, lorsque c'est la technique de la perche qui est utilisée pour le déploiement de la balise, la biopsie est réalisée simultanément puisque la perche est équipée d'un cylindre métallique à son extrémité, permettant de prélever du tissu.

## B. Traitement et analyses des données récoltées grâce aux balises

Les messages émis par chaque balise sont identifiés individuellement par les satellites avant d'être transmis aux centres de traitement Argos-CLS où la position de la balise est calculée à partir de mesures de l'effet Doppler (voir Partie 1, IV.C.1. pages 47 et 48).

La précision des positions est estimée en fonction de la quantité et de la qualité des informations reçues par les satellites, et un traitement automatique informatisé classe ces positions en fonction de leur degré d'exactitude dans un des 6 rangs A, B, 0, 1, 2, 3 (classés ici dans l'ordre croissant de précision). La classe 3 regroupe les positions les plus précises : l'erreur de positionnement pour cette classe est inférieure à 150 mètres. Cette erreur est inférieure à 350 mètres pour la classe 2, et inférieure à 1000 mètres pour la classe 1. Le système Argos ne fournit pas les marges d'erreur (encore plus importantes que celles de la classe 1) pour les classes 0, A et B.

Puis les données sont téléchargées quotidiennement sur le site internet [www.seaturtle.org](http://www.seaturtle.org) et filtrées grâce au logiciel STAT (<http://www.seaturtle.org/stat/>). Ce filtre utilise la vitesse de l'animal comme critère de sélection : lorsque les vitesses de déplacement des baleines sont irréalistes (c'est-à-dire supérieures à 12 km/h qui est la vitesse maximum rapportée chez la baleine à bosse), les localisations calculées à partir de ces données sont supprimées. Les localisations finalement obtenues sont ensuite reportées sur une carte afin de reconstruire le voyage de chaque individu. Afin de calculer au mieux des distances et des vitesses pour chaque baleine, seule la position ayant le plus haut degré d'exactitude par tranche de 24 heures est sélectionnée, pour ne garder qu'une seule position journalière.

### III. RESULTATS

#### A. Analyse génétique des biopsies et sexage des individus

Les échantillons de peau prélevés sur les baleines à bosse équipées de balises en octobre 2011 et octobre 2012 seront utilisés pour déterminer le sexe et l'origine de chaque individu (voir Partie 1, IV.B.2. page 46). Ils seront traités par le Dr Rosenbaum (Muséum d'Histoire

Naturelle de New York), responsable des études génétiques sur les baleines à bosse de l'océan Indien.

Etant donné le coût important de cette analyse, elle n'est réalisée que lorsqu'une quantité suffisante d'échantillons est atteinte. Les résultats ne sont donc pas encore disponibles à l'heure actuelle.

## B. Déploiements

Au total, **11 balises ont été déployées** sur des baleines à bosse adultes, dont **8 qui ont émis** :

- en octobre 2011, 5 balises ont été déployées mais seulement 3 ont fonctionné
- en octobre 2012, 6 balises ont été déployées et 5 ont fonctionné

Chaque déploiement est détaillé dans les *Annexes 1 à 9*. Les principales données sont résumées dans le *Tableau II*.

Parmi les 11 baleines appareillées, 7 sont considérées comme étant des femelles (car elles étaient accompagnées d'un baleineau) et les 5 autres sont de sexe non-défini :

- **Mongomé, Nduju, Leïa, Caribou, Inaïa**, ainsi que les baleines équipées des balises **n°37236** et **n°20157** étaient chacune accompagnées d'un jeune baleineau. Elles sont donc considérées comme des **femelles**. Inaïa était également accompagnée d'une escorte de sexe non-défini, également marquée (**Exagone**).
- **Odin** faisait partie d'un groupe de 2 adultes naviguant ensemble ; son sexe n'a donc pas pu être déterminé.
- **Teria** et **Sea Blue** faisaient partie d'un groupe de quatre individus naviguant vers le sud le long de la côte ouest de Mayotte. Leur sexe n'est donc pas connu.

Les 8 baleines équipées de balises qui ont fonctionné ont pu être **suivies sur une durée moyenne de 24,3 ± 12,4 jours** (de 8 à 49 jours).

La **distance moyenne parcourue** pour ces 8 baleines est de **1661 ± 2027 km** (de 146 à 5804 km).

La **vitesse moyenne** de déplacement de ces 8 baleines est de **56,2 ± 42,3 km/jour** (vitesses moyennes individuelles comprises entre 8,1 et 118 km/jour).

Malheureusement, les informations concernant les profondeurs de plongée et la température de l'eau, relevées par les balises SPLASH, n'ont pas été suffisantes pour pouvoir être exploitées.

***Tableau II** : Balises déployées sur des baleines à bosse autour de l'île de Mayotte et de Mohéli (archipel des Comores) en octobre 2011 et octobre 2012*

<b>Numéro d'ID</b>	<b>Sexe</b>	<b>Type de balise</b>	<b>Date d'implantation</b>	<b>Coordonnées GPS d'implantation</b>	<b>Durée d'émission (en jours)</b>	<b>Distance parcourue (km)</b>	<b>Vitesse moyenne (km/h)</b>	<b>Vitesse moyenne (km/j)</b>
22851 <b>Odin</b>	Non déterminé	SPOT 5	11 octobre 2011	Mohéli S 12°24'29,4 E 43°36'38,7	28	744	0,91 (± 1,77)	26,2 (± 40,0)
33000 <b>Nduju</b>	Femelle*	SPOT 5	12 octobre 2011	Mohéli S 12°24'43,3 E 43°37'15,9	18	139	0,40 (± 0,17)	9,6 (± 4,1)
37236	Femelle*	SPOT 5	11 octobre 2011	Mohéli S 12°24'43,3 E 43°37'15,9	0	-	-	-
20157	Femelle*	SPLASH	13 octobre 2011	Mohéli S 12°26'33,7 E 43°19'44,3	0	-	-	-
20690 <b>Mongomé</b>	Femelle	SPLASH	14 octobre 2011	Mohéli S 12°27'45,0 E 43°43'23,2	8	535	2,66 (± 1,33)	66,9 (± 31,9)
27261 <b>Inaïa</b>	Femelle*	SPOT 5	11 octobre 2012	Mayotte S 12°57'20,3" E 44°55'41,0"	18	471	1,09 (± 0,73)	26,2 (± 17,6)
27262 <b>Exagone</b>	Non déterminé (mâle escorte ?)	SPOT 5	11 octobre 2012	Mayotte S 12°59'43,9" E 44°54'29,6"	20	457	0,95 (± 0,75)	22,9 (± 17,9)
37227 <b>Leïa</b>	Femelle*	SPOT 5	12 octobre 2012	Mayotte S 12°59'00,0" E 44°14'00,0"	20	1434	2,99 (± 1,85)	71,7 (±44,5)
37228 <b>Caribou</b>	Femelle*	SPOT 5	18 octobre 2012	Mohéli S 12°26'05,1" E 43-37'24,4"	0	-	-	-
37235 <b>Teria</b>	Non déterminé	SPOT 5	21 octobre 2012	Mayotte S 12°49'16,4" E 44°56'21,6"	49	5801	4,93 (± 2,27)	118,4 (± 54,6)
37278	Non	SPOT 5	21 octobre	Mayotte	33	3713	4,69	112,5

<b>Sea blue</b>	déterminé		2012	S12°49'16,4" E 44°56'21,6"			(± 2,63)	(± 63,1)
-----------------	-----------	--	------	-------------------------------	--	--	----------	----------

\* considérée comme femelle car accompagnée par un jeune baleineau

## C. Parcours des baleines marquées

### 1. *Odin*

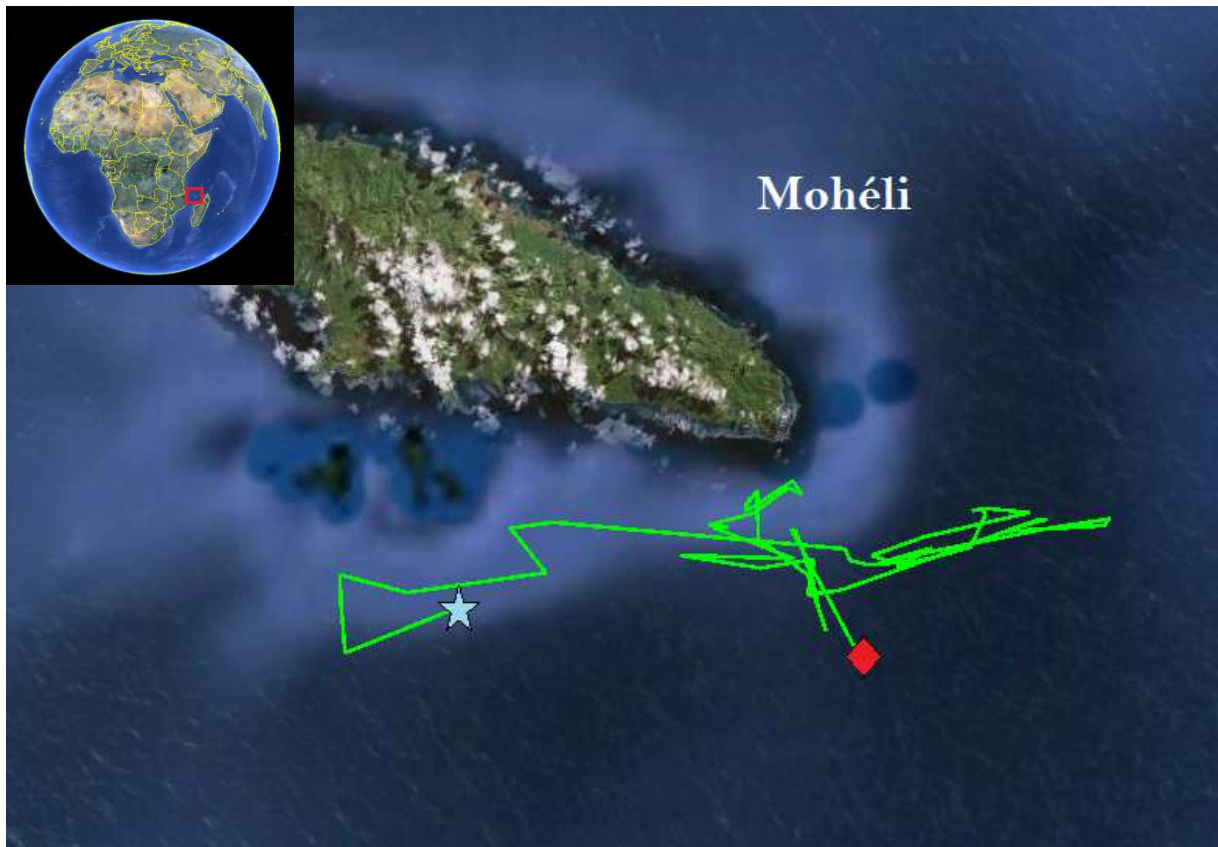
**Odin** n'a transmis aucune position durant les 6 jours qui ont suivi le déploiement de la balise. Sa première position a été enregistrée à 70 km de la côte ouest de Madagascar (à 641 km au sud de la zone de déploiement à Mohéli), qu'elle a atteint avec une moyenne de 107 km/jour. Son parcours a pu ensuite être suivi pendant 22 jours : elle est restée 14 jours dans les eaux côtières de l'ouest de Madagascar avec des déplacements moyens de 4,1 km/jour, puis elle a rejoint le canal du Mozambique à cette même vitesse. La dernière position enregistrée était à environ 170 km à l'ouest des côtes de Madagascar (*Figure 20*).



*Figure 20 : Parcours d'Odin (la partie en pointillés correspond au parcours supposé lors des 6 premiers jours sans émission, l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée)*

### 1. Nduju

**Nduju** a pu être suivie pendant environ 3 semaines ; durant toute cette période, elle est restée au sud de Mohéli, essentiellement au niveau du plateau continental dont la profondeur n'excède pas 250 mètres. Elle s'est déplacée à une vitesse moyenne de 9,6 km/jour. Elle séjournait encore dans les eaux côtières de Mohéli (à environ 10 km des côtes) lorsque la balise a cessé d'émettre (*Figure 21*).



*Figure 21 : Parcours de Nduju (l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée)*

## 2. Mongomé

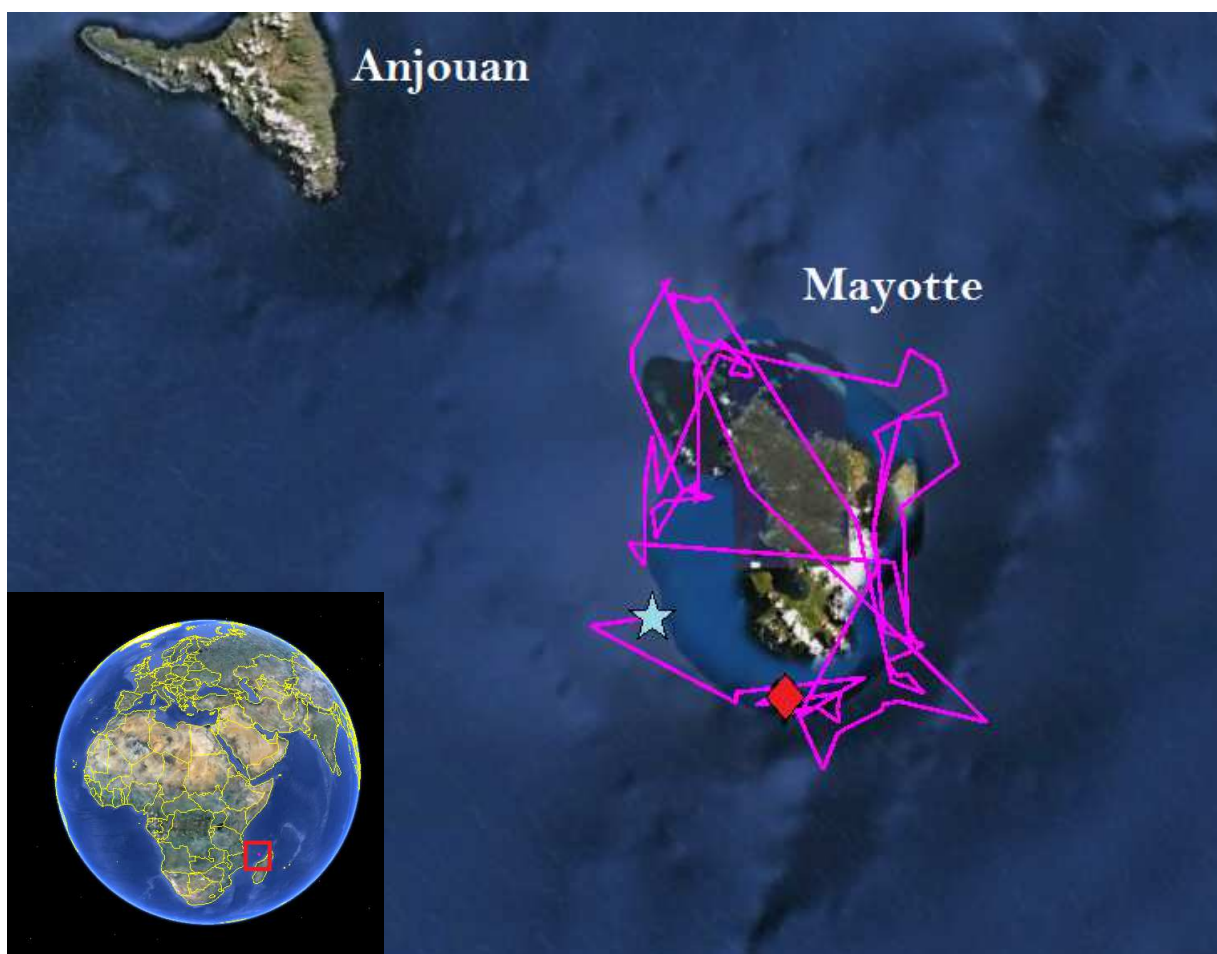
**Mongomé** a passé 3 jours autour de l'île de Mohéli avant de se rapprocher de l'île d'Anjouan (une autre île de l'archipel des Comores) avec une vitesse moyenne de 25,6 km/jour. Aucune position n'a ensuite été enregistrée pendant 3 jours, puis la baleine a pu être de nouveau positionnée à une centaine de kilomètres de la côte nord-ouest de Madagascar (à côté de la réserve naturelle d'Anjajavy) qu'elle a rejoint en naviguant à une vitesse moyenne de 103 km/jour. Il est possible qu'elle soit passée par l'île de Mayotte durant sa traversée. Elle a séjourné plusieurs heures dans les eaux côtières de Madagascar en se déplaçant à une vitesse de 82 km/jour, puis la balise a cessé d'émettre (*Figure 22*).



*Figure 22 : Parcours de Mongomé (l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée ; les pointillés indiquent la route supposée de Mongomé durant les 3 jours sans émission)*

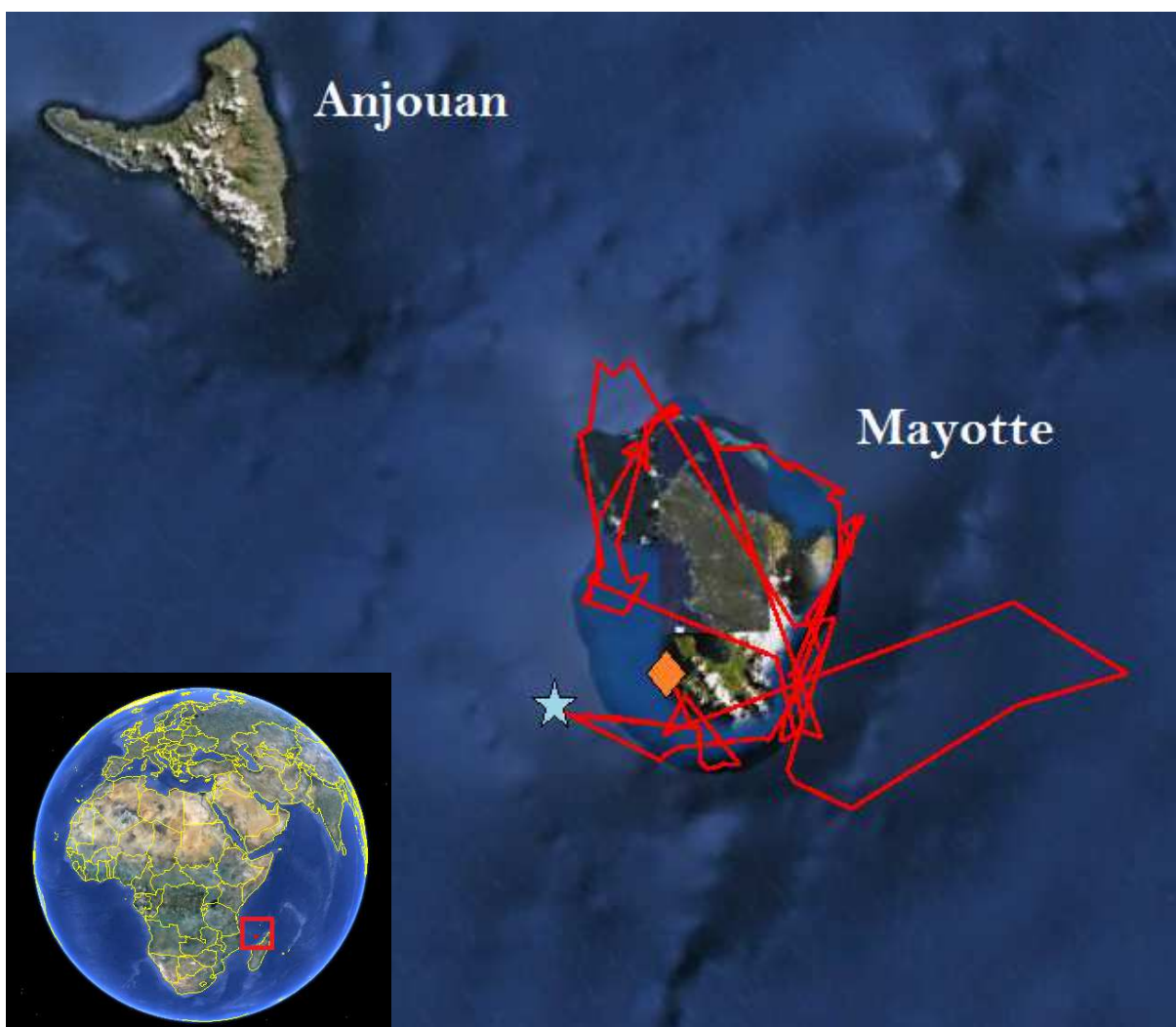
### 3. Inaïa et Exagone

**Inaïa** et **Exagone** ont présenté à peu près la même trajectoire durant la période de suivi, elles ont donc navigué ensemble durant la majorité du temps. Elles sont restées autour de Mayotte durant la totalité de cette période, toujours proche des côtes (souvent à l'intérieur du lagon ou sur des zones de hauts fonds comme le banc de l'Iris). **Exagone** s'est un peu plus éloignée de l'île, au maximum à 55 km des côtes (*Figure 23* et *Figure 24*). **Inaïa** s'est déplacée à une vitesse moyenne de 26,2 km/j, et **Exagone** à une vitesse moyenne de 22,9 km/j.



*Figure 23 : Parcours d'Inaïa (l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée)*

Notons que ces cartes sont établies en reliant des points les uns aux autres, points qui correspondent aux positions successives enregistrées grâce aux balises. Ceci explique les tracés parfois étranges observés notamment sur la *Figure 23* et la *Figure 24* qui portent à croire que les baleines passent sur l'île. En réalité elles en font bien le tour.



*Figure 24 : Parcours d'Exagone (l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée)*

#### 4. *Leïa*

**Leïa** est restée 2 jours autour de Mayotte puis a rejoint la côte ouest de Madagascar à une vitesse de 114 km/jour, au niveau de la baie de Mahajanga. Elle a longé cette côte pour atteindre la pointe nord de l'île, et est redescendue le long de la côte est de Madagascar à une vitesse de 70,7 km/jour. La dernière localisation enregistrée est au large de la baie d'Antongil (à 90 km de la côte est de Madagascar).



Figure 25 : Parcours de Leïa (l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée)

## 5. *Teria*

**Teria** et **Sea Blue** ont immédiatement entamé leur migration. Elles naviguaient d'ailleurs déjà en direction du sud lors du déploiement des balises. **Teria** a rejoint la côte ouest de Madagascar en 2 jours, au niveau du cap Saint André, à une vitesse de 170 km/j. Elle a ensuite longé cette côte pendant 6 jours à une vitesse de 155 km/j, toujours en direction du sud, en se rapprochant encore plus des terres au niveau du cap Saint Vincent jusqu'à Tuléar, où elle a alors quitté la côte pour continuer sa route vers le sud (*Figure 26*). Elle a gardé cette trajectoire pendant 4 jours en longeant le plateau sous-marin du sud de Madagascar, puis la balise est restée silencieuse pendant 13 jours.



*Figure 26 : Parcours de Teria (l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée ; les pointillés indiquent la route supposée de Teria durant les 3 jours sans émission)*

Elle a recommencé à émettre le 16 novembre : **Teria** était alors à 2060 km de la pointe sud de Madagascar, et à 1580 km de la côte Africaine (durant ces 13 jours, elle s'est donc déplacée à une vitesse moyenne de 126 km/jour).

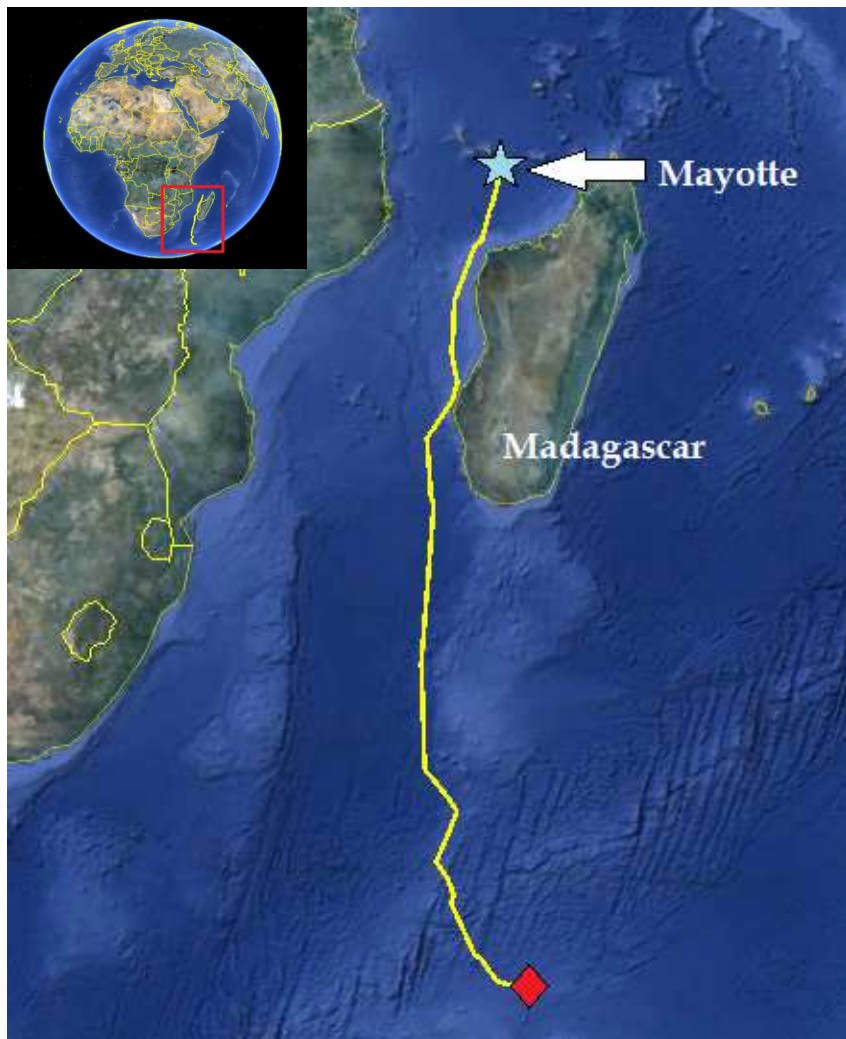
Puis sa vitesse de navigation a diminué (en moyenne 46 km/j) et sa trajectoire s'est orientée légèrement vers l'ouest. Durant 24h (entre le 18 et le 19 novembre) **Teria** ne s'est presque pas déplacée (on enregistre une vitesse moyenne de 3 km/j). Sa vitesse a ensuite augmenté progressivement pour atteindre une vitesse moyenne de 123 km/j, tout en conservant sa trajectoire sud-ouest. La balise a de nouveau cessé d'émettre durant 4 jours (entre le 30 novembre et le 5 janvier) puis **Teria** a considérablement réduit sa vitesse durant les 2 derniers jours d'émission (26 km/j en moyenne). La dernière position enregistrée situe **Teria** à environ 1200 km des côtes Antarctiques, elle a atteint l'océan austral.

## 6. *Sea Blue*

Il semblerait que **Sea Blue** ait navigué avec **Teria** pendant au moins 3 jours. Elles ont suivi la même trajectoire jusqu'au cap Saint Vincent. Puis **Sea Blue** a continué sa route vers le sud mais en s'éloignant des terres (contrairement à **Teria** qui est restée très proche de la côte) : elle a pris une trajectoire parallèle à la côte ouest de Madagascar (à environ 140 km de la côte) puis a continué en longeant le plateau sous-marin situé au sud de l'île (*Figure 27*).

Les tracés des deux baleines ont été à peu près semblables jusqu'à 1000 km du cap Sainte Marie (pointe sud de Madagascar), **Sea Blue** se déplaçait alors à une vitesse moyenne de 127 km/j (vitesse similaire à celle de **Teria** à la même période). Notons que pendant 24h (entre le 6 et le 7 novembre), **Sea Blue** est restée quasiment immobile : elle s'est déplacée en moyenne à 2 km/j.

Puis elle a légèrement dévié sa trajectoire vers l'est ; elle a pris petit à petit la direction des Iles Crozet. Sa vitesse a également diminué (en moyenne 92 km/j). Pendant 2 jours (entre le 19 et le 21 novembre), les très faibles vitesses enregistrées (en moyenne 1,7 km/j) supposent une recherche et/ou une prise de nourriture. De même lors des dernières 24h, les vitesses enregistrées sont de l'ordre de 0,8 km/j. Sa dernière position est située à environ 350 km au nord-ouest des Iles Crozet.



*Figure 27 : Parcours de Sea Blue (l'étoile bleue indique le point de déploiement de la balise et le losange rouge indique la dernière localisation enregistrée)*



## IV. DISCUSSION

### A. Réactions observées lors du déploiement

#### *1. Approche des baleines*

L'approche de la baleine est une étape cruciale puisqu'elle conditionne le déploiement de la balise ; la trajectoire de l'animal ciblé est anticipée au maximum par le pilote afin de se positionner au mieux. L'utilisation d'un bateau type Zodiac® est donc idéale car il permet une **excellente maniabilité**. De plus la **luminosité** doit être prise en compte : lorsqu'elle est bonne, les baleines sont plus aisément visibles par transparence sous l'eau et ainsi plus faciles à suivre pendant leurs plongées. Ainsi les déploiements ont été réalisés en **milieu de journée** (lorsque le soleil est au zénith), période la plus favorable que le matin ou la fin de journée (heures durant lesquelles le soleil est rasant).

D'une manière générale, les baleines ont manifesté **peu de réactions** lors des déploiements des balises, et aucun signe d'agressivité vis-à-vis de du bateau n'a été observé. On note tout de même des changements de comportement lors des approches (généralement un simple comportement de fuite est observé), qui semblent être dus au dérangement causé par le bruit des moteurs. Cependant, le stress engendré par l'approche du Zodiac® est minimisé puisque les balises ont été déployées dans un temps très court, ce qui limite considérablement la gêne infligée aux animaux. Il est possible de réduire le bruit engendré en diminuant la vitesse du Zodiac® lors de l'approche, mais au prix d'une moins bonne réactivité et maniabilité. Le dosage de cette vitesse est subtil : celle-ci doit être suffisamment élevée pour assurer une bonne position du Zodiac® par rapport à la baleine lors de ses remontées en surface (qui sont brèves), mais pas trop élevée afin de ne pas faire fuir immédiatement l'animal.

#### *2. Lors de l'implantation de la balise*

Concernant l'implantation de la flèche, il semblerait que la **douleur** soit **minime**. Il est certain qu'évaluer la douleur chez ces animaux est extrêmement difficile. Seules les réactions observables depuis la surface peuvent être prises en compte. Les calculs de score de douleur établis notamment chez les mammifères domestiques incluent de nombreux paramètres comme la fréquence cardiaque et respiratoire, les vocalises, l'adoption de positions particulières dites « antalgiques », paramètres non mesurables chez les baleines à bosse. L'absence de réaction de leur part lors de l'implantation peut-être expliquée par le fait que la baleine possède une couche graisseuse très épaisse (entre 20 et 30 cm) et que, proportionnellement à leur taille, la balise est très petite. La flèche n'atteignant pas le muscle, elle s'implante dans la couche graisseuse dans laquelle les nocicepteurs (récepteurs à la douleur) sont très peu présents, contrairement au muscle. En revanche la peau, très riche en nocicepteurs, est elle aussi traversée, ce qui peut expliquer les rares réactions observées au moment de l'impact. Seul un groupe de baleines a été plus sensible au déploiement ; il s'agit du groupe de 4 adultes au sein duquel évoluaient les baleines **Teria** et **Sea Blue** (marquées à Mayotte en octobre 2012). Lors de l'approche du bateau, les 4 individus ont accéléré, changé plusieurs fois de direction et ont augmenté la fréquence de plongée. La première balise a été déployée très rapidement sur une baleine qui n'a manifesté aucune réaction à l'implantation. La deuxième balise a été déployée tout de suite après sur un autre individu du groupe : celle-ci a immédiatement plongé et frappé avec sa nageoire caudale hors de l'eau. Cette réaction semble plutôt attribuable aux approches répétées du Zodiac® au sein du groupe, mais il n'est pas exclu que cette baleine ait ressenti l'implantation de la flèche. Puis le groupe s'est scindé en deux groupes de deux individus. Les baleines ont alors semblé plus agitées et bien moins coopératives pour les prélèvements des biopsies ; elles ont tourné en rond pour échapper aux approches du bateau. Une réaction similaire a été notée pour **Odin**, mais de façon beaucoup plus discrète.

## B. Durées d'émission des balises

En comparant les chiffres de cette étude avec ceux d'autres études similaires réalisées sur des baleines à bosse, on note d'une façon générale une très grande variabilité dans les

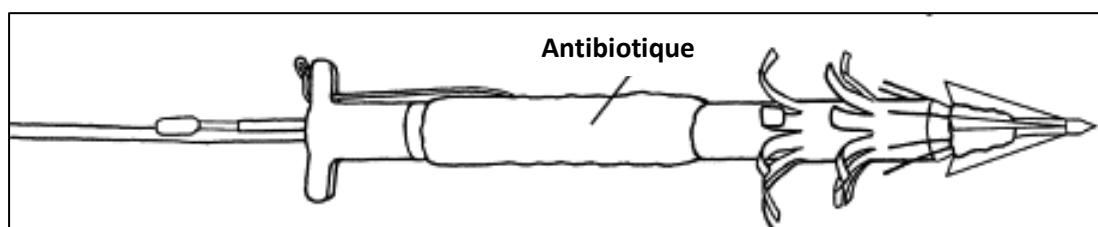
longévités des balises : de moins d'un jour dans l'océan Pacifique nord (Mate *et al.*, 1998), à plus de 200 jours dans l'océan Atlantique sud (Zerbini *et al.* 2006). Mais, en moyenne, la majorité des balises déployées dans le monde sur des baleines à bosse émet autour de 20 jours ; certaines émettent entre 20 et 60 jours, et dans de rares cas, on constate des durées d'émission allant de 80 jours à un an.

La durée moyenne d'émission de cette étude étant de 24,3 jours (de 8 à 49 jours), elle est tout à fait similaire aux valeurs retrouvées dans la littérature concernant les baleines à bosse. En revanche, **cette longévité est souvent plus grande chez d'autres espèces de mammifères marins** ayant été équipé de balises semblables. C'est le cas notamment pour les baleines boréales, chez qui certains émetteurs ont transmis des positions sur des durées allant jusqu'à 7 mois (Dueck *et al.*, 2006 ; Heide-Jorgensen *et al.*, 2006), ou encore chez les baleines franches (certaines ont ainsi pu ainsi être suivies pendant plus de 160 jours d'après Childerhouse *et al.*, 2010). Pour expliquer cette différence de longévité des balises entre les baleines à bosse et les autres espèces, il convient de comprendre les différents mécanismes qui aboutissent à l'arrêt du signal.

### 1. Décrochage de la balise

La cessation ou l'interruption de transmission des balises satellites dans les environnements marins peuvent être attribuées à différents facteurs (Hays *et al.*, 2007). L'hypothèse principale est un **décrochage de la balise** : celle-ci coule au fond de l'océan et est alors immergée, rendant l'émission impossible. Notons qu'il est donc important de s'assurer de la bonne implantation de la balise (une bonne implantation limite le risque de décrochage de la balise dans les heures qui suivent le déploiement) ; des contrôles photographiques ont donc systématiquement été réalisés pour chaque baleine durant l'étude (*Annexe 9Annexe*). Mais malgré une bonne implantation initiale de la balise, **le comportement des baleines à bosse favorise le décrochage des balises** : elles sont en effet réputées pour leurs acrobaties surtout pendant la période de reproduction. On observe beaucoup de sauts chez cette espèce, ce comportement étant nettement plus rare chez les autres baleines. Il est certain que les chocs répétés à la surface de l'eau fragilisent fortement les balises. D'autres comportements des baleines à bosse, comme les frottements au sol ou entre individus, peuvent participer à leur fragilisation ou même les décrocher. Pour assurer un meilleur

ancrage de la balise sur l'animal, une **implantation plus profonde grasseuse et musculaire** (et non uniquement grasseuse) de la balise sur l'animal pourrait être envisagée ; bien que l'implantation uniquement grasseuse semble être, à première vue, moins invasive et moins nuisible pour la baleine, l'implantation musculaire présente de nombreux avantages (Mate *et al.*, 2007) . En effet, les fibres de collagène présentes dans la couche grasseuse sont bien moins organisées que dans le muscle et se réorganisent facilement lors des tensions créées par l'implantation du matériel de marquage, aboutissant souvent à une nécrose et à un ancrage médiocre de la balise. Notons également qu'une implantation profonde permet d'atteindre le fascia présent entre le gras et le muscle, structure qui présente une grande résistance. En outre, les infections au site d'implantation sont certainement une cause importante de décrochage des balises ; or l'importante vascularisation des muscles permet une meilleure mise en place des défenses immunitaires grâce à la mobilisation plus rapide et plus intense des globules blancs dans le muscle que dans la graisse. Pour limiter ce risque d'infection, **l'ajout d'une couche d'antibiotiques** de large-spectre autour de l'implant peut être intéressant (*Figure 28*), comme décrit par Mate *et al.*, 2007. A partir des années 2000, certaines balises ont en effet été recouvertes d'une substance composée de 2,5 g de gentamicine et de poudre de méthacrylate permettant une dispersion longue durée de l'antibiotique (sur plusieurs mois). La gentamicine semble bien adaptée à cette utilisation car elle est particulièrement efficace sur les bacilles à Gram-négatif, bactéries souvent rencontrées lors des infections en milieu marin. Outre son pouvoir antibactérien, l'enduit antibiotique a également une fonction de lubrification afin de minimiser les frottements lors de l'implantation de la balise. L'application d'un **spray antiseptique** (Dueck *et al.*, 2006 ) ainsi que d'une **pommade antibiotique** sur le matériel destiné à pénétrer la peau et la couche grasseuse de la baleine peut également limiter le risque d'infection locale.



*Figure 28 : Ajout d'une couche d'antibiotique à longue dispersion autour du corps de la balise (Mate et al., 2007)*

Enfin, l'utilisation de **titane** à la place de l'acier chirurgical peut être envisagée pour une meilleure tolérance, puisqu'il est considéré comme un des métaux les plus biocompatibles, c'est-à-dire n'interférant pas et ne dégradant pas le milieu biologique dans lequel il est utilisé.

## *2. Autres causes possible concernant l'interruption d'émission*

Une **défaillance technique** de la balise est également possible : le transmetteur peut être endommagé, notamment au niveau de l'antenne car celle-ci est très fragile et très exposée. Ici encore le comportement très acrobate des baleines à bosse augmente le risque de dommages.

Un épuisement de la batterie est peu probable car celle-ci est conçue pour fonctionner plus de 14 mois.

Concernant les interruptions temporaires d'émission observées par exemple sur **Teria** (dont la balise est restée silencieuse durant 13 jours), l'hypothèse la plus plausible est le « **bio-fouling** » (Hays et al., 2007), c'est-à-dire l'incrustation de matériel vivant sur l'interrupteur à l'eau de mer de la balise. Il s'agit la plupart du temps de coquillages (notamment de balanes) ou d'algues. L'interruption peut alors durer plusieurs jours voire plusieurs semaines, jusqu'à ce que les coquillages ou les algues se décrochent ; la balise peut ensuite recommencer à émettre à condition qu'elle n'ait pas été endommagée. L'application de **peinture antifouling** (peinture contenant des substances biocides) permet de réduire la fixation d'organismes vivants sur l'interrupteur, et donc de maximiser la durée d'émission.

## C. Migration tardive observée pour certains individus

Comme décrit dans la littérature, les couples « mère-baleineau » semblent entamer leur migration plus tard que les mâles. Lors du déploiement, **Nduju** était accompagnée d'un jeune baleineau, ceci peut expliquer qu'elle soit restée dans les eaux de Mohéli durant toute la période de suivi. Il est en effet possible qu'elle ait attendu que son baleineau soit en mesure d'amorcer son voyage vers l'Antarctique avant d'initier sa migration. La présence de son baleineau peut également expliquer qu'elle se soit déplacée lentement durant ces trois semaines (en moyenne à 8 km/jour).

De même pour **Inaïa** qui est restée autour de Mayotte durant les 18 jours. Elle était également accompagnée d'un très jeune baleineau (sa taille ne dépassait pas les 3,5 – 4 mètres, il présentait une coloration grise, et son aileron était encore penché), ce qui peut expliquer qu'elle ait également attendu avant de prendre la direction du sud. Lors du déploiement de sa balise, elle était accompagnée par une escorte (**Exagone**) qui elle aussi est restée dans les eaux mahoraises. Les deux adultes sont donc restés ensemble durant pratiquement toute la période de suivi.

Seule **Leïa** a quitté l'aire de reproduction plus tôt que les autres femelles : elle est restée autour de Mayotte durant seulement deux jours avant de rejoindre Madagascar. Mais ceci peut être expliqué par le fait que son baleineau était certainement plus apte à naviguer au moment du déploiement : il présentait en effet une couleur assez foncée, sa taille avoisinait les 5 mètres, il était donc probablement déjà âgé de plusieurs mois.

## D. Haltes durant la migration et échanges entre les régions

### C2 et C3

Cinq individus se sont arrêtés dans les eaux côtières de l'ouest de Madagascar quelques jours après avoir entamé leur migration ; cette zone semble donc avoir une réelle importance durant la migration des baleines à bosse de l'océan Indien occidental. C'est le cas notamment de **Leïa** et **Mongomé** qui sont des femelles accompagnées de leur baleineau respectif : on peut supposer que ces haltes permettent aux petits de se reposer durant le voyage migratoire. D'ailleurs **Mongomé** a certainement fait d'autres haltes puisqu'il semblerait qu'elle soit passée par les îles d'Anjouan et de Mayotte avant d'atteindre

Madagascar. **Odin**, **Teria** et **Sea Blue** se sont également arrêtés au niveau de la côte ouest de Madagascar, mais on ne connaît pas leur sexe. **Odin** faisant partie d'un groupe de deux individus, et **Teria** et **Sea Blue** d'un groupe de quatre individus. Or il est connu chez d'autres espèces, notamment les tortues marines, que les mâles visitent différents groupes ou différentes zones durant une même saison de reproduction (Wright *et al.*, 2012) ; il est donc envisageable que ces trois baleines soient des mâles ayant visité une autre aire potentielle de reproduction après avoir quitté l'archipel des Comores. Cependant, comme décrit dans la première partie, seule la partie sud de la côte ouest de Madagascar (c'est-à-dire autour de Tuléar et Anakao) est considérée comme appartenant à l'aire de reproduction C3. Mais les limites exactes de C3 sont mal établies, il est possible que les baleines à bosse soient également présentes plus au nord le long la côte ouest. De même il est possible qu'une sous-population se crée temporairement le long de cette côte pendant la migration si, comme nous le supposons, la majorité des baleines y transite durant cette période. **Ces observations suggèrent donc que les baleines à bosse visitent les deux sous-régions C2 et C3 durant la même saison de reproduction.** Les résultats sont encore plus probants avec le cas de **Leïa** : après avoir été équipée de sa balise dans les eaux mahoraises (aire de reproduction C2), elle a clairement rejoint la côte est de Madagascar (aire C3). Ce résultat est très intéressant puisqu'il renforce ceux obtenus durant les années précédentes concernant un **échange entre les aires de reproduction C2 et C3** (Ersts *et al.*, 2006 ; Ersts *et al.*, 2011a ; Pomilla and Rosenbaum, 2006). En effet, **Leïa** a été marquée dans l'aire C2 puis a rejoint l'aire C3 ; il s'agit là d'une **preuve dynamique de cet échange**. La question se pose donc quant à une éventuelle remise en question des délimitations actuelles des stocks de l'océan Indien occidental, délimitations établies de manière **hypothétique** essentiellement selon les localisations des prises durant la chasse baleinière soviétique et les données obtenues grâce aux marquages « Discovery ». Il semblerait qu'il faille **plutôt considérer les aires C2 et C3 comme une seule**, ce qui changerait considérablement la situation en termes d'estimation des populations de baleines à bosse dans l'océan Indien occidental. **Il est donc fort possible qu'à l'heure actuelle, les effectifs soient surestimés dans cette zone du globe.**

Par ailleurs, les faibles vitesses enregistrées pour **Odin** lorsqu'il longeait le plateau continental de Madagascar (en moyenne 4,1 km/jour) suggèrent aussi une **recherche et/ou prise de nourriture**. En effet, cette zone est fréquentée par les pêcheurs car les crevettes y

sont abondantes. Il est donc possible que les baleines à bosse fassent des haltes dans cette zone dans le but de se nourrir. Des comportements de nourrissage durant le voyage migratoire ont déjà été décrits dans d'autres océans (Lagerquist *et al.*, 2008).

On enregistre également des faibles vitesses pour **Teria** et **Sea Blue**, mais dans des zones situées plus au sud (zones où la nourriture devient plus abondante) :

- en bordure du plateau sous-marin au sud de Madagascar à environ 31° sud pour Sea Blue (2 km/j)
- autour de 43° sud pour les deux individus (vitesse moyenne de 3 km/j pour Teria et 0,8 km/j pour Sea Blue)

**Ainsi il semblerait que les baleines à bosse s'arrêtent plusieurs fois au cours de leur voyage migratoire pour se nourrir, bien avant d'atteindre les aires d'alimentation.**

## E. Un couloir de migration le long de la côte Ouest de Madagascar

**Odin**, **Sea Blue** et **Teria** ont immédiatement entamé leur migration vers l'Antarctique (*Figure 29*). **Teria** et **Sea Blue** ont suivi une trajectoire très similaire, et il semble qu'**Odin** aussi, tout du moins durant le début de son voyage jusqu'à ce que sa balise cesse d'émettre. Les trois baleines ont ainsi longé la côte ouest de Madagascar en conservant une route en ligne droite en direction du sud. Il est vrai que **Teria** et **Sea Blue** naviguaient ensemble lors du déploiement de leurs balises et il semblerait qu'elles aient ensuite continué une partie de leur route ensemble pendant une période maximum de 6 jours. Mais d'après les tracés relevés il est clair qu'elles ont navigué de façon indépendante durant la suite du voyage ; on peut donc considérer ces deux tracés comme étant réellement deux suivis à part entière, autrement dit en voyageant séparément, les deux baleines ne se sont pas « influencées » dans leur route de migration. Et pourtant, elles ont emprunté toutes les deux un chemin semblable. Ces tracés mettent ainsi en évidence **une des routes de migration utilisée par les baleines à bosse du stock C2 (Archipel des Comores) : cette route longe la côte ouest de Madagascar et continue ensuite au large de la pointe sud de l'île en longeant le plateau**

sous-marin. Comme illustré précédemment (voir Partie 1, II.E. pages 37-38) trois couloirs de migration ont été décrits par Best et al. (1998) dans l’océan Indien occidental grâce à différentes données issues d’observation, de comptage et d’enregistrements, mais aucun de ces trois couloirs ne correspond à celui mis en évidence dans notre étude grâce aux données de télémétrie satellitaire. Malgré le faible nombre d’individus que nous avons ainsi pu étudier ici, **l’existence d’une route de migration le long de la côte ouest de Madagascar, se prolongeant ensuite au sud de l’île le long du plateau sous-marin, semble être très probable.**

Après 49 jours de voyage, **Teria** a atteint l’océan austral au niveau de l’Aire III d’alimentation (voir Partie 1, II.A.1. page 25). Il s’agit de la **première illustration dynamique de la migration d’une baleine à bosse entre une aire de reproduction de l’océan Indien occidental (ici Mayotte) et l’Antarctique (ici l’Aire III d’alimentation)** (Figure 29).



*Figure 29 : Parcours de Teria (jaune), Sea Blue (rose), et Odin (bleu) (les aires d'alimentation sont quadrillées en noir)*

## F. Vitesses de migration

Les vitesses de navigation enregistrées pour **Odin** (durant la traversée entre Mohéli et Madagascar), **Mongomé** (durant la traversée entre Anjouan et Madagascar), **Teria** et **Sea Blue** durant la migration avoisinent les **4,6 km/h** (ce qui correspond à environ 110 km/jour). Elles sont donc similaires aux vitesses de migration des baleines à bosse calculées dans les autres océans (Mate *et al.*, 1998 ; Zerbini *et al.*, 2006 ; Laberquist *et al.*, 2008).

Au contraire, les individus **accompagnés d'un baleineau (Nduju, Inaïa et Exagone)** se sont déplacés à des **vitesses beaucoup plus faibles**, en moyenne **0,82 km/h** (19,6 km/jour). Quant aux vitesses élevées enregistrées pour **Leïa** (4,75 km/h entre Mayotte et Madagascar, puis 2,95 km/h le long de la côte), elles peuvent être expliquées par le fait que (comme mentionné précédemment) son baleineau était déjà âgé de plusieurs mois. Elle est la seule femelle accompagnée d'un baleineau qui présente des vitesses si élevées.

Notons tout de même qu'il est difficile de calculer des vitesses précises avec des données issues du système Argos, du fait de l'imprécision de ce type de données et des différents filtres à appliquer avant de pouvoir les exploiter. Il existe aujourd'hui des balises beaucoup plus sophistiquées qui permettent d'enregistrer des positions GPS (Global Positioning System) qui sont ensuite transmises par Argos ; les données GPS présentent l'avantage d'être beaucoup plus précises et plus nombreuses (les relevés peuvent être faits toutes les secondes), avec une erreur inférieure à plus ou moins 50 mètres pour 95% des points enregistrés. Les calculs de vitesse sont donc bien meilleurs avec ce système.



## CONCLUSION

Les baleines à bosse de l'océan Indien occidental migrent chaque année des eaux chaudes des tropiques (où elles se reproduisent), vers les eaux froides et riches en krill de l'Antarctique (où elles se nourrissent). Peu d'études ont été menées auprès de cette population de baleines à bosse et leur dynamique reste encore mal comprise. Pourtant, connaître précisément leurs habitats et déplacements est essentiel pour la gestion durable des baleines à bosse de cette partie du globe. Le projet de déploiement de balises satellites a donc été initié en 2010 afin de mieux connaître ces cétacés.

Les résultats obtenus grâce au suivi satellitaire de 8 baleines à bosse sont multiples et riches en informations. Le trajet emprunté par la baleine Teria constitue la première illustration dynamique de la migration d'une baleine à bosse entre une aire de reproduction de l'océan Indien occidental (Mayotte) et l'Antarctique (Aire III d'alimentation). Elle a atteint l'océan austral en 49 jours après plus de 5800 km parcourus. De plus, ces résultats laissent fortement suspecter l'existence d'une route de migration, jusqu'alors insoupçonnée, le long de la côte ouest de Madagascar et qui se prolonge ensuite au sud de l'île le long du plateau sous-marin. Ces données permettent ainsi de mieux connaître les chemins empruntés par les baleines à bosse durant leur voyage entre les eaux chaudes et les eaux froides. Enfin, les délimitations établies précédemment entre les différents stocks de l'océan Indien occidental sont remises en question suite au suivi de la baleine Leïa, qui illustre une connexion entre deux aires de reproduction considérées jusqu'alors comme distinctes : les aires C2 et C3. Cette observation implique très probablement une surestimation des populations de baleines à bosse évoluant dans l'océan Indien occidental.

Pour confirmer ces résultats et accroître les connaissances sur la dynamique de ces populations, il est prévu de poursuivre ce projet en déployant 8 nouvelles balises au milieu et à la fin de la saison de reproduction 2013. Pour cette nouvelle mission, un des principaux objectifs est l'augmentation du temps de suivi des baleines marquées. Ceci passe

notamment par une amélioration de la longévité d'émission des balises qui, comme nous l'avons expliqué, est particulièrement difficile pour cette espèce très active pour laquelle les balises se décrochent prématurément. Dans cette optique, l'ajout d'un antibiotique à dispersion longue et l'implantation intramusculaire seraient à envisager ; ils permettraient d'obtenir un meilleur ancrage et donc une résistance accrue aux multiples acrobaties des baleines à bosse et garantiraient une émission plus durable.

Il est essentiel de connaître précisément les trajets de migration de ces baleines dans l'océan Indien occidental afin de proposer une régulation temporaire et adaptée pour limiter le plus possible les nuisances engendrées par les travaux de forage et les mouvements maritimes lors de ces périodes critiques. Vétérinaires, biologistes, chercheurs et passionnés du monde marin, nous nous devons d'œuvrer pour la conservation de ces majestueux mammifères qui ont échappé de justesse à l'extinction et qui, nous l'espérons, continueront à nous émerveiller encore très longtemps.

**Thèse de Mme Caroline KOHL**

**Le Professeur responsable  
VetAgro Sup campus vétérinaire**

*Véronique CAMBERT*

*Cambert*

**Le Directeur général  
VetAgro Sup**

Par délégation  
Pr F. Grain - DEVE

VetAgro Sup  
Campus Vétérinaire

**Le Président de la thèse**

*F. Grain*  
F. GRAIN

**Vu et permis d'imprimer**

Lyon, le **03 JUL. 2013**

**Pour le Président de l'Université,  
Le Président du Comité de Coordination des Etudes Médicales,  
Professeur F.N GILLY**



# Annexes

---

## Annexe 1 : Feuille de déploiement de Odin

<b>Odin</b>	
Date/heure locale	11 octobre 2011 - 7h37
Taille de l'individu	Environ 12 mètres
Position GPS	<b>MOHELI</b> S12°24'29,4" E43°36'38,7"
Composition du groupe	Groupe de 2 individus adultes
Comportement des animaux lors de l'arrivée de l'équipe	Les deux baleines naviguent
Nombre de tentatives de déploiement	1 <sup>ère</sup> tentative réussie après 4 tentatives
Distance de la baleine lors du déploiement	10 mètres
Méthode employée	Fusil air comprimé « ARTS »
balise	Balise n°22851 type SPOT 5, Wildlife Computers
Zone d'implantation de la balise	Côté gauche sous l'aile dorsal
N° biopsie	Biopsie 2011-01
Durée (décompte à partir du moment où le matériel est opérationnel)	Non-connue
Réaction du groupe à l'implantation de la balise et à la biopsie	On note une discrète réaction de la part de la baleine marquée : mouvements de la nageoire caudale.

Annexe 2 : Feuille de déploiement de Nduju

<b>Nduju</b>	
Date/heure locale	12 Octobre 2011 – 10h
Taille de l'individu	Environ 11 mètres pour la mère
Position GPS	<b>MOHELI</b> S12°24'43,3" E43°37'15,9"
Composition du groupe	Mère et jeune baleineau
Comportement des animaux lors de l'arrivée de l'équipe	La mère et son baleineau sont au repos en surface.
Nombre de tentatives de déploiement	1 <sup>ère</sup> tentative réussie après une approche
Distance de la baleine lors du déploiement	Moins de 8 mètres
Méthode employée	Fusil air comprimé « ARTS »
balise	Déployée sur la mère : Balise n°33000 type SPOT 5, Wildlife Computers
Zone d'implantation de la balise	Côté gauche sous l'aile dorsal
N° biopsie	Pas de biopsie
Durée (décompte à partir du moment où le matériel est opérationnel)	Non-connue
Réaction du groupe à l'implantation de la balise et à la biopsie	Pas de réaction notée. La baleine s'éloigne après le déploiement.

Annexe 3 : Feuille de déploiement de la baleine équipée de la balise n°37236

<b>Balise n°37236</b>	
Date/heure locale	11 Octobre 2011 – 9h10
Taille de l'individu	Environ 12 mètres pour la mère
Position GPS	<b>MOHELI</b> S12°24'43,3" E43°37'15,9"
Composition du groupe	Mère, baleineau et escorte
Comportement des animaux lors de l'arrivée de l'équipe	Au repos
Nombre de tentatives de déploiement	3 tentatives dont 2 échecs
Distance de la baleine lors du déploiement	8 mètres
Méthode employée	Fusil air comprimé « ARTS »
balise	Déployée sur la mère : Balise n°37236 type SPOT 5, Wildlife Computers
Zone d'implantation de la balise	Côté gauche sous l'aile dorsal
N° biopsie	Pas de biopsie
Durée (décompte à partir du moment où le matériel est opérationnel)	Non-connue
Réaction du groupe à l'implantation de la balise et à la biopsie	Pas de réaction notée.

Annexe 4 : Feuille de déploiement de Mongomé

<b>Mongomé</b>	
Date/heure locale	14 Octobre 2011 – 12h32
Taille de l'individu	Environ 10 mètres pour la mère
Position GPS	<b>MOHELI</b> S12°27'45,0" E43°43'23,2"
Composition du groupe	Mère et baleineau
Comportement des animaux lors de l'arrivée de l'équipe	La mère et son baleineau sont au repos en surface.
Nombre de tentatives de déploiement	1 <sup>ère</sup> tentative réussie après une approche
Distance de la baleine lors du déploiement	Moins de 5 mètres
Méthode employée	Perche en fibre de verre
balise	Déployée sur la mère : Balise n°20690 type SPLASH, Wildlife Computers
Zone d'implantation de la balise	Côté droit sous l'aile dorsal
N° biopsie	Biopsie 2011-03
Durée (décompte à partir du moment où le matériel est opérationnel)	Non-connue
Réaction du groupe à l'implantation de la balise et à la biopsie	Pas de réaction notée.

Annexe 5 : Feuille de déploiement d'Inaïa et Exagone

<b>Inaïa et Exagone</b>	
Date/heure locale	11 octobre 2012 - Mère : 15h00 - Escorte : 16h00
Taille de l'individu	Inaïa (mère) : 15 mètres // Exagone (escorte) : 12 mètres
Position GPS	<b>MAYOTTE</b> Mère : S12°57'20,3" E44°55'41,0" Escorte : S12°59'43,9" E44°54'29,6"
Composition du groupe	Mère, très jeune baleineau (3,5 mètres, couleur gris clair, aileron encore courbé), escorte
Comportement des animaux lors de l'arrivée de l'équipe	Lors de l'arrivée de l'équipe en vue du groupe de baleines à bosse, un opérateur venait de terminer son observation et était en train de partir. Nous avons déployé une première balise et effectué une biopsie sur la mère très coopérative. Un autre opérateur est arrivé, l'équipe de marquage a cédé la place. L'opérateur a ainsi pu observer le groupe durant 30 minutes et a ensuite quitté la zone ; entre temps un bateau de la gendarmerie maritime est arrivé. Nous avons déployé la seconde balise et effectué la seconde biopsie en leur présence. Le groupe de baleines était moins coopératif sur le deuxième déploiement mais l'opération s'est déroulée très rapidement et dans de très bonnes conditions.
Nombre de tentatives de déploiement	1 tentative de déploiement réussi sur chaque baleine à bosse adulte
Distance de la baleine lors du déploiement	Inaïa : 8 mètres // Exagone : 10 mètres
Méthode employée	Fusil air comprimé « ARTS »
balise	Balise n° 27261 sur la mère (Inaïa) type SPOT 5, Wildlife Computers Balise n° 27262 sur l'escorte (Exagone) type SPOT 5, Wildlife Computers
Zone d'implantation de la balise	Côté droit sous l'aileron dorsal
N° biopsie	Biopsie 2012-01 sur la mère - Biopsie 2012-02 sur l'escorte
Durée (décompte à partir du moment où le matériel est opérationnel)	- 1 <sup>er</sup> déploiement + biopsie : 5 minutes - 2 <sup>ème</sup> déploiement + biopsie : 8-10 minutes
Réaction du groupe à l'implantation de la balise et à la biopsie	Les baleines deviennent plus sensibles à l'approche du bateau et cherchent à fuir lorsque le bateau est très proche d'elles, mais aucun signe d'agressivité n'est noté. Aucune réaction observable ni lors de la prise des biopsies avec l'arbalète ni lors de l'implantation des balises

Annexe 6 : Feuille de déploiement de Leïa

<b>Leïa</b>	
Date/heure locale	12 Octobre 2012 – 14h
Taille de l'individu	Environ 12 mètres
Position GPS	<b>MAYOTTE</b> S12°59'00,0" E44°14'00,0"
Composition du groupe	Mère, baleineau déjà âgé de plusieurs mois (couleur générale foncée, longueur estimée de 5 mètres)
Comportement des animaux lors de l'arrivée de l'équipe	Baleines calmes à l'approche du bateau, on note néanmoins un comportement d'évitement au moment du déploiement (elles effectuent un cercle sans respiration) mais l'opération se déroule très rapidement et dans de très bonnes conditions. La première tentative de biopsie est un échec, l'opération est réitérée avec succès.
Nombre de tentatives de déploiement	1 <sup>ère</sup> tentative réussie après une approche
Distance de la baleine lors du déploiement	10 mètres
Méthode employée	Fusil air comprimé « ARTS »
balise	Déployée sur la mère : Balise n°37227 type SPOT 5, Wildlife Computers
Zone d'implantation de la balise	Côté droit sous l'aileron dorsal
N° biopsie	Biopsie 2012-03
Durée (décompte à partir du moment où le matériel est opérationnel)	5 minutes
Réaction du groupe à l'implantation de la balise et à la biopsie	Discrète réaction lors de l'approche du Zodiac® (cercle d'évitement). Aucune réaction observée lors de la biopsie et de l'implantation de la balise.

Annexe 7 : Feuille de déploiement de Caribou

<b>Caribou</b>	
Date/heure locale	18 Octobre 2012 – 13h
Taille de l'individu	Environ 11 mètres
Position GPS	<b>MOHELI</b> S12°26'05,1" E43°37'24,4"
Composition du groupe	Mère et jeune baleineau (taille estimée à environ 4 mètres, couleur générale assez claire)
Comportement des animaux lors de l'arrivée de l'équipe	La mère et son baleineau sont au repos en surface.
Nombre de tentatives de déploiement	1 <sup>ère</sup> tentative réussie après une approche
Distance de la baleine lors du déploiement	10 mètres
Méthode employée	Fusil air comprimé « ARTS »
balise	Déployée sur la mère : Balise n°37228 type SPOT 5, Wildlife Computers
Zone d'implantation de la balise	Côté droit sous l'aile dorsal
N° biopsie	Biopsie 2012 – 04
Durée (décompte à partir du moment où le matériel est opérationnel)	8 minutes (implantation de la balise + biopsie)
Réaction du groupe à l'implantation de la balise et à la biopsie	Les deux individus commencent à naviguer lors de l'approche du bateau, puis fuient le bateau. Aucune réaction observée lors de la biopsie et lors de l'implantation de la balise.

Annexe 8 : Feuille de déploiement de Teria et Sea Blue

<b>Teria et Sea Blue</b>	
Date/heure locale	21 Octobre 2011 – 12h et 12h15
Taille de l'individu	Teria : 14 mètres // Sea Blue : 13 mètres
Position GPS	<b>MAYOTTE</b> S12°49'16,4" E44°56'21,6"
Composition du groupe	Groupe de 4 adultes en déplacements vers le sud
Comportement des animaux lors de l'arrivée de l'équipe	Les souffles de 4 baleines à bosse sont repérés au large du récif ouest de Mayotte. Elles naviguent ensemble à environ 4 nœuds, en direction du sud.
Nombre de tentatives de déploiement	1ère tentative de déploiement réussie sur chacune des 2 baleines marquées (1 approche a suffit pour chaque individu)
Distance de la baleine lors du déploiement	8 mètres
Méthode employée	Fusil air comprimé « ARTS »
balise	Balise n°37235 sur le 1er individu (Teria) type SPOT 5, Wildlife Computers Balise n°37278 sur le 2nd individu (Sea Blue) type SPOT 5, Wildlife Computers
Zone d'implantation de la balise	Côté droit sous l'aile dorsal
N° biopsie	Pas de biopsie sur Teria Biopsie 2012-05 sur Sea Blue
Durée (décompte à partir du moment où le matériel est opérationnel)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 1<sup>er</sup> déploiement : 4 minutes + tentative de biopsie pendant 15 minutes mais sans résultats</li> <li>- 2<sup>ème</sup> déploiement + biospie incluse : 10 minutes</li> </ul>
Réaction du groupe à l'implantation de la balise et à la biopsie	On note un changement de comportement lors des approches du Zodiac® : les baleines sont très sensibles, elles accélèrent, changent de direction et plongent souvent. La première balise est implantée très rapidement sur un des 4 individus : pas de réaction observée lors de l'implantation de la balise. La deuxième balise est déployée immédiatement après sur un autre individu du groupe : cette fois, on note une réaction de la part de la baleine, qui projette hors de l'eau sa nageoire caudale juste après l'implantation du tag . Puis le groupe de 4 baleines se scinde en 2 groupes de 2 individus. Une biopsie est ensuite prélevée sur la 2 <sup>ème</sup> baleine : pas de réaction notée. Nous essayons pendant 15 minutes de prélever un biopsie sur la 1 <sup>ère</sup> baleine mais celle-ci devient de moins en moins coopérative tourne constamment en rond lors des approches de Zodiac® ; nous

abandonnons après 2 tentatives infructueuses.

Annexe 9 : Exemple de photographie post-déploiement : balise n°27261 implantée sur Inaïa  
(Caroline KOHL)





# Bibliographie

---

**American Cetacean Society (consulté le 10 mai 2013).** Site internet de l'American Cetacean Society, [en ligne]. Adresse URL : <http://www.acsonline.org/fact-sheets/humpback-whale/>

**Argos entreprise (consulté le 20 novembre 2012).** Site internet du système Argos, [en ligne]. Adresse URL : <http://www.argos-system.org/web/fr/180-contacts.php>

**Baldwin R (2000)** Oman's humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). *Journal of Oman Studies*, 11, 11-18.

**Baker CS, Perry A, Bannisterc JL, Weinrich MT, Abernethy RB, Calambokidis J, Liens J, Lambertsen RH, Urban Ramirez J, Vasquez O, Clapham PJ, Alling A, O'Brien SJ, Palumbi SR (1993)** Abundant mitochondrial DNA variation and world-wide population structure in humpback whales. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 90, 8239-8243.

**Baker CS, Palumbi SR (1997)** The genetic structure of whale populations: implications for management. In : Dizon AE, Chivers SJ, Perrin WF (eds.) *Molecular Genetics of Marine Mammals*. Special Publication 3, Society for Marine Mammalogy, Lawrence, KS, 117-146.

**Baker CS, Medrano-González L (2002)** Worldwide distribution and diversity of humpback whale mitochondrial DNA lineages. In : Pfeiffer CJ (ed.). *Molecular and Cell Biology of Marine Mammals*, Krieger Publishing Company, Malabar, FL, 84-99.

**Blackmer AL, Anderson LK and Weinrich MT (2000)** Temporal variability in features used to photo-identify humpback whales (*Megaptera Novaeangliae*). *Marine Mammal Science*, 16 (2), 338-354.

**Best PB, Findlay KP, Sekiguchi K, Peddemors VM, Rakotonirina B, Rossouw A and Gove D (1998)** Winter distribution and possible migration routes of humpback whales *Megaptera novaeangliae* in the southwest Indian Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 162, 287-299.

**Best PB (2006)** A note on the age at sexual maturity of humpback whales. *Paper SC/A06/HW5 presented to the International Whaling Commission southern hemisphere humpback workshop, Hobart, Tasmania, April 2006.*

**Cerchio S, Findlay K, Ersts P, Minton G, Bennet D, Meyer M, Razafindrakoto Y, Kotze D, Oosthuizen H, Leslie M, Andrianarivelo N and Rosenbaum H (2008)** Initial assessment of exchange between breeding stocks C1 and C3 of humpback whales in the western Indian Ocean using photographic mark-recapture data, 2000-2006. *Paper SC/60/SH33 presented to the Scientific Committee of the International Whaling Commission.*

**Cerchio S, Ersts P, Pomilla C, Loo J, Razafindrakoto Y, Leslie M and Andrianarivelo (2009)** Updated estimates of abundance for humpback whale breeding stock C3 off Madagascar, 2000-2006. *Paper SC/61/SH7 presented to the Scientific Committee of the International Whaling Commission.*

**Childerhouse S, Double M and Gales N (2010)** Satellite tracking of southern right whales (*Eubalaena australis*) at the Auckland Islands, New Zealand. *Unpublished report SC/62/BRG19 presented to the Scientific Committee of the International Whaling Commission.*

**Chittleborough RG (1955)** Aspects of reproduction in the male humpback whale, *Megaptera nodosa* (Bonaterre). *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 6, 1-29.

**Chittleborough RG (1959)** Determination of age in the humpback whale, *Megaptera nodosa*. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 10 (2), 125-143.

**Chittleborough RG (1965)** Dynamics of two populations of the humpback whale, *Megaptera novaeangliae*. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 16, 33-128.

**Clapham P (1996)** Humpback whales. In : *Humpback Whales*, Voyageur Press, Stillwater, Minnesota, 7-10.

**Clapham P (1992)** Age at attainment of sexual maturity in humpback whales, *Megaptera novaeangliae*. *Canadian Journal Zoology*, 70 (7), 1470-1472.

**Clapham P (2002)** Humpback Whale. In: Perrin WF, Würsig B, Thewissen JGM (eds.). *Encyclopedia of Marine Mammals*, Academic Press, San Diego, CA, 589-592.

**Dalla Rosa L, Secchi ER, Maia YG, Zerbini AN and Heide-Jørgensen MP (2008)** Movements of satellite-monitored humpback whales on their feeding ground along the Antarctic Peninsula. *Polar biology*. 31 (7), 771-781.

**Dawbin WH (1966)** The seasonal migratory cycle of humpback whales. In: Norris KS (ed.). *Whales, dolphins and porpoises*, University of California Press, Berkeley, CA, 145-170.

**Donovan GP (1991)** A review of IWC Stock Boundaries. *Report of the International Whaling Commission (special issue)*, 13, 39-68.

**Dueck LP, Heide-Jørgensen MP, Jensen MV and Postma LD (2006)** Update on investigations of bowhead whale (*Balaena mysticetus*) movements in the eastern Arctic, 2003-2005, based on satellite-linked telemetry. *DFO Canadian Science Advisory Secretariat Research Document*, 2006/050.

**Dulau-Drouot V, Boucaud V and Rota B (2008)** Cetacean Diversity off La Réunion Island (France). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 88 (6), 1263-1272.

**Dulau-Drouot V, Cerchio S, Jouannet V, Ersts P, Fayan J, Boucaud V and Rosenbaum H (2011)** Preliminary comparison of humpback whale photographic identifications indicates connectivity between Reunion (BS C4) and Madagascar (BS C3). *Paper SC/63/SH28 presented to the Scientific Committee of the International Whaling Commission*.

**Ersts PJ, Pomilla C, Rosenbaum HC, Kiszka J and Vély M (2006)** Humpback whales identified in the territorial waters of Mayotte [C2] and matches to Madagascar [C3]. *Paper SC/A06/HW12 submitted to the International Whaling Commission southern hemisphere humpback workshop*, Hobart, Tasmania, April 2006.

**Ersts PJ, Pomilla C, Kiszka J, Cerchio S, Rosenbaum HC, Vély M, Razafindrakoto Y, Loo JA, Leslie MS and Avolio M (2011a)** Observations of individual humpback whales utilising multiple migratory destinations in the south-western Indian Ocean. *African Journal of Marine Science*, 33 (2), 333-338.

**Ersts PJ, Kiszka J, Vely M and Rosenbaum HC (2011b)** Density, group composition and encounter rates of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the eastern Comoros Archipelago (C2). *Journal of Cetacean Research and Management (special issue)*, 3, 175-182.

**Findlay K, Best PB, Peddemors VM and Gove D (1994)** The distribution and abundance of humpback whales on their southern and central Mozambique winter grounds. *Report of the International Whaling Commission 44*, 311–320.

**Findlay K, Best PB (2006)** The migrations of humpback whales past Cape Vidal, South Africa, and a preliminary estimate of the population increase rate. *Paper SC/A06/HW16 submitted to the International Whaling Commission southern hemisphere humpback workshop*, Hobart, Tasmania, April 2006.

**Findlay K, Bannister JL, Cerchio S, Jackson J, Loo J, Paton D, Rosenbaum H, Weinrich M and Zerbini A (2009)** Allocations of catches of humpback whales (1904-1973) for the *International Whaling Commission comprehensive assessment of Southern Hemisphere humpback whales. Report SC/61/SH31 of an International Whaling Commission intersessional email group*.

**Findlay K, Meyer M, Elwen S, Kotze D, Johnson R, Truter P, Uamusse C, Siteo S, Wilke C, Kerwath S, Swanson S, Staverees S, van der Westhuizen J (2011)** Distribution and abundance of Humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, off the coast of Mozambique, 2003. *Journal of Cetacean Research and Management (special issue)*, 3, 163-174.

**Fleming A, Jackson JA (2011)** Global review of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). NOAA Technical Memorandum NOAA-TM-NMFS-SWFSC-474. 206 p.

**Fossette S, Heide-Jørgensen MP, Vely M, Jensen, MV, Bertrand N. (2012)** A First description of humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) movements between breeding grounds in the Indian Ocean Whale Sanctuary. *Paper SC/64/SH3 presented to the Scientific Committee of the International Whaling Commission.*

**Fossette S, Heide-Jørgensen MP, Jensen MV, Kiszka J, Bertrand N, Vély M (2013)** Humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) post-breeding dispersal and southward migration in the western Indian Ocean Whale Sanctuary. *Submitted to Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.*

**Hauser N, Zerbini AN, Geyer Y, Heide-Jørgensen MP, Clapham P (2010)** Movements of satellite-monitored humpback whales, *Megaptera novaeangliae*, from the Cook Islands. *Marine Mammal Science*, 26, 679–685.

**Hays GC, Bradshaw CJA, James MC, Lovell P and Sims DW (2007)** Why do Argos satellite tags deployed on marine animals stop transmitting? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 349, 52-60.

**Heide-Jørgensen MP, Kleivane L, Oien N, Laidre KL and Jensen MV (2001)** A new technique for deploying satellite transmitters on baleen whales : tracking a blue whale (*Balaenoptera musculus*) in the north Atlantic. *Marine Mammal Science*, 17 (4), 949-954.

**Heide-Jørgensen MP, Laidre KL, Wiig O, Jensen MV, Dueck L, Maiers LD, Schmidt HC and Hobbs RC (2003)** From Greenland to Canada in ten days: tracks of bowhead whales, *Balaena mysticetus*, across Baffin Bay. *Arctic*, 56 (1), 21-31.

**Heide-Jørgensen MP, Laidre KL, Jensen MV, Dueck L and Postma LD (2006)** Dissolving stock discreteness with satellite tracking : bowhead whales in Baffin Bay. *Marine Mammal Science*, 22, 34-45.

**Heide-Jørgensen MP and Laidre KL (2007)** Autumn-space use patterns of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in West Greenland. *Journal of Cetacean Research and Management*, 9(2), 121-126.

**Hermans A and Pistorius PA (2008)** Marine mammal diversity in the remote waters of Aldabra atoll, southern Seychelles. *Atoll Research Bulletin*, 564, 1-7.

**Horton TW, Holdaway RN, Zerbini AN, Hauser N, Garrigue C, Andriolo A and Clapham J (2011)** Straight as an arrow : humpback whales swim constant course track during long-distance migration. *Biology Letter*, 7 (5), 674-679.

**IWC (International Whaling Commission) (consulté le 8 janvier 2013).** Site de la Commission Baleinière Internationale [en ligne]. Adresse URL : [www.iwcoffice.org](http://www.iwcoffice.org).

**IWC (International Whaling Commission) (2000)** Report of the Sub-Committee on in-depth assessments. *Report of the International Whaling Commission 52.*

**IWC (International Whaling Commission) (2011)** Report of the sub-committee on other Southern Hemisphere whale stocks. *Report of the International Whaling Commission 63*, Annex H.

**Kiszka J, Ersts PJ and Ridoux V (2007)** Cetacean diversity around the Mozambique Channel island of Mayotte (Comoros archipelago). *Journal of Cetacean Research and Management*, 9, 105-109.

**Kiszka J, Vely M and Breysse O (2010)** Preliminary account of cetacean diversity and humpback whale (*Megaptera novaeangliae*) group characteristics around the Union of the Comoros (Mozambique Channel). *Mammalia*, 74, 51-56.

**Lagerquist BA, Mate BR, Ortega-Ortiz JG, Winsor M, and Urbán-Ramirez J (2008)** Migratory movements and surfacing rates of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) satellite tagged at Socorro Island, Mexico. *Marine Mammal Science*, 24, 815-830.

**Laist DW., Knowlton AR, Mead JG, Collet AS and Podesta M (2001)** Collisions between ships and whales. *Marine Mammal Science*, 17 (1), 35-75.

**Mackintosh NA (1965)** The Stocks of Whales : The Fisherman's Library. London, Fishing News (Books) Ltd., London. 232 p.

**Mate B, Mesecar R and Lagerquist B (2007)** The evolution of satellite-monitored radio tags for large whales : One laboratory's experience. *Deep-Sea Research II*, 54, 224–247.

**Matthews LH (1937)** The humpback whale, *Megaptera nodosa*. *Discovery Reports* 17, 7-92.

**Minton G, Collins TJQ, Findlay KP, Ersts PJ, Rosenbaum HC, Berggren P and Baldwin RM (2011)** Seasonal distribution, abundance, habitat use and population identity of humpback whales in Oman. *Journal of Cetacean Research and Management (Special Issue)*, 3, 185-198.

**Mikhalev YA (1997)** Humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) in the Arabian Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 149 (1-3), 13-21.

**NOAA (1984)** The Humpback Whale, *Megaptera novaeangliae*. *Marine Fisheries Review*, 46 (4), 30-37.

**Ohsumi S (1966)** Allomorphy between body length at sexual maturity and body length at birth in the Cetacea. *Journal of the Mammal Society of Japan*, 3, 3-7.

**Palsbøll PJ, Allen J, Bérubé M, Clapham PJ, Feddersen TP, Hammond PS, Hudson RR, Jorgensen H, Katona S, Larsen AH, Larsen F, Lien J, Mattila DK, Sigurjonsson J, Sears R, Smith T, Spomer R, Stevick P and Oien N (1997)** Genetic tagging of humpback whales. *Nature*, 388, 767-769.

**Pomilla C and Rosenbaum HC (2005)** Against the current: an inter-oceanic whale migration event. *Biology Letters*, 1, 476-479.

**Pomilla C and Rosenbaum HC (2006)** Estimates of relatedness in groups of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*) on two wintering grounds of the Southern Hemisphere. *Molecular Ecology*, 15 (9), 2541-2555.

**Rosenbaum HC, Clapham PJ, Allen J, Nicole-Jenner M, Jenner C, Florez-Gonzalez L, Urban Ramirez J, Ladron de Guevara P, Mori K, Yamaguchi M and Baker CS (1995)** Geographic variation in ventral fluke pigmentation of humpback whale *Megaptera novaeangliae* populations worldwide. *Marine Ecology Progress Series*, 124, 1-7.

**Rosenbaum HC, Walsh PD, Razafindrakoto Y, Vely M and Desalle R (1997)** First description of a humpback whale wintering ground in Baie d'Antongil, Madagascar. *Conservation Biology*, 11, 308-314.

**Rosenbaum HC, Pomilla C, Mendez M, Leslie MS, Best PB, Findlay KP, Minton G, Ersts PJ, Collins T, Engel MH, Bonatto SL, Kotze DPGH, Meyer M, Barendse J, Thornton M, Razafindrakoto, Ngouesso S, Vely M and Kiszka J (2009)** Population structure of humpback whales from their breeding grounds in the south Atlantic and Indian oceans. *PLOS One*, 4 (10), e7318.

**Stone G, Florez-Gonzalez L and Katona SK (1990)** Whale migration record. *Nature*, 346, 705.

**Wright LI, Stokes KL, Fuller WJ, Godley BJ, McGowan A, Snape R, Tregenza T, Broderick AC (2012)** Turtle mating patterns buffer against disruptive effects of climate change. *Proceedings of the Royal Society B*, 279, 2122-2127.

**Zerbini AN, Andriolo A, Heide-Jørgensen MP, Pizzorno JL, YG Maia, VanBlaricom GR, DeMaster DP, Simões-Lopes PC, Moreira S, and Bethlem C (2006)** Satellite-monitored movements of humpback whales *Megaptera novaeangliae* in the Southwest Atlantic Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 313, 295-304.

**Zerbini AN, Clapham PJ, Wade PR (2010)** Assessing plausible rates of population growth in humpback whales from life-history data. *Marine Biology*, 157 (6), 1225-1236.