



K É L O N I A

l'observatoire des tortues marines - saint-leu - la réunion

Ifremer

**IFREMER**

**Délégation Océan Indien - DOI**

Département Ressources Biologiques et Environnement - RBE

Auteurs : J. BOURJEA ; S. CICCIONE ; M. DALLEAU

Rapport Ifremer RST-DOI/2013-02

# **DYMITILE – DYNAMIQUE MIGRATOIRE DES TORTUES MARINES NIDIFIANT DANS LES ILES FRANÇAISES DE L'OCEAN INDIEN**

**Avril 2011 – Aout 2013**

**Rapport DYMITILE I et II**

*Phase I (maitrise d'ouvrage Kélonia)*

*Phase II (maitrise d'ouvrage Ifremer DOI)*

Aout 2013

*Partenaires institutionnels*



Convention d'attribution de Subvention Ifremer N°2011/06

Référence DEAL Réunion N°AM/LR/2011/N°700

Référence IFREMER N° 10/1218858/F

Convention d'attribution de Subvention Kelonia-ASS CEDTM N°2010/25

Référence DEAL Réunion N°BG/AB2010/N°232





## Résumé :

Chez les tortues marines, la migration est un processus indispensable tout au long de leur cycle biologique. Décrire et caractériser le cycle spatial des tortues marines est donc nécessaire pour définir une stratégie de conservation efficace à long terme. Nous avons étudié, grâce à la télémétrie satellitaire, la dynamique spatiale de deux espèces à différents stades de leur vie : 105 tortues vertes adultes *Chelonia mydas* en migration post reproductive dans le Sud-ouest de l'océan Indien (SOOI), et 18 tortues caouannes juvéniles *Caretta caretta* en phase océanique capturées accidentellement par la pêcherie palangrière réunionnaise.

Le suivi des tortues vertes femelles a permis d'obtenir 77 trajets complets de migration post reproductive (Europa (17), Mayotte (17), Tromelin (21), les Glorieuses (15), Mohéli (3), Vamizi (3) et Juan de Nova (1)). La longueur moyenne des trajets migratoires observée est de 1405km, parcourus en moyenne en 24 jours. Les trajets enregistrés ont montré une importante dispersion à travers la région. Deux couloirs migratoires spécifiques ont pu être identifiés : (1) entre le nord de Madagascar et la frontière Mozambique/Tanzanie, (2) entre Europa et le Nord du Mozambique. Les zones d'alimentation les plus fréquentées sont situées à 35% au sein d'une aire marine protégée, essentiellement le long des côtes nord du Mozambique, du sud de la Tanzanie et du nord de Madagascar. La stratégie de déploiement des balises a également permis de démontrer que les voies migratoires et les sites d'alimentation des tortues nidifiant pendant ou hors du pic de ponte sont globalement similaires, même si celles se reproduisant en dehors du pic de ponte parcourent plus de kilomètres en plus de temps que celles se reproduisant pendant le pic.

Les palangriers réunionnais capturent accidentellement essentiellement des tortues caouannes juvéniles. Le suivi satellitaire de 18 de ces tortues a permis de mettre en évidence un cycle de développement trans-équatorial, avec des individus appartenant en majorité aux populations du nord-ouest de l'océan Indien, un stock abondant et considéré actuellement comme non menacé. Ces résultats suggèrent que l'impact de la pêche palangrière réunionnaise est faible au regard (1) de l'espèce interagissant avec cette pêcherie, (2) du nombre d'interaction et (3) de l'origine supposé des individus capturées. Cette étude a également permis un rapprochement avec les pêcheurs par la mise en place d'une coopération forte avec le centre de soin de Kélonia, limitant l'impact de cette pêcherie sur les tortues caouannes juvéniles.

Cette étude a permis d'évaluer la connectivité migratoire des tortues vertes adultes et caouannes juvéniles dans l'océan Indien occidentale et de révéler d'importantes implications en terme conservation régionale pour ces espèces.

## Liste des figures

FIGURE 1 PRINCIPAUX COURANTS DE L’OCEAN INDIEN ET PROVINCES ECOLOGIQUES DE LONGHURST. ....	- 13 -
FIGURE 2 : PRINCIPAUX SITES DE PONTE DES TORTUES VERTES DANS LE SOOI .....	- 14 -
FIGURE 3 DISTRIBUTION DE LA TAILLE (LONGUEUR COURBE DE LA CARAPACE EN CM) DE TORTUES VERTES FEMELLES SUIVIES PAR SATELLITE DANS LE SOOI EN FONCTION DU SITE DE PONTE D’ORIGINE .....	- 17 -
FIGURE 4 : MIGRATIONS POST REPRODUCTIVE DE <i>CHELONIA MYDAS</i> IDENTIFIEES PAR SUIVI ARGOS EN FONCTION DU SITE DE POSE.....	- 21 -
FIGURE 5 : DISTANCE CURVILINEAIRE (EN KM) DES MIGRATIONS POST-REPRODUCTIVES DE TORTUES VERTES FEMELLES SUIVIES PAR SATELLITE A PARTIR DE SITE DE PONTE DU SOOI.....	- 22 -
FIGURE 6 : CORRELATION ENTRE LA DISTANCE DE MIGRATION (EN KM ; ORDONNEES) ET LA TAILLE (LCC EN CM; ABCISSES) DE TORTUES VERTES FEMELLES SUIVIES PAR SATELLITE A PARTIR DES SITES DE PONTE DU SOOI. ....	- 24 -
FIGURE 7 : CORRELATION ENTRE LA DUREE DE MIGRATION (ORDONNEES ; EN JOURS) ET LA DISTANCE (CURVILINEAIRE) DE MIGRATION (ABCISSES ; EN KM). ....	- 25 -
FIGURE 8 : DENSITE D’UTILISATION DE L’ESPACE PAR LES TORTUES VERTES FEMELLES EN MIGRATION POST-REPRODUCTIVE. ....	- 26 -
FIGURE 9 : (A) SITES D’ALIMENTATION ET (B) TRAJETS DE MIGRATION POST-REPRODUCTIVE SELON LA SAISON DE PONTE (PIC OU HORS-PIC) DE 77 TORTUES VERTES FEMELLES SUIVIES PAR SATELLITE DANS LE SOOI EN FONCTION DE LEUR SITE DE PONTE D’ORIGINE .....	28
FIGURE 10 : ELLIPSES DE DISPERSION DES SITES D’ALIMENTATION DE TORTUES VERTES FEMELLES ORIGINAIRES DE QUATRE SITES DU SOOI.....	- 29 -
FIGURE 11 : DIRECTION DES SITES D’ALIMENTATION DE TORTUES VERTES FEMELLES ORIGINAIRES DE QUATRE SITES DE PONTE DU SOOI EN FONCTION DE LEUR SAISON DE PONTE (PIC OU HORS-PIC).....	- 30 -
FIGURE 12 : COMPARAISON DES ELLIPSES DE DISPERSION DE SITES D’ALIMENTATION DE TORTUES VERTES FEMELLES ORIGINAIRES DE QUATRE SITES DU SOOI EN FONCTION DE LEUR SAISON DE PONTE.....	- 30 -
FIGURE 13 : DISTANCE CURVILINEAIRE (EN KM) DES MIGRATIONS SELON LA SAISON DE PONTE (P : PIC OU HP : HORS-PIC) DE 70 TORTUES VERTES FEMELLES SUIVIES PAR SATELLITE A PARTIR DES SITES DE PONTE DU SOOI .....	- 31 -
FIGURE 14 : UNE TORTUE CAOUANNE EN PLEINE OPERATION A LA CLINIQUE VETERINAIRE DE ST LOUIS SOUS ANESTHESIE GENERALE (GAZEUSE) .....	- 38 -
FIGURE 15 : EXEMPLE D’UNE FICHE D’IDENTIFICATION ET DE SUIVI D’UNE CAPTURE ACCIDENTELLE .....	- 39 -
FIGURE 16 : LOCALISATION DES SITES DE CAPTURE ACCIDENTELLE DE TORTUES MARINES PAR LES PALANGRIERS REUNIONNAIS. ....	- 40 -
FIGURE 17 : PLAQUETTE D’IDENTIFICATION DES TORTUES MARINES DISTRIBUEES AUX PECHEURS PALANGRIERS REUNIONNAIS.....	- 40 -
FIGURE 18 : EVOLUTION DU NOMBRE DE CAPITAINES DE NAVIRE PALANGRIER PARTENAIRES DE DYMITILE ET DU NOMBRE DE TORTUES RAMENEES AU CENTRE DE SOINS DE KELONIA. ....	- 41 -
FIGURE 19 : EVOLUTION DU NOMBRE DE TORTUES MARINES PAR MOIS CAPTUREES PAR LES PALANGRIERS REUNIONNAIS ET RAMENEES AU CENTRE DE SOIN (DONNEES 2006 – 2012) .....	- 41 -
FIGURE 20 : ETAT POST OPERATOIRE DE LA TORTUE CAPTUREE ACCIDENTELLEMENT EN FONCTION DU TYPE D’HAMEÇON .....	- 42 -
FIGURE 21 : DECHETS RETROUVES DANS LES FECES D’UNE TORTUE CAOUANNE CAPTUREE ACCIDENTELLEMENT PAR UNE PALANGRIER REUNIONNAIS .....	- 42 -
FIGURE 22 : DYNAMIQUE SPATIALE DES TORTUES CAOUANNES IMMATURES CAPTUREES ACCIDENTELLEMENT PAR LES PALANGRIERS DE LA REUNION. ....	- 44 -

## Liste des tableaux

TABLE 1 : SITES DE PONTE CONSIDERES DANS CETTE ETUDE ET STRATEGIE DE DEPLOIEMENT. ....	15
TABLE 2 COMPARAISONS DEUX A DEUX DE LA TAILLE MOYENNE DES TORTUES VERTES FEMELLES SUIVIES PAR SATELLITE .....	- 17 -
TABLE 3 : CARACTERISTIQUES DES MIGRATIONS POST-REPRODUCTIVES ET DES SITES D’ALIMENTATION DE TORTUES VERTES FEMELLES SUIVIES PAR SATELLITE DANS LE SOOI. ....	- 23 -
TABLE 4 COMPARAISONS DEUX A DEUX DE LA DISTANCE MOYENNE (A) ET DE LA DUREE MOYENNE (B) DE LA MIGRATION POST-REPRODUCTIVE DE TORTUES VERTES FEMELLES SUIVIES PAR SATELLITE (TEST DE TUKEY) EN FONCTION DU SITE DE PONTE .....	- 24 -
TABLE 5 : DISTRIBUTION PAR PAYS DES SITES D’ALIMENTATION DES 77 TORTUES VERTES SUIVIES PAR SATELLITE DANS LE SOOI EN FONCTION DE LEUR SITE DE PONTE D’ORIGINE. ....	- 27 -

# SOMMAIRE

<b>LISTE DES FIGURES .....</b>	<b>5</b>
--------------------------------	----------

<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>5</b>
--------------------------------	----------

<b>SOMMAIRE.....</b>	<b>6</b>
----------------------	----------

<b>AVANT-PROPOS.....</b>	<b>- 8 -</b>
--------------------------	--------------

<b>1. MIGRATION POST REPRODUCTIVE DES FEMELLES DE TORTUES VERTES .....</b>	<b>- 10 -</b>
--	---------------

<b>1.1. IMPORTANCE DE LA MIGRATION DANS LE REGNE ANIMAL.....</b>	<b>- 10 -</b>
--	---------------

<b>1.2. LES TORTUES MARINES DU SUD-OUEST DE L'OCEAN INDIEN .....</b>	<b>- 11 -</b>
--	---------------

1.2.1. LES TORTUES MARINES .....	- 11 -
----------------------------------	--------

1.2.2. OCEANOGRAPHIE .....	- 12 -
----------------------------	--------

1.2.3. OBJECTIF DE L'ETUDE .....	- 13 -
----------------------------------	--------

<b>1.3. MATERIELS ET METHODES .....</b>	<b>- 14 -</b>
---	---------------

1.3.1. ZONE D'ETUDE .....	- 14 -
---------------------------	--------

1.3.2. TELEMETRIE SATELLITAIRE ET TAILLE DES INDIVIDUS .....	- 16 -
--	--------

1.3.3. STRATEGIE DE DEPLOIEMENT.....	- 17 -
--------------------------------------	--------

1.3.4. PRE-FILTRE ET CARACTERISATION DU COMPORTEMENT SPATIAL .....	- 17 -
--	--------

1.3.5. EMBLACEMENT DES SITES D'ALIMENTATION ET AIRES MARINES PROTEGEES .....	- 18 -
--	--------

1.3.6. MIGRATION ET FILTRAGE DES LOCALISATIONS .....	- 18 -
--	--------

1.3.7. CARACTERISATION DES COULOIRS MIGRATOIRES REGIONAUX .....	- 19 -
---	--------

1.3.8. ANALYSES STATISTIQUES.....	- 19 -
-----------------------------------	--------

1.3.9. RESUME DES MATERIELS ET METHODES .....	- 20 -
---	--------

<b>1.4. RESULTATS.....</b>	<b>- 20 -</b>
----------------------------	---------------

1.4.1. MIGRATION POST-REPRODUCTIVE DES TORTUES VERTES DANS LE SOOI .....	- 20 -
--	--------

1.4.2. DISTRIBUTION SPATIALE DES SITES D'ALIMENTATION .....	- 27 -
---	--------

1.4.3. INFLUENCE DE LA SAISONNALITE DE LA REPRODUCTION SUR LA DISTRIBUTION DES SITES
--

D'ALIMENTATION ET LES CARACTERISTIQUES MIGRATOIRES.....	- 29 -
---	--------

<b>1.5. DISCUSSION .....</b>	<b>- 31 -</b>
------------------------------	---------------

1.5.1. UTILISATION DE L'ESPACE PAR LES TORTUES VERTES EN MIGRATION POST-REPRODUCTIVE .....	- 31 -
--	--------

1.5.2. UTILISATION DES HABITATS D'ALIMENTATION DU SOOI.....	- 32 -
---	--------

1.5.3. VARIABILITE INTERSITES ET INTERSAISONS DE PONTE .....	- 33 -
--	--------

1.5.4. IMPLICATIONS ECOLOGIQUES.....	- 34 -
--------------------------------------	--------

<b>1.6. CE QU'IL FAUT RETENIR.....</b>	<b>- 36 -</b>
--	---------------

<b>2. CONTRIBUTION A L'IDENTIFICATION DU COMPORTEMENT PELAGIQUES DES TORTUES CAOUANNES CAPTUREES ACCIDENTELLEMENT PAR LES PALANGRIERS REUNIONNAIS .....</b>	<b>- 38 -</b>
---	---------------

<b>2.1. CREATION D'UN PARTENARIAT AVEC LES PECHEURS PALANGRIERS REUNIONNAIS .....</b>	<b>- 38 -</b>
---	---------------

2.1.1. MISE EN PLACE D'UNE PROCEDURE POUR RECUPERER LES TORTUES MARINES.....	- 38 -
--	--------

---

2.1.2. CAMPAGNE DE COMMUNICATION/SENSIBILISATION AUPRES DES PECHEURS .....	- 40 -
<b>2.2. ETUDE DU COMPORTEMENT DES TORTUES CAOUANNES EN PHASE PELAGIQUES .....</b>	<b>- 42 -</b>
2.2.1. IMPACT DES DECHETS PLASTIQUES .....	- 42 -
2.2.2. BILAN DE L'ETUDE DE LA MIGRATION DES TORTUES CAOUANNES IMMATURES.....	- 43 -
<b>2.3. CE QU'IL FAUT RETENIR.....</b>	<b>- 45 -</b>
<b>3. INDICATEUR DE PRODUCTION DU PROJET DYMITILE.....</b>	<b>- 46 -</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>- 49 -</b>

---

# Avant-propos

Le projet DYMITILE (*DY*namique *M*igratoire des *T*ortues marines nidifiant dans les *I*LEs de l'*O*céan *I*ndien) a été mis en place en 2 phases administrativement distinctes mais complémentaires d'un point de vue scientifique: la phase 1 sous maîtrise d'ouvrage Kélonia-ASS CEDTM, et la phase 2 sous maîtrise d'ouvrage Ifremer DOI.

Pour des questions de cohérence des actions menées et en accord avec la DEAL de La Réunion, Ifremer DOI et Kélonia ont souhaité réaliser un unique rapport technique de ce projet répondant en tous points aux objectifs des deux phases:

- Phase 1 : La finalisation de l'identification des aires d'alimentation des tortues vertes (*Chelonia mydas*) nidifiant dans les sites français de reproduction par le déploiement de balises argos sur des femelles en ponte sur les sites de Europa et Tromelin. Ce premier volet est le cœur du projet DYMITILE.
- Phase 2 : La mise en place d'une campagne de communication/ sensibilisation auprès des pêcheurs sur la problématique de capture accidentelle de tortues marines. Cette phase devait également permettre de finaliser l'étude, en milieu pélagique, du comportement des espèces particulièrement sensibles aux interactions avec la pêche palangrière.

Comme indiqué dans la convention, ces deux grandes thématiques sont particulièrement complexes à étudier. DYMITILE a donc eu pour vocation également de centraliser et finaliser un certain nombre de projets complémentaires ayant des objectifs similaires.

Le présent rapport intègre donc l'ensemble des connaissances acquises dans le cadre des différentes études menées depuis 1998 sur le déplacement des tortues marines dans l'océan Indien occidental. Cette synthèse s'est donc appuyée sur les projets suivants :

- MODIOT – *Modélisation de la dispersion Océanique des juvéniles de tortues vertes dans le sud-ouest de l'océan Indien* (porté par Kélonia ; Financement Fondation TOTAL ; partenaires : CLS, Ifremer)
- SWIOFP – *South West Indian Ocean Fishery Project - Composante 5 Biodiversité* (Composante portée par Ifremer; Financement FFEM ; partenaire : Kelonia, IRD)
- *By-catch Réunion* (Porté par Kélonia ; financement Kélonia et Crédit Agricole de La Réunion ; partenaire : Ifremer)
- *RunSeaScience* (Porté par IRD ; Action Tortue portée par Ifremer ; Financement UE 7<sup>ème</sup> PC ; partenaire: Kélonia)
- *Action de Coopération entre le CEDTM Kelonia et Mohéli (Union des Comores) pour la conservation de l'environnement marin* (Porté par Kélonia ; financement UE POCT-OI 2007-2013 ; partenaires : Ifremer, ADSEI, PMM)
- ESTVOI – *Ecologie Spatiale des Tortues Vertes de l'Océan Indien* (Porté par le CNRS – CEFE ; financement ANR programme Blanc 2007 ; partenaires : CNRS Strasbourg, Kelonia, Ifremer)
- DYMITILE – *application à Mayotte* (Porté par la DEAL de Mayotte en coopération avec la Collectivité Départementale de Mayotte ; Financement DEAL Mayotte ; partenaires : Ifremer, Kélonia)

DYMITILE intègre également toutes les données spatiales historiques acquises par l'Ifremer et Kélonia (Projet tracking 1998-2000 porté par D. Roos) ainsi que celles de nos partenaires régionaux, et notamment le Mozambique (projet Maluane). L'ensemble de ces résultats n'aurait donc pu être obtenu

sans une étroite coopération et collaboration avec l'ensemble de ces partenaires, qu'ils soient techniques, scientifiques, gestionnaires ou financiers.

Enfin, DYMITILE devait également déboucher sur la rédaction de recommandations scientifiques en vue de l'élaboration du Plan National d'Action (PNA) Tortues Marines dans l'océan Indien. Ce PNA ayant démarré plus tôt que prévu et étant en cours de rédaction par Biotope, Ifremer et Kélonia, les recommandations issues du projet DYMITILE seront directement intégrées dans la rédaction du PNA. Les résultats et conclusions présentés dans le présent rapport sont donc pour une valorisation scientifique et technique ne sont donc pas mises en forme pour le PNA.

## PARTENAIRES



Une partie des données a été gérée dans le cadre de TORSOOI [www.torsooi.com](http://www.torsooi.com)



---

# 1. Migration post reproductive des femelles de tortues vertes

## 1.1. Importance de la migration dans le règne animal

Observée au sein d'une diversité de taxons, la migration est un phénomène qui se manifeste sous de nombreuses de formes, d'un simple déplacement journalier horizontal de quelques centaines de mètres comme chez de nombreuses espèces de zooplancton (Hays 2003) à un déplacement annuel de plusieurs dizaines de milliers de kilomètres comme chez les sternes arctiques (*Sterna paradisaea*) entre le Groenland et l'Antarctique (Egevang et al. 2010). Elle est généralement la conséquence d'une adaptation individuelle à la disponibilité des ressources qui fluctue dans l'espace et dans le temps, de manière saisonnière (essentiellement liée aux saisons climatiques) ou aléatoire (Dingle & Drake 2007). En effet, les simples variations climatiques et les pressions sélectives induites par ces variations peuvent avoir d'importantes conséquences sur l'écologie, l'évolution et la conservation des espèces migratrices. C'est notamment le cas chez les oiseaux migrateurs, chez qui le phénomène de migration est actuellement le plus étudié (Pulido 2007).

Même si ce concept reste complexe, selon Marra et al. (2010), dans sa forme la plus simple et la plus commune, la migration consiste en des déplacements, plus ou moins longs, saisonniers et répétés entre site d'alimentation et zone de reproduction. Ces migrations peuvent alors se produire le long de gradients latitudinaux, altitudinaux ou environnementaux (température, paramètres physico-chimiques) à différentes échelles temporelles (périodicité et fréquence) et à divers stades de vie (Marra et al. 2010). Le phénomène cyclique, incluant phase de reproduction, migration et phase d'alimentation est décrit par le terme de « connectivité migratoire » (migratory connectivity ; Webster et al. 2002; Marra et al. 2010).

Afin d'étudier ce phénomène, trois grandes approches sont majoritairement utilisées : (1) les approches de génétique moléculaire qui permettent de structurer les populations puis d'identifier les sites de reproduction d'origine des individus sur les sites d'alimentation (e.g. oiseaux marins : Haig et al. 1997; tortues marines : Bowen & Karl 2007) ; (2) les approches par isotopes stables, très utilisées sur les oiseaux marins (Rubenstein et al. 2002), qui permettent d'obtenir des informations sur l'aire d'alimentation d'origine des individus pendant la phase de reproduction (Hobson & Norris 2008) ; (3) et enfin la plus courante, l'approche par marquage individuel. Cette dernière est la plus largement répandue. Elle peut reposer sur la simple identification individuelle (e.g. Troëng et al. 2005; Jean et al. 2010), le marquage acoustique (e.g. transmetteurs à hautes fréquences ; Bjorge et al. 2002), la géo-localisation basée sur les heures de lever et de coucher du soleil (Stutchbury et al. 2009; Egevang et al. 2010) ou encore la télémétrie satellitaire qui est maintenant très utilisée dans les études de migration de beaucoup d'espèces (Tomkiewicz et al. 2010).

Les grandes migrations des ongulés africains sont un des exemples les plus emblématiques (Fancy et al. 1988; Berger 2004). En se déplaçant de façon saisonnière entre zones géographiques qui diffèrent en termes de ressources alimentaires, la survie et la fécondité de nombreuses espèces ont évolué vers une stratégie efficace pour exploiter des environnements hétérogènes et variables (Berger 2004). Dans le cas de la mégafaune terrestre africaine par exemple, Holdo et al. (2009) ont mis en évidence le rôle essentiel des fortes précipitations et des gradients de fertilité des zones alimentaires dans les grandes migrations des ongulés.

Le milieu marin propose également des exemples de migrations longues distances, notamment celles de la mégafaune marine tels que les grands poissons pélagiques (Block et al. 2005; Hammerschlag et al. 2011), les oiseaux marins (Croxall et al. 2005; González-Solís et al. 2007), les pinnipèdes (Bjorge et al.

2002), les cétacées (Mate et al. 2007) ou encore les tortues marines (Luschi et al. 2003; Godley et al. 2008). Ces migrations sont conséquentes et certaines espèces peuvent traverser des bassins océaniques entiers pour atteindre leurs aires d'alimentation préférentielles ou des zones de reproduction (e.g. la tortue luth ; Fossette et al. 2010). Une étude récente menée à l'échelle de l'océan Atlantique sur plus de vingt espèces de prédateurs marins a permis d'identifier des habitats essentiels et des couloirs migratoires préférentiels indispensables à une gestion spatiale internationale des grands écosystèmes océaniques (Block et al. 2011).

#### **CE QU'IL FAUT RETENIR**

La compréhension et l'étude de la connectivité migratoire sont indispensables pour une conservation efficace des populations d'espèces migratrices (abondance, diversité génétique, résilience). Cette connaissance concerne essentiellement deux phases : (1) la migration, dirigée par une capacité d'orientation (Luschi 2013) et dépendante d'une capacité à s'adapter à des changements physiques (e.g. barrières, interactions individuelles, perturbations de l'environnement ou changements climatiques ; Krosby et al. 2010), et (2) la caractérisation des sites d'agrégation (zone géographique, composition de la population). Cette connaissance est un prérequis pour protéger les sites concernés (e.g. mise en place d'Aires Marines Protégées - AMP ; Halpern 2003). Dans le cas des espèces migratrices, cela requiert de comprendre les processus qui gouvernent la période et la durée des migrations (Wilcove & Wikelski 2008), les processus de navigation (Luschi 2013), mais surtout la connectivité démographique de ces espèces (Webster et al. 2002).

## **1.2. Les tortues marines du Sud-ouest de l'océan Indien**

### *1.2.1. Les tortues marines*

L'histoire de vie des tortues marines couvrent de grandes échelles temporelles et spatiales (Musick & Limpus 1997; Plotkin 2003). Ces espèces se développent lentement, et n'atteignent leur maturité sexuelle qu'après plusieurs décennies (25-30 ans ; Limpus & Walter 1980). Au cours de leur développement, elles occupent une série d'habitats d'alimentation dispersés sur de vastes zones géographiques. Au stade adulte, les femelles effectuent généralement des migrations sur de longues distances entre les sites d'alimentation et les plages de reproduction natales (Limpus et al. 1992). Elles montrent une grande fidélité à leur site de reproduction (Brothers & Putman 2013) et d'alimentation (Broderick et al. 2007), séparés parfois de plusieurs milliers de kilomètres (Mortimer & Carr 1987). Au cours d'une même phase de reproduction, elles peuvent pondre plusieurs fois et les phases de reproduction, pour un individu donné, sont généralement espacées de 1 à 9 ans voire plus (Miller 1997).

Les chercheurs ont largement utilisé la télémétrie satellitaire pour étudier l'écologie spatiale des tortues marines (Godley et al. 2008) à différents stades de maturité (Shillinger et al. 2012) : migration vers les sites d'alimentation (e.g. tortue olivâtre : Seney et al. 2010) ou vers les sites de reproduction (e.g. tortue de Kemp : Shaver & Rubio 2008), domaines vitaux sur les zones d'alimentation (e.g. tortue imbriquée : Hazen et al. 2012), dérive et capacité de nage des juvéniles (e.g. tortue caouanne : Chapitre 3, Section 2). Ces connaissances ont des implications fondamentales en termes de conservation. Récemment par exemple, une étude de suivi par satellite de 126 tortues luths a permis de caractériser leurs déplacements à grande échelle dans l'océan Pacifique et d'identifier des habitats et des zones à haute fréquentation (Benson et al. 2011).

Le Sud-ouest de l'océan Indien (SOOI) concentre, essentiellement sur des îles isolées, des sites de ponte importants pour la tortue verte (*Chelonia mydas*) : Europa (Le Gall 1988), Aldabra (Mortimer et al. 2011), Mayotte (Bourjea et al. 2007a), Tromelin (Le Gall 1988), Grande Glorieuse (Lauret-Stepler et al. 2007) ou encore Mohéli (Bourjea et al. In prep.). Les tortues vertes y pondent toute l'année, mais il existe une période de reproduction préférentielle, appelée pic de ponte, au cours de laquelle on observe un nombre plus important de pontes. Si pour un même site la période de ce pic est similaire chaque année, elle diffère toutefois entre les sites de ponte variant entre l'été et l'hiver austral (Dalleau et al. 2012).

De plus, on distingue au sein de ces sites de ponte au moins deux stocks génétiques distincts (Bourjea et al. 2007b) bien que la région SOOI soit considérée comme une seule et même Unité de Gestion Régional (UGR ; Wallace et al. 2010). Ces sites de pontes restent relativement bien protégés des pressions anthropiques, et les effectifs des populations qui y nidifient sont pour la plupart en croissance (Bourjea et al. 2007a; Lauret-Stepler et al. 2007; Mortimer et al. 2011; Bourjea et al. In prep.). En revanche, peu d'informations sont actuellement disponibles concernant les zones d'alimentation exploitées par les femelles nidifiant sur ces sites. Seule une étude a mis en évidence une importante capacité migratoire de cette espèce dans la région rejoignant essentiellement des sites d'alimentation autour de Madagascar (Le Gall & Hughes 1987).

#### **CE QU'IL FAUT RETENIR**

Les tortues marines, et donc la tortue verte, représentent des modèles biologiques complexes dont la compréhension des processus clés de leur biologie est indispensable à la gestion des populations du sud-ouest de l'océan Indien. En effet, cette zone unique abrite au moins deux stocks génétiquement distincts et chaque sous stock comprend une importante abondance de reproducteurs dont les patrons de reproduction restent cependant propres à chaque site (Saisonnalité et abondance au pic de reproduction).

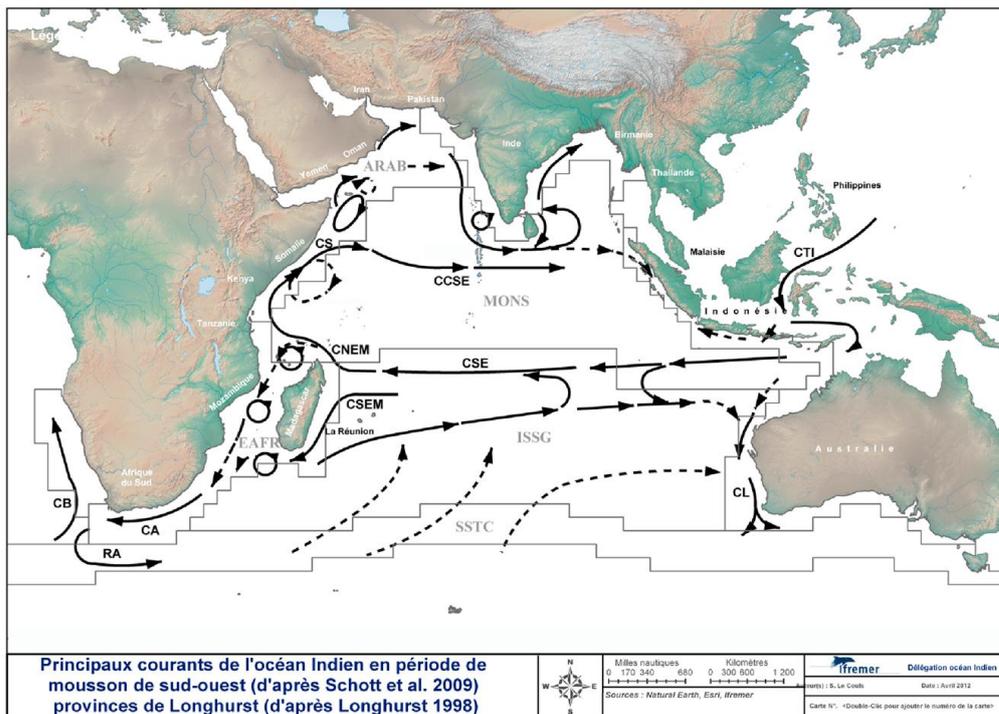
#### *1.2.2. Océanographie*

L'océanographie est complexe dans l'océan Indien (OI ; Figure 1) du fait des périodes de moussons estivales et hivernales, avec généralement une variabilité plus importante dans l'hémisphère nord que dans le sud (Schott et McCreary, 2001).

L'OI est dominé par le Courant Sud Equatorial (CSE) circulant d'est en ouest et se scindant en deux courants au niveau de Madagascar (aux alentours de 17°S) : un vers le sud (le courant Sud Est Malgache - CSEM), l'autre vers le nord (le courant Nord Est Malgache – CNEM). Ce dernier alimente le Courant côtier est africain (CS ; Schott et al., 2009) qui est le principal responsable de la création du contre-courant sud équatorial (CCSE).

Au niveau de l'est de l'OI, la circulation est essentiellement dominée par des rentrées d'eaux du Pacifique via le courant Indonésien (Indonesian Through Flow – ITF/CTI) qui alimente le CSE (Schott et al., 2009).

Les liens avec l'Atlantique sont quant à eux dominés par le courant des Aiguilles (CA), l'un des courants les plus puissants au monde (Lutjeharms, 2005). Ce courant pénètre dans l'Atlantique en créant d'importants gyres glissant dans l'Atlantique sud, et revient en partie dans l'océan Indien en créant la Rétroflexion du Courant des Aiguilles (RA; Richardson et al., 2003).



**Figure 1 Principaux courants de l'océan Indien et provinces écologiques de Longhurst.**

Les lignes indiquent les provinces biogéographiques de Longhurst et les noms associés en caractère régulier (Longhurst, 1998): MONS: Indian Monsoon Gyre Province ; ISSG: Indian South Subtropical Gyre Province ; SSTC : South Subtropical Convergence Province ; ARAB: Arabian Sea Upwelling Province (Cf. Longhurst, 1998). Principaux courants : CSE : courant sud Equatorial ; CCSE : contre-courant équatorial ; CNEM : Courant Nord Est Malgache ; CSEM : Courant Sud Est Malgache ; CS : Courant côtier est africain ; CA : Courant des Aiguilles ; RA : Réflection des Aiguilles ; CB : Courant du Bengale ; CTI : Courant Indonésien ; CL : Courent de Leeuwin)

### 1.2.3. Objectif de l'étude

#### L'OBJECTIF DU PREMIER VOLET DU PROJET DYMITILE EST DE :

- caractériser, par télémétrie satellitaire, les migrations post-reproduction des tortues vertes se reproduisant dans les principaux sites de ponte du SOOI et notamment en identifiant les habitats d'alimentation ;
- déterminer l'existence éventuelle d'un lien entre la saison de reproduction et la migration. En effet, étant donné les variations des paramètres reproductifs à travers la région (abondance et saisonnalité), cette approche cherche notamment à tester l'hypothèse du rôle de l'habitat d'alimentation et de son environnement dans les processus de décision de départ en migration et dans la saisonnalité observée sur les sites de reproduction (Godley et al. 2001; Chaloupka et al. 2008) ;
- d'estimer les principaux couloirs migratoires dans cette région de l'océan Indien en tenant compte à la fois de la saison de reproduction de ces sites, mais aussi de leur abondance relative.

Ces données sont essentielles à l'élaboration des recommandations de gestion pour une approche régionale de la préservation de cette espèce migratrice.

## 1.3. Matériels et Méthodes

### 1.3.1. Zone d'étude

Afin de prendre en compte la variabilité spatiale des patrons de reproduction de la tortue verte dans le Sud-ouest de l'océan Indien (SOOI ; 35°S-5°S, 20°E-60°E), les individus suivis dans le cadre de cette étude ont été capturés sur des sites de ponte stratégiquement répartis à travers la région (Figure 2) : Europa (EUR), Tromelin (TRO), Mayotte (MAY), Mohéli (MOH), Glorieuses (GLO), Juan de Nova (JDN) et Vamizi (VAM). EUR, TRO, MAY et GLO sont les quatre sites principaux de l'étude. JDN, MOH et VAM sont les trois sites secondaires de l'étude. La saisonnalité et les variations inter-sites de la reproduction de la tortue verte sur ces îles sont détaillées dans Dalleau et al. (2012) et résumées dans la Table 1.

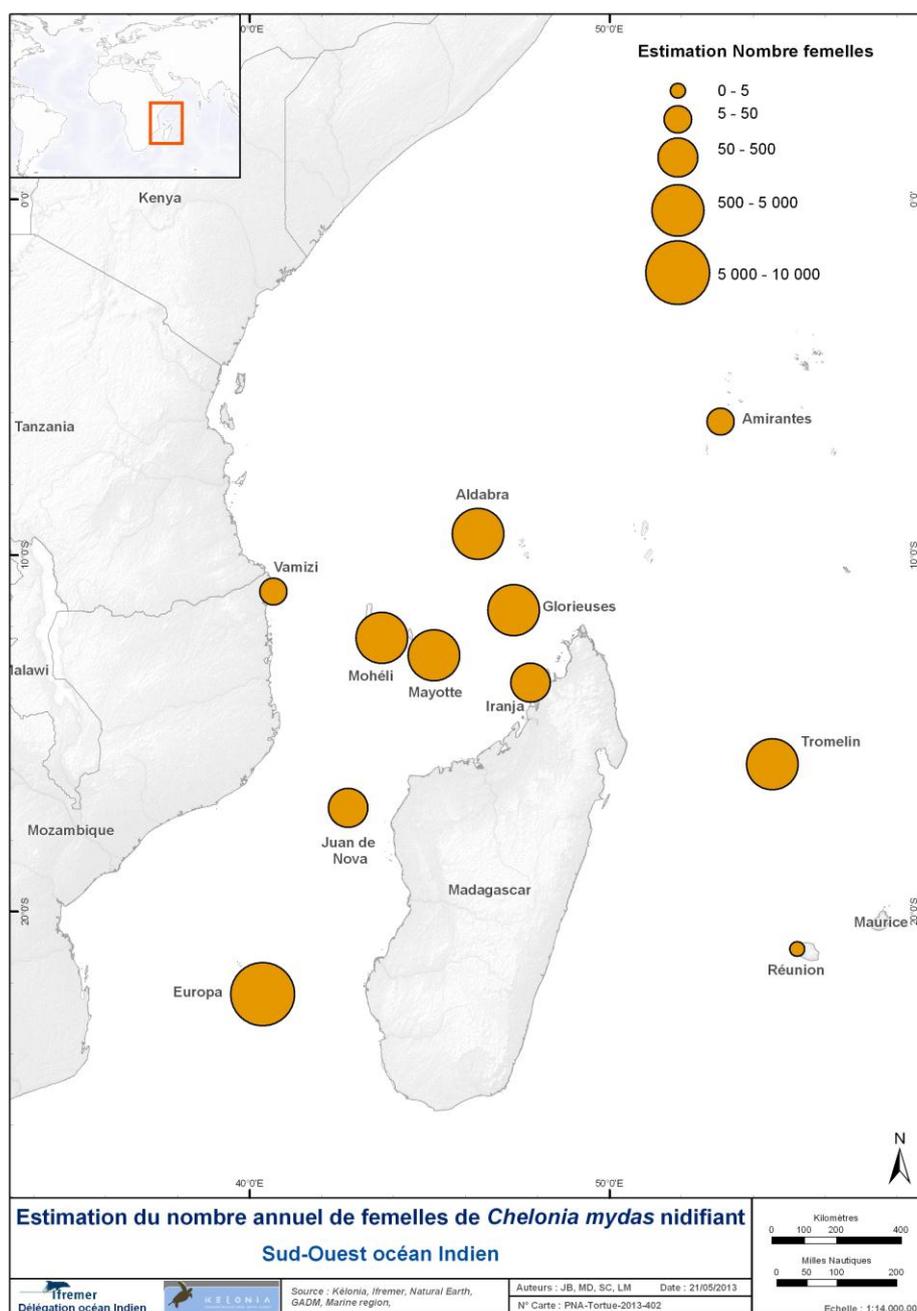


Figure 2 : Principaux sites de ponte des tortues vertes dans le SOOI

**Table 1 : Sites de ponte considérés dans cette étude et stratégie de déploiement.**

Les sites principaux (P) sont ceux pour lesquels on dispose d'au moins 15 trajets migratoires complets et pour lesquels la stratégie de déploiement tient compte de la saison de ponte. Les autres sites sont secondaires à l'étude (S). Les saisons de pontes ont été déterminées à partir de Dalleau et al. (2012) et Lauret-Stepler et al. (2007).

Site	Acronyme	Emplacement	Type	Abondance estimée	Références l'abondance	pour	Saison de ponte	# balises	Année (# balises)	Période de déploiement	
Europa	EUR	22°21'S, 40°21'E	P	8 000	Le Gall et al., 1986;		Pic	15 Oct - 15 Fév	12	1998 (1); 2003 - 2004 (2); 2010 - 2011 (20)	26 Mar ± 23 j.
							Hors-p.	Avr- Sep	11		7 Nov ± 29 j.
Mayotte	MAY	12°51'S, 45°09'E	P	4 500	Bourjea et al 2007a		Pic	1er Avr - 1er Sep	17	1998 (2); 2004-2005 (7); 2011-2012 (20)	24 Juil ± 22 j.
							Hors-p.	Nov - Fév	12		12 Fév ± 32 j.
Glorieuses	GLO	11°33'S, 47°17'E	P	1 500	Lauret-Stepler et al 2007		Pic	20 Fév - 10 Juil	12	2008 (7); 2009 (5); 2010 (10)	18 Juin ± 28 j.
							Hors-p.	Sept - Jan	10		7 Déc ± 21 j.
Tromelin	TRO	15°33'S, 54°31'E	P	1 500	Lauret-Stepler et al 2007		Pic	20 Oct - 20 Fév	11	1999 (1); 2010 -2011 (20)	21 Jan ± 10 j.
							Hors-p.	Mai - Sep	10		8 Oct ± 34 j.
Mohéli	MOH	12°18'S, 43°35'E	S	4 750	Bourjea et al submitted; Benhamou et al 2011		Pic	1er Avr - 1er Sep	2	2001 (1), 2010 - 2011 (4)	27 Juil ± 13
							Hors-p.	Nov - Fév	3		11 Oct ± 1 j.
Vamizi	VAM	11°01'S, 40°40'E	S	50	Garnier et al 2012; Dalleau et al 2012		Pic	-	3	2007-2008 (3)	-
							Hors-p.	-			-
Juan de Nova	JDN	17°03'S, 42°45'E	S	20	Steppler et al, 2010		Pic	-	2	1998 (1); 2011 (1)	-
							Hors-p.	-			-
<b>Total</b>								<b>105</b>			

---

EUR et TRO sont les sites les plus excentrés et isolés de la zone d'étude, respectivement au sud-ouest et à l'est. La saison de reproduction pour ces deux îles présente un pic de ponte marqué durant l'été austral. Les sites MOH, MAY, GLO et VAM sont situés dans le bassin des Comores, dans la partie septentrionale du canal du Mozambique. La saison de reproduction pour ces îles, à l'exception de VAM, présente un pic de ponte moins marqué et durant l'hiver austral. Le site de VAM est le seul site étudié qui soit situé le long de la côte est-africaine. La caractérisation de la phénologie de la reproduction des tortues vertes nidifiant sur ces sites a permis de définir une période de l'année correspondant au pic de ponte et une période correspondant à une activité de ponte moins intense (hors-pic ; Dalleau et al. (2012) ; Table 1).

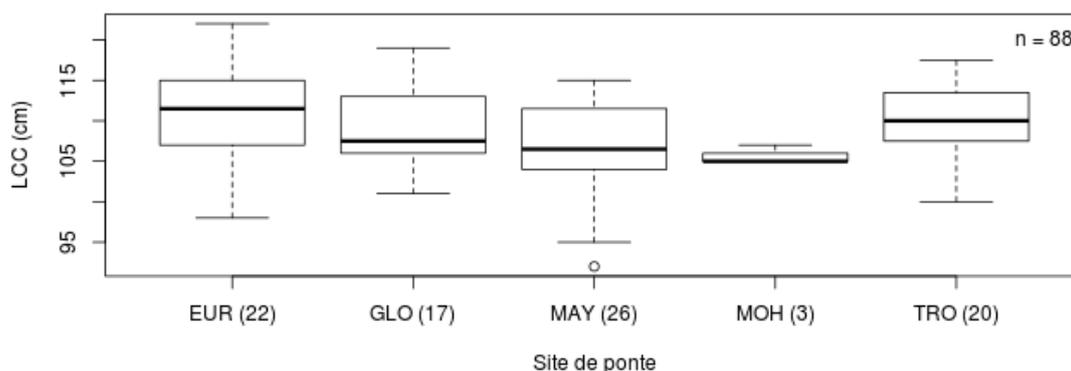
Tous ces sites sont relativement protégés des pressions anthropiques par leur isolement, par les législations locales et par la présence de gestionnaires et d'acteurs de l'environnement assurant la protection au quotidien des tortues marines. EUR, TRO, JDN et GLO sont des îles isolées, protégées et très peu exposées aux pressions anthropiques directes, sur lesquelles des programmes de suivi des populations de tortues marines sont en place depuis des décennies (Lauret-Stepler et al. 2007; Lauret-Stepler et al. 2010). MAY (Bourjea et al. 2007a), MOH (Bourjea et al. In prep.), et VAM (Garnier et al. 2012) sont au contraire des sites exposés à une forte pression anthropique qui accueillent toutefois des programmes de suivi des tortues marines pérennes et conséquents.

### *1.3.2. Télémétrie satellitaire et taille des individus*

Afin d'étudier la dynamique migratoire post-reproductive des tortues vertes, 105 femelles, capturées sur ces sept sites de ponte, ont été équipées d'une balise Argos au cours de ces 15 dernières années (Annexe 1). En particulier de juin 2009 à février 2012, 81 balises Argos ont été déployées sur des tortues vertes en phase de reproduction à EUR (N=20), MAY (N=20), TRO (N=20), GLO (N=15), MOH (N=4) et JDN (N=2). En parallèle, des données similaires ont été récupérées de précédentes études effectuées dans le SOOI : dans les territoires français (GLO, MOH ; N=16), à MOH (N=5 ; Benhamou et al. 2011) ainsi qu'à VAM, au Mozambique (N=3 ; Garnier et al. 2012). Un total de 66 733 positions Argos ont été collectées.

Deux modèles de balises Argos ont été utilisés. La majorité des individus ont été équipés de balises SPOT-5 (Wildlife Computers Inc., Bellevue, Washington ; EUR, JDN, GLO, TRO) mais certains ont été équipés de balises TAM-2639 (Telonics Inc., Mesa, Arizona ; MAY). Les balises ont été fixées sur la carapace de tortues femelles après une ponte au niveau de la seconde écaille vertébrale à l'aide de résine époxy (Power-Fast and Pure2k; Powers Fasteners Inc., Wieringerwerf, Nederland ; adapté de Luschi et al. 2007). Les études précédentes, dont nous avons récupéré les données, ont utilisé deux modèles de balises différents : Kiwisat 101 (Sirtrack, New Zealand ; VAM ; Garnier et al. 2012) et MK10 couplant la technologie Argos à un récepteur Fastloc-GPS (Wildlife Computers, Inc., Bellevue, Washington ; MOH, GLO ; Benhamou et al. 2011) qui permet des localisations plus fréquentes et plus précises.

La longueur courbe curviligne (LCC) de chaque individu a été mesurée et une bague métallique de type Monel permettant d'identifier l'individu a été fixée au niveau de la nageoire antérieure gauche. Les individus suivis par satellite mesuraient en moyenne  $\pm$  ET =  $108.8 \pm 5.8$  cm (Figure 3) et aucune différence de leur taille entre les sites deux à deux n'a été mise en évidence (Table 2). Par conséquent, nous avons considéré qu'il n'existait pas dans notre jeu de données de différences majeures entre les tailles des tortues vertes suivies par site.



**Figure 3 Distribution de la taille (Longueur courbe de la carapace en cm) de tortues vertes femelles suivies par satellite dans le SOOI en fonction du site de ponte d'origine**

(EUR : Europa, GLO : Glorieuses, MAY : Mayotte, MOH : Mohéli, TRO : Tromelin ; entre parenthèses : nombre d'individus suivis).

**Table 2 Comparaisons deux à deux de la taille moyenne des tortues vertes femelles suivies par satellite (test de Tukey).**

Comparaison	Différence (cm)	Limite inférieure	Limite supérieure	p-valeur
GLO-EUR	-0.950	-6.379	4.478	0.967
MAY-EUR	-4.845	-10.064	0.374	0.078
TRO-EUR	-0.137	-4.997	4.724	1.000
MAY-GLO	-3.895	-9.478	1.688	0.264
TRO-GLO	0.813	-4.435	6.062	0.977
TRO-MAY	4.708	-0.324	9.741	0.075

### 1.3.3. Stratégie de déploiement

Le choix des individus et le plan d'échantillonnage ont été des éléments primordiaux de l'étude. Dans la majorité des cas, afin d'optimiser les chances d'observer un départ rapide de l'individu en migration post-reproductive, des campagnes de marquage-relecture ont été menées sur les plages préalablement au déploiement. Ces campagnes ont permis d'avoir un suivi individuel des femelles en ponte. Le choix s'est alors porté sur la capture de tortues ayant déjà réalisé au moins trois pontes, ce qui correspond au nombre moyen de ponte dans une saison individuelle pour la tortue verte dans cette région du monde (Bourjea et al. 2007a). Minimiser le temps de résidence des individus sur le site de reproduction était essentiel non seulement pour limiter les dégradations de la balise qui se produisent souvent lors des phases de repos inter-pontes lorsque les tortues se réfugient dans des trous ou des grottes abrasives, mais aussi pour optimiser la durée de vie de la batterie durant la phase de migration.

Les différences de comportement migratoire en fonction des saisons de reproduction par site ont été testées en adaptant la date de déploiement des balises en fonction de la phénologie de la reproduction sur chaque site de ponte (Table 1). Plus précisément, les balises ont été déployées soit pendant le pic de ponte, soit au contraire, hors du pic de ponte pour chacun des sites. L'objectif était d'observer un départ en migration qui corresponde approximativement à la fin de la saison visée (pic ou hors-pic).

### 1.3.4. Pré-filtre et caractérisation du comportement spatial

Pour les balises de type Argos simple (SPOT 5, TAM 2639, KiwiSat 101), seules les localisations de type 1, 2, 3, A et B ont été conservées. Nous avons donc écarté les localisations de type 0 et Z dont la précision est la plus faible selon la classification Argos (cf. <http://www.argos-system.org>). Pour les balises Argos/GPS (MK10), seules les localisations GPS ont été conservées et associée au type G (GPS). Les données issues des études antérieures ont été associées au type I (indéterminé) lorsque nous ne disposons pas du type de localisation.

Lorsque cela a été possible, nous avons découpé la série temporelle du déplacement en trois phases : (1) une phase de ponte, (2) une phase de migration et (3) une phase d'alimentation. Pour cela, nous avons calculé la vitesse journalière d'éloignement du site de ponte. Lorsqu'un individu séjourne sur le site de ponte avant d'effectuer une migration post-reproductive puis de s'établir sur un site d'alimentation, sa vitesse d'éloignement est typiquement : (1) stable et quasi-nulle lors de la phase de ponte, (2) variable et élevée lors de la phase de migration, (3) puis à nouveau stable et quasi-nulle lors de la phase d'alimentation. Au regard de la distribution de la vitesse d'éloignement pour l'ensemble des trajets, un seuil commun de 5 km.jour<sup>-1</sup> a été fixé pour discriminer une vitesse quasi-nulle d'une vitesse non-nulle. Ainsi, pour chaque trajet, la date de début de la phase de migration a été calculée comme la date du premier jour pour lequel la vitesse d'éloignement au site de ponte est supérieure à 5 km.jour<sup>-1</sup>. De la même manière, la date de fin de la phase de migration a été calculée comme la date du dernier jour pour lequel la vitesse d'éloignement est supérieure à 5 km.jour<sup>-1</sup>. Les phases précédant et succédant la phase de migration ont été définies respectivement comme la phase de ponte et la phase d'alimentation. Nous avons considéré qu'une migration était complète uniquement si la durée de la phase d'alimentation qui s'en suivait était supérieure ou égale à quatre jours.

Sur les 105 individus suivis, 77 ont permis d'obtenir un déplacement migratoire complet. Les balises des 28 individus restants ont cessé d'émettre en cours d'étude, sur le site de reproduction, au cours de la migration ou lors des trois premiers jours sur le site d'alimentation.

### *1.3.5. Emplacement des sites d'alimentation et aires marines protégées*

Dans le cas où la durée de la phase d'alimentation était supérieure ou égale à quatre jours (migration complète), nous avons déterminé l'emplacement moyen du site d'alimentation comme le barycentre de l'ensemble des localisations acquises durant la phase d'alimentation (sans pré-filtre). Pour tenir compte de la précision des données, nous avons pondéré chaque localisation en fonction de son type. Les poids ont été arbitrairement fixés proportionnellement à la précision du type de localisation, de 1 (pour le type B ou I) à 6 (pour le type G) en passant successivement par les types A, 3, 2 et 1.

Pour déterminer si le site d'alimentation se trouvait dans une aire marine protégée (AMP), nous avons récupéré les informations de la base mondiale sur les données des aires protégées ([www.protectedplanet.net](http://www.protectedplanet.net)) qui référence, entre autres, les aires marines protégées de l'Union International pour la Conservation de la Nature (UNEP-WCMC & UICN 2010). Elle a été mise à jour pour le SOOI par le projet Grands Ecosystèmes des Courants Marins des Aiguilles et de Somalie (ASCLME ; <http://www.asclme.org>) en collaboration avec les autres pays de la région et l'IFREMER. Les AMP qui ont été retenues dans cette étude sont les AMP désignées, en cours de désignation ou proposées pour les catégories d'AMP de l'UICN (catégories I-a à VI ; IUCN 1994). Elles correspondent à des AMP effectives pour lesquelles on peut supposer qu'une gestion de l'espace et de ses ressources est mise en place.

### *1.3.6. Migration et filtrage des localisations*

Pour les phases de migration, les localisations ont été filtrées en deux étapes successives : un filtre simple et un filtre par modèle espace-état (MEE). Le filtre simple a consisté à supprimer les localisations apparaissant sur la partie terrestre (*i.e.* se trouvant à plus d'un mètre au-dessus du niveau de la mer selon la bathymétrie Gebco Gridded Global Bathymetry Data ; The GEBCO\_08 Grid, version 20091120, [www.gebco.net](http://www.gebco.net)), ainsi que celles conduisant à une vitesse supérieure à 10 km.h<sup>-1</sup>. Ce type de filtre simple est couramment utilisé pour les tortues marines (Mansfield et al. 2009; Arendt et al. 2012). Le filtre par MEE repose sur un modèle hiérarchique de marche aléatoire corrélée. Il a été implémenté par Breed et al. (2009) sous R (R Core Team 2012) et WingBUGS (Lunn et al. 2000). Hoenner et al. (2012) ont montré qu'il permet d'améliorer significativement la précision des trajets pour les tortues marines suivies par le système Argos. Il a été exécuté avec 10 000 itérations dont 7 000 d'initialisation, une fréquence de

cinq itérations, deux chaînes de Markov et un échantillonnage à trois localisations par jour. Les trajets ont ensuite été contrôlés un à un et d'éventuelles localisations aberrantes ont été supprimées.

### 1.3.7. Caractérisation des couloirs migratoires régionaux

Pour caractériser les couloirs migratoires régionaux, c'est-à-dire les zones qui concentrent l'activité migratoire, nous avons utilisé une méthode de noyau de déplacement (MKDE : Movement-based Kernel Density Estimation ; Benhamou 2011) afin de caractériser la densité d'utilisation de la région SOOI par l'ensemble des individus en migration. Par rapport à la méthode de noyau classique basée sur des localisations supposées statistiquement indépendantes (LKDE : Location-based Kernel Density Estimation), cette méthode permet d'estimer plus finement la densité d'utilisation de l'espace quand les localisations sont sériellement corrélées comme c'est le cas lorsqu'on enregistre un déplacement. En effet, la méthode MKDE estime la densité d'utilisation à partir du temps passé entre localisations successives plutôt qu'à partir de la densité des localisations, comme le fait la méthode LKDE. Elle permet ainsi d'utiliser un facteur de lissage plus petit, calculé à partir du coefficient de diffusion des déplacements (estimé à environ 20000 m<sup>2</sup>/min ; Benhamou 2011).

De plus, le nombre d'individus suivis par satellite pour chacun des sites de ponte ne reflète ni les variations d'abondance existantes entre les différents sites, ni les variations d'abondance entre les saisons de ponte (pic ou hors-pic ; Dalleau et al 2012). Il a donc été nécessaire de pondérer les déplacements de manière à ce que les individus concernés puissent représenter quantitativement les différents sites et saisons de ponte. Les méthodes d'estimation de densité par noyau se prêtent facilement à l'introduction d'une pondération (LKDE : Fieberg 2007 ; MKDE : Benhamou & Riotte-Lambert 2012). Chaque déplacement individuel a donc été pondéré par un coefficient qui correspond au nombre annuel estimé de femelles en ponte pour le site et la saison en question. Les coefficients de pondération obtenus par site et par saison de ponte sont résumés dans la Table 1. Enfin, le milieu terrestre n'étant évidemment pas utilisé par les tortues marines pendant la migration, le continent africain et l'île de Madagascar ont été imposés comme des barrières infranchissables dans le calcul de la distribution de la densité d'utilisation (Benhamou & Cornélis 2010).

### 1.3.8. Analyses statistiques

Le calcul des distances parcourues et de présence d'une localisation dans une ZEE ou AMP ont été réalisés à l'aide du logiciel ArcGIS (ESRI Licence Arcview 10.1). La plupart des analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel R (R Core Team 2012) avec un seuil de significativité  $\alpha$  fixé à 0,05. Les densités d'utilisation définissant les couloirs migratoires ont cependant été calculées par le programme Pascal BRB/MKDE ([www.cefe.cnrs.fr/ecologie-comportementale/simon-benhamou](http://www.cefe.cnrs.fr/ecologie-comportementale/simon-benhamou)) fonctionnant grâce au compilateur FreePascal ([www.freepascal.org](http://www.freepascal.org)).

#### **Distance et durée de migration**

Les distances et durées de migration ne satisfaisant pas les critères de normalité (Test de Shapiro, N = 70 ; distance :  $w = 0.89$ ,  $p < 0,001$  ; durée :  $w = 0.88$ ,  $p < 0,001$ ), nous avons testé la différence de distance et de durée de migration entre les sites à l'aide d'un test de Kruskal-Wallis. Nous avons ensuite testé les différences de taille entre les sites, deux à deux, en utilisant le test de Tukey de comparaisons multiples de moyennes. Seuls les sites principaux ont été pris en compte dans cette analyse.

#### **Saisonnalité et migration**

L'influence de la saison de ponte sur la distance et la durée de migration post-reproductive a été analysée à l'aide de modèles linéaires à effets mixtes (Bates & Maechler 2009). Pour éviter les effets non-contrôlés liés aux spécificités de chaque site de ponte, tel que son emplacement relatif vis-à-vis des

sites d'alimentation, nous avons utilisé le site de ponte comme variable à effets aléatoires. La saison de ponte a été considérée comme une variable à effet fixe. Les critères de normalité et d'homogénéité ont été contrôlés visuellement en vérifiant l'absence de structure ou de pente dans la distribution des résidus en fonction des valeurs prédites. Les modèles ont été validés en comparant la vraisemblance par rapport au modèle nul n'incluant que les variables à effets aléatoires (site de ponte). Pour la distance comme pour la durée de migration, le modèle à effets fixes (saison de ponte et site de ponte) et le modèle nul (site de ponte uniquement) ont été significativement différents (distance :  $p = 0,009$  ; durée :  $p < 0,001$ ).

### Saisonnalité et site d'alimentation

Il est difficile de comparer de manière directe les distributions spatiales des sites d'alimentation selon la saison de déploiement (pic ou hors-pic). Pour comparer ces distributions spatiales, nous avons donc considéré deux critères : (1) la direction des sites d'alimentation par rapport au site de ponte et (2) l'étalement des sites d'alimentation. Les directions des sites d'alimentation vis-à-vis du site de ponte ont été représentées sur un diagramme circulaire en fonction de la saison de déploiement puis comparées visuellement. L'étalement des sites d'alimentation a été décrit par la distance de chaque site d'alimentation au centre de gravité de l'ensemble des sites d'alimentation. En fonction de la saison de déploiement, la distribution de ces distances au centre de gravité ont alors été comparées à l'aide d'un test de permutation exact pour déterminer l'existence d'une différence dans l'étalement des sites d'alimentation.

#### 1.3.9. Résumé des matériels et méthodes

##### CE QU'IL FAUT RETENIR :

- Les tortues vertes femelles en reproduction ont été suivies par télémétrie satellitaire sur les sept principaux sites de reproduction du SOOI : les quatre îles Eparses, Mayotte, Mohéli et Vamizi (Mozambique) ;
- Au total, 81 balises argos ont été déployées de juin 2009 à février 2012 et 24 autres trajets ont été récupérés d'autres équipes dans la région ;
- 105 trajets argos ont ainsi été analysés et 77 ont permis d'obtenir un déplacement migratoire complet incluant l'identification du site d'alimentation final ;
- Quatre sites ont fait l'objet d'une analyse spécifique qui a permis l'étude de l'effet de la saisonnalité sur les caractéristiques des trajets acquis (distance, durée de migration et zone d'alimentation finale) ;
- Enfin, une méthode d'extrapolation prenant en compte à la fois la saisonnalité et l'abondance de tortues vertes en reproduction dans ces sept sites a permis d'estimer les couloirs migratoires océaniques et côtiers de cette espèce dans le SOOI.

## 1.4. Résultats

### 1.4.1. Migration post-reproductive des tortues vertes dans le SOOI

#### 1.4.1.1. Trajets migratoires

Les données de télémétrie satellitaire ont révélé une grande amplitude des migrations post-reproductives des tortues marines dans le SOOI (25°S-5°N ; 20°E-35°E) et une utilisation importante du Canal du

Mozambique, particulièrement la partie la plus septentrionale (Figure 4). Durant ces migrations, les individus ont traversé un minimum de deux ZEE différentes (Annexe 1) mais ce nombre a pu monter jusqu'à sept pour certains individus (ID57798, ID81785 et ID49539 ; Annexe 1).

Pour leur majorité, les migrations se sont déroulées en deux phases successives. La première phase a consisté en une migration relativement directe en zone océanique, orientée est-ouest ou inversement, pour atteindre généralement les côtes malgaches ou est-africaines. La seconde phase a consisté en une migration néritique vers le sud ou le nord pour rejoindre le site d'alimentation (Figure 4).

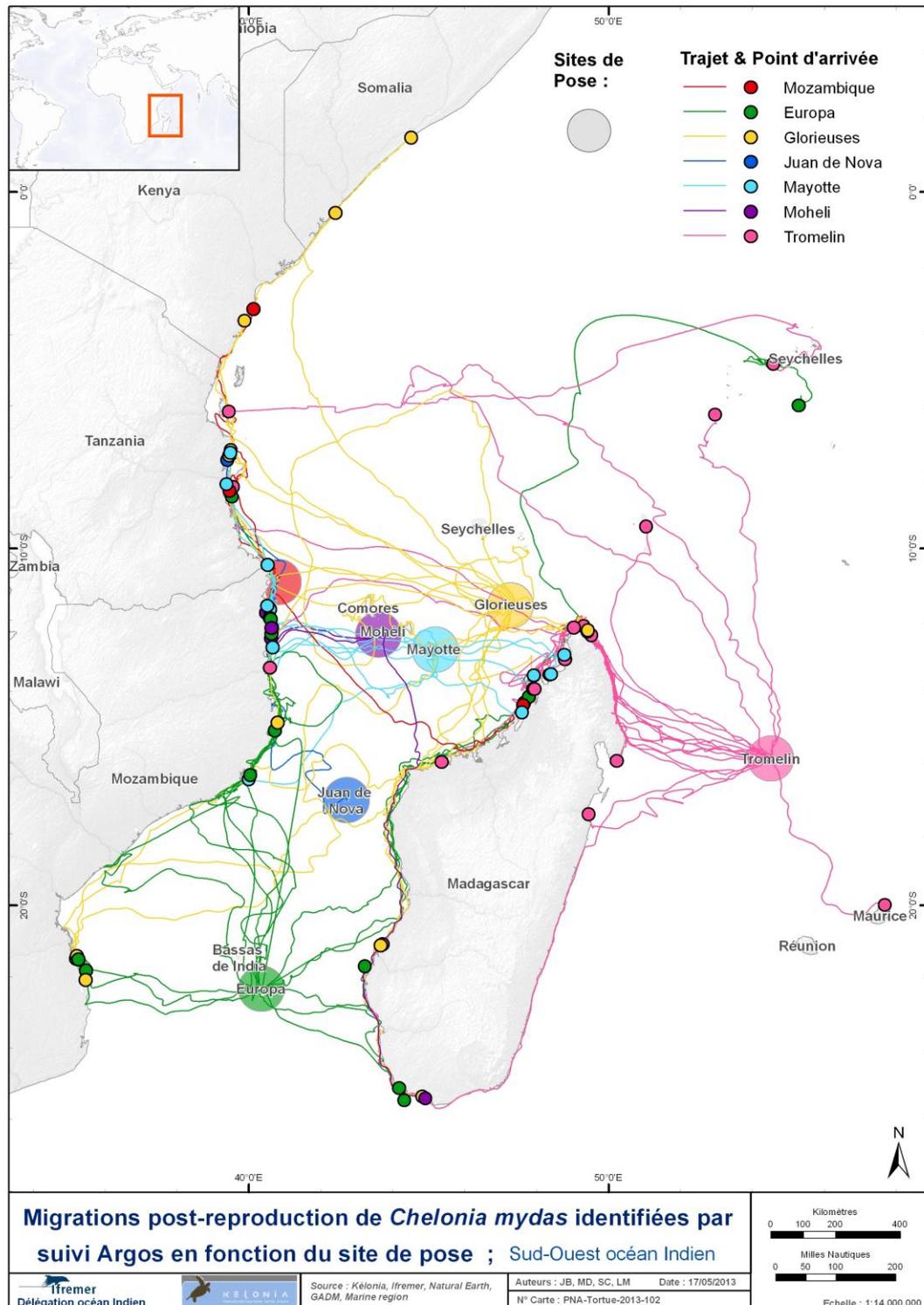
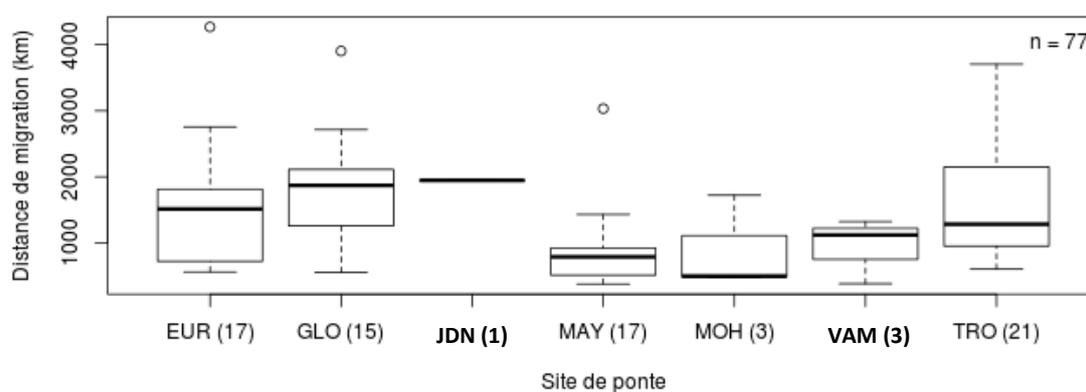


Figure 4 : Migrations post reproductives de *Chelonia mydas* identifiées par suivi Argos en fonction du site de pose.

Pour l'ensemble des sites, la distance moyenne  $\pm$  ET parcourue par les femelles durant leur migration a été de  $1359 \pm 832$  km (médiane : 1184 km ; N = 77 ; Table 3) effectuée en  $21,4 \pm 16,2$  jours (médiane : 20,0 jours ; N = 77 ; Table 3). Certaines tortues n'ont parcouru que quelques centaines de kilomètres en quelques jours (e.g. ID105698 venant de MAY a parcouru 378 km en 5 jours). D'autres ont parcouru plusieurs milliers de kilomètres en plusieurs mois (e.g. ID49577 venant d'EUR a parcouru 4 269 km en 63 jours pour rejoindre les Seychelles ; Annexe 1).

En ne considérant que les sites de ponte principaux de l'étude (EUR, TRO, MAY et GLO), une différence significative a été observée entre distances moyennes parcourues (Kruskal-Wallis,  $df = 3$  ;  $H = 14.94$ ,  $p = 0.002$  ; Figure 5) ainsi qu'entre durées moyennes de migration (Kruskal-Wallis,  $df = 3$  ;  $H = 10.62$ ,  $p = 0.014$  ; Annexe 2, Figure 2). Les tortues venant d'EUR, TRO et GLO ont parcouru des distances importantes et similaires (plus de 1500 km en moyenne ; Table 3). Les seules différences significatives dans les comparaisons deux à deux (test de Tukey) ont été celles qui ont impliqué MAY aussi bien pour la distance (Table 4a) que pour la durée de migration (Table 4b). Les distances parcourues par les individus venant de MOH ( $n = 3$ ), à moins de 150 km de MAY, ont été du même ordre de grandeur que celles des individus venant de MAY (Table 3).



**Figure 5 : Distance curvilinéaire (en km) des migrations post-reproductives de tortues vertes femelles suivies par satellite à partir de site de ponte du SOOI**

(EUR : Europa, GLO : Glorieuses, MAY : Mayotte, TRO : Tromelin, MOH : Mohéli, JDN : Juan de Nova, VAM : Vamizi ; entre parenthèses : nombre d'individus suivis).

#### 1.4.1.2. Relation entre la taille des individus, la distance et la durée de migration

Les corrélations observées entre distance ou durée de migration et la longueur curviligne des individus ont été très faibles (distance :  $r = 0.012$ ,  $p = 0.37$  ; durée :  $r = 0.002$ ,  $p = 0.70$ ). Il n'y a pas eu d'influence de la taille de la tortue sur la distance (Figure 6) ou la durée de migration (Annexe 2, Figure 1). Cependant, il a semblé apparaître une structure dans les données suggérant une distance et une durée limite ne pouvant être dépassées en dessous d'une longueur curviligne donnée (Figure 6). En d'autres termes, les plus petites tortues vertes femelles ne feraient pas de grandes et longues migrations. Indépendamment de la taille des individus, distance et durée de migration ont logiquement été proportionnelles : il faut en moyenne 17 jours pour une migration longue de 1000 km (Figure 7).

**Table 3 : Caractéristiques des migrations post-reproductives et des sites d'alimentation de tortues vertes femelles suivies par satellite dans le SOOI.**

Nombre de balises déployées, nombre d'individus pour lesquels on dispose d'un trajet migratoire complet (>4 jours en phase d'alimentation), distance (curvilinéaire, en km) et durée (en jour) de la phase de migration, nombre de sites d'alimentation identifiés dans une AMP et nombre total de pays au sein desquelles se trouve au moins un site d'alimentation.

	Saison	# balises		# migration		Distance de migration (km)		Durée de migration (jours)		# AMP		# pays d'alimentation	
		Total	Saison	Total	Saison			Total	Saison	Total	Saison		
EUR	Pic	23	12	17	10	1519 ± 967	1261 ± 637	28 ± 31	21 ± 23	7	3	4	3
	Hors p.		11		7		1887 ± 1271		39 ± 29		4		3
MAY	Pic	29	17	17	12	819 ± 280	929 ± 661	9 ± 8	11 ± 8	6	4	3	2
	Hors p.		12		5		799 ± 182		10 ± 5		2		3
GLO	Pic	22	12	15	6	1716 ± 809	1472 ± 624	30 ± 20	22 ± 7	4	1	5	5
	Hors p.		10		9		2023 ± 970		35 ± 24		3		4
TRO	Pic	21	11	21	11	1551 ± 813	1225 ± 584	25 ± 13	19 ± 9	6	4	5	4
	Hors p.		10		10		1919 ± 905		32 ± 13		2		4
MOH	Pic	5	2	3	1	898 ± 714	497	17 ± 13	13 ± 7	2	1	2	2
	Hors p.		3		2		1098 ± 883		21 ± 18		1		
VAM	Pic	3		3		941 ± 495		17 ± 10		2		3	
JDN	Pic	2		1		1946		10 ± 5		0		1	
	Hors p.												
	<b>Total</b>	<b>105</b>	<b>Total</b>	<b>77</b>	<b>Moyenne</b>	<b>1359 ± 832</b>	<b>Moyenne</b>	<b>21,4 ± 16,2</b>			<b>Moyenne</b>	<b>3,4 ± 1,3</b>	

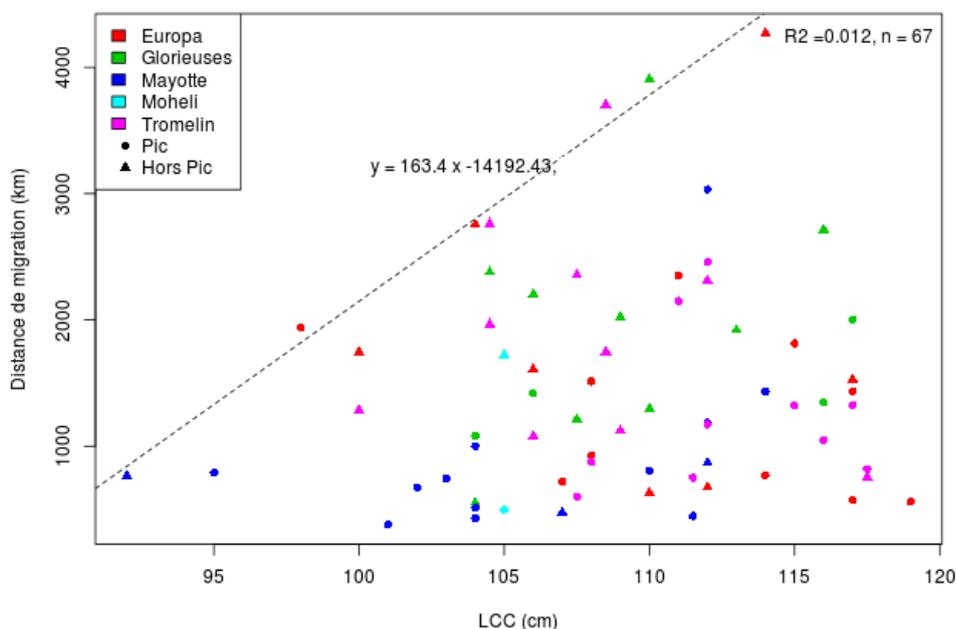
**Table 4 Comparaisons deux à deux de la distance moyenne (a) et de la durée moyenne (b) de la migration post-reproductive de tortues vertes femelles suivies par satellite (test de Tukey) en fonction du site de ponte (\* :  $p < 0.05$ )**

**a**

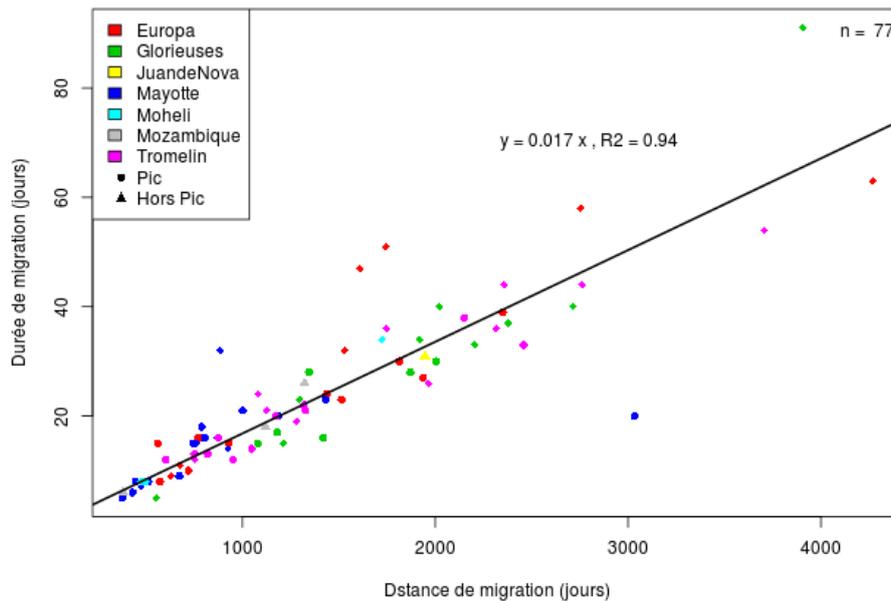
Sites comparés	Différence (km)	Limite inférieure	Limite supérieure	p-valeur
GLO-EUR	288.3	-470.2	1046.9	0.749
MAY-EUR	-616	-1350.4	118.5	0.131
TRO-EUR	32.2	-666.4	730.8	0.999
MAY-GLO	-904.3	-1662.9	-145.8	0.013*
TRO-GLO	-256.1	-980	467.8	0.788

**b**

Sites comparés	Différence (jours)	Limite inférieure	Limite supérieure	p-valeur
GLO-EUR	2.0	-11.8	15.9	0.981
MAY-EUR	-13.2	-26.6	0.2	0.054
TRO-EUR	-2.9	-15.6	9.9	0.933
MAY-GLO	-15.3	-29.1	-1.4	0.025*
TRO-GLO	-4.9	-18.1	8.3	0.763
TRO-MAY	10.4	-2.4	23.1	0.151
TRO-MAY	648.2	-50.4	1346.8	0.078



**Figure 6 : Corrélation entre la distance de migration (en km ; ordonnées) et la taille (LCC en cm ; abscisses) de tortues vertes femelles suivies par satellite à partir des sites de ponte du SOOI. L'équation de la régression et le coefficient de corrélation  $R^2$  sont fournis sur le graphe.**



**Figure 7 : Corrélation entre la durée de migration (ordonnées ; en jours) et la distance (curvilinéaire) de migration (abscisses ; en km).**

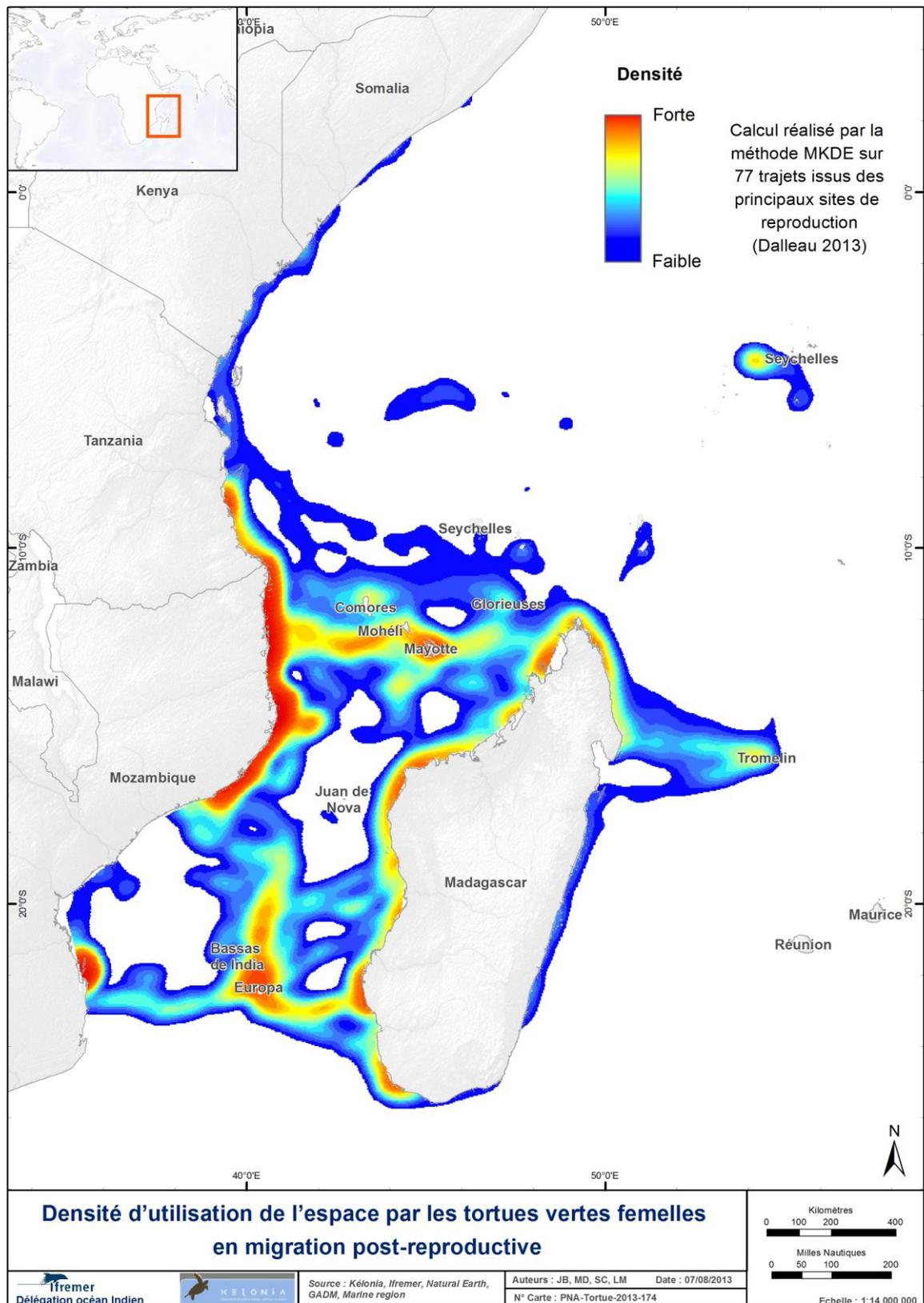
*L'équation de la régression et le coefficient de corrélation  $R^2$  sont fournis sur le graphe. Il faut compter en moyenne 17 jours pour une migration longue de 1000 km.*

#### 1.4.1.3. Densité d'utilisation de l'espace au niveau régional

Le calcul de la densité d'utilisation de l'espace au niveau régional lors des phases de migration, pondérée à la fois par le nombre de femelles en ponte et par la saisonnalité de la reproduction, a fait apparaître l'existence de deux types de couloirs migratoires : un type océanique et un type côtier (Figure 8). Les couloirs migratoires océaniques sont larges (entre 300 et 500 km de largeur) et la densité d'utilisation est généralement faible. Au contraire, les couloirs migratoires côtiers estimés sont étroits (largeur inférieure à 50 km de largeur) et la densité d'utilisation est généralement forte.

Au niveau régional, quatre zones remarquables pour la migration ont été identifiées (Figure 8) : deux zones côtières et deux zones océaniques. Les zones régionales côtières qui présentent la plus forte densité d'utilisation lors de la migration sont : (1) la côte est-africaine, entre les latitudes 8°S (Tanzanie) et 17°S (Mozambique), et (2) dans une moindre mesure l'ensemble de la côte ouest de Madagascar. L'extrême nord-est de la côte malgache est également une zone côtière importante pour la migration. Les zones régionales océaniques les plus fréquentées lors de la migration sont situées : (1) dans la partie septentrionale du Canal du Mozambique (entre 11°S et 14°S) mais il faut noter que les niveaux de densité d'utilisation sont également importants entre la pointe nord de Madagascar et TRO (entre 15°S et 16°S) du fait du nombre important d'individus migrant vers l'ouest depuis TRO, et (2) dans la partie australe du Canal du Mozambique (entre 18°S et 23°S), plus particulièrement entre le Nord du Mozambique et EUR (entre 38°E et 41°E). Les forts niveaux de densité d'utilisation de cette zone du Canal du Mozambique sont essentiellement liés à un nombre important de femelles se reproduisant annuellement à EUR.

En revanche, au centre du Canal du Mozambique autour de JDN (17°03'S ; 42°45'E) ainsi qu'autour de l'archipel des Mascareignes (20°S ; 55°E), les niveaux de densité d'utilisation sont quasi-nuls.



**Figure 8 : Densité d'utilisation de l'espace par les tortues vertes femelles en migration post-reproductive.**  
*Le calcul de ces densités a été réalisé par la méthode MKDE exploitant 77 trajets issus des principaux sites de reproduction de la région SOOI (Voir Table 1).*

## 1.4.2. Distribution spatiale des sites d'alimentation

### 1.4.2.1. Distribution régionale et statut de protection des sites d'alimentation

Les tortues vertes en ponte dans les sites principaux de l'étude se sont nourries sur des sites d'alimentation répartis dans sept pays de la région (Figure 9a). Au total, plus de la moitié des tortues suivies se sont alimentées sur les côtes d'Afrique de l'Est, essentiellement au Mozambique (32,0%) mais aussi au Kenya (3,8%), en Tanzanie (15,4%) et en Somalie (2,5%). Une proportion importante de tortues a également rejoint les côtes de Madagascar (39,7%). Seulement 6% des femelles se sont nourries dans des îles et archipels isolés de la région (Table 5) : quatre individus ont rejoint l'archipel des Seychelles (ID49441, ID49479, ID49577, ID57713) et un individu venant de TRO a rejoint l'île Maurice (ID57687 ; Figure 3; Annexe1).

35% des tortues suivies ont eu un site d'alimentation localisé dans des zones sous statut de protection (Table 3). Parmi les individus issus des sites principaux de l'étude, ceux d'EUR se sont le plus souvent alimentés dans des AMP (41%) à l'inverse de ceux de TRO pour lesquels seulement 28.5% des sites d'alimentation ont été identifiés au sein d'une AMP (Table 3).

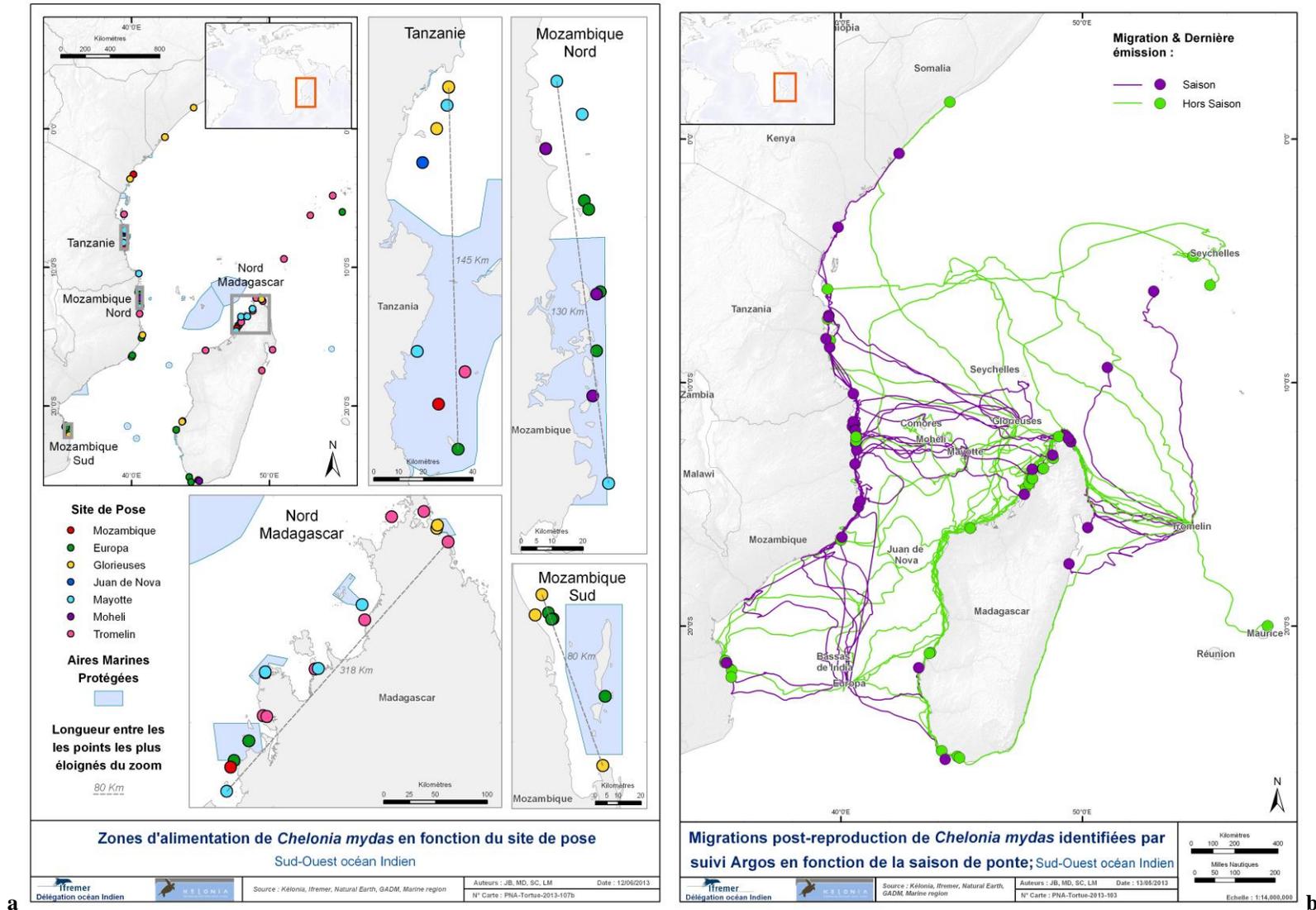
Bien que les sites d'alimentation soient distribués dans toute la région SOOI, quatre zones préférentielles d'alimentation ont concentré presque 60% des tortues suivies (Figure 9a) : (1) le Nord-ouest de Madagascar au niveau de la région de Nosy-bé et des Radamas (N = 18 ; sur 318 km); (2) le Nord-est du Mozambique au niveau de la région des Quirimbas dans la région de Pemba (N = 12 ; sur 130 km) ; (3) la partie centrale de la côte est tanzanienne autour de Mafia dans la région de Lindi (N = 10 ; sur 145 km) ; et (4) le Sud-est du Mozambique au niveau de Bazaruto dans la Région d'Inhambane (N = 7; sur 80 km).

Au niveau de ces quatre zones à forte concentration de sites d'alimentation ou « hotspots », des AMP sont effectivement bien présentes (Figure 9a). Cependant, on constate qu'un nombre important de femelles se sont alimentées à proximité mais en dehors de ces zones protégées (Figure 9a).

**Table 5 : Distribution par pays des sites d'alimentation des 77 tortues vertes suivies par satellite dans le SOOI en fonction de leur site de ponte d'origine.**

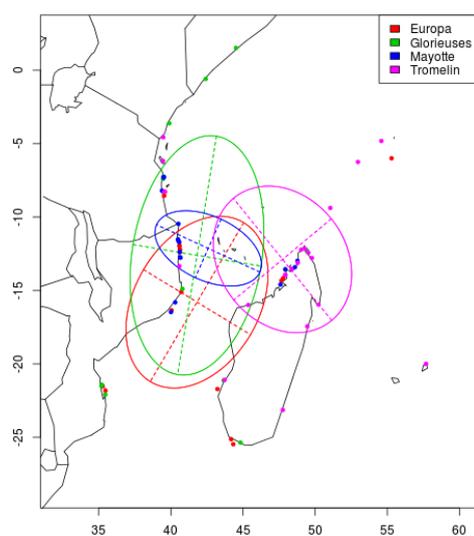
Site	Kenya	Madagascar	Maurice	Mozambique	Seychelles	Somalie	Tanzanie	Total
EUR		5		9	1		2	17
TRO	1	13	1	1	3		2	21
MAY		5		9			3	17
MOH		1		2				3
GLO	1	5		4		2	3	15
JDN							1	1
VAM	1	1					1	3
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>30</b>	<b>1</b>	<b>25</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>77</b>

Figure 9 : (a) Sites d'alimentation et (b) trajets de migration post-reproductrice selon la saison de ponte (pic ou hors-pic) de 77 tortues vertes femelles suivies par satellite dans le SOOI en fonction de leur site de ponte d'origine



### 1.4.2.2. Sites de ponte d'origine des tortues en alimentation

Un fort recouvrement spatial a été observé dans la distribution des sites d'alimentation des tortues suivies en fonction de leur site de ponte d'origine (Table 5 ; Figure 10 ; Annexe 1). Certaines particularités peuvent tout de même être notées. Le centre de gravité des sites d'alimentation des femelles venant d'EUR est le plus austral (Figure 10) tandis que celui de celles venant de TRO est le plus oriental (Figure 10). Les sites d'alimentation identifiés au sud-est du Mozambique (Figure 9a) et au sud-ouest de Madagascar sont essentiellement ceux des tortues venant d'EUR. Quant aux tortues venant de TRO, elles ont été parmi les seules à fréquenter les sites d'alimentation de la côte est de Madagascar (Figure 9a). Les individus venant de GLO sont ceux dont les sites d'alimentation ont présenté la dispersion latitudinale la plus importante (Figure 10). Au contraire, les tortues venant de MAY sont celles dont les sites d'alimentation ont été les moins étalés et les plus proches du site de reproduction (Figure 10).



**Figure 10 : Ellipses de dispersion des sites d'alimentation de tortues vertes femelles originaires de quatre sites du SOOI.**

### 1.4.3. Influence de la saisonnalité de la reproduction sur la distribution des sites d'alimentation et les caractéristiques migratoires

Il n'a pas été observé de différence significative dans la distribution spatiale des sites d'alimentation en fonction de la saison de ponte des femelles suivies (pic ou hors-pic ; Figure 9b). En revanche, les femelles qui ont pondu pendant le pic ont cependant effectué des migrations plus courtes que ce soit en distance ou en durée.

En effet, quel que soit le site de ponte considéré, les directions des sites d'alimentation ne sont pas visuellement différentes selon la période de ponte de la tortue suivie (pic ou hors-pic ; Figure 11). De plus, quel que soit le site de ponte considéré, la distance moyenne au centre de gravité des sites d'alimentation (étalement) n'est pas significativement différente selon que les tortues aient pondu pendant ou hors du pic de ponte (Figure 12 ; tests de permutation exact p-valeur > 0.16). La distribution spatiale des sites d'alimentation n'est donc pas non plus significativement différente selon la saison de ponte pour les sites étudiés (Figure 9b).

En revanche, les caractéristiques migratoires sont significativement différentes selon la saison de ponte pendant laquelle la femelle a débuté la migration (pic ou hors-pic) à la fois concernant la distance parcourue (modèle à effets mixtes ;  $p = 0,012$  ; Figure 13) et la durée de migration ( $p < 0,001$  ; Annexe 1, Figure 3). Lorsque la tortue a pondu hors du pic de ponte, les modèles ont prédit une distance et une durée de migration supérieures en moyenne de 496 km et 12,4 jours.

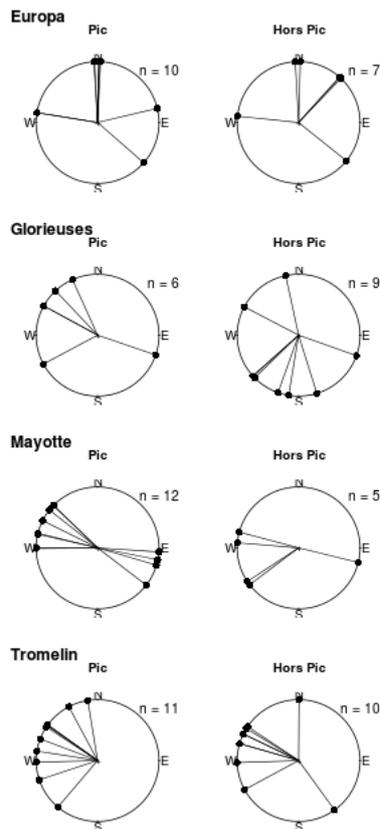


Figure 11 : Direction des sites d'alimentation de tortues vertes femelles originaires de quatre sites de ponte du SOOI en fonction de leur saison de ponte (pic ou hors-pic).

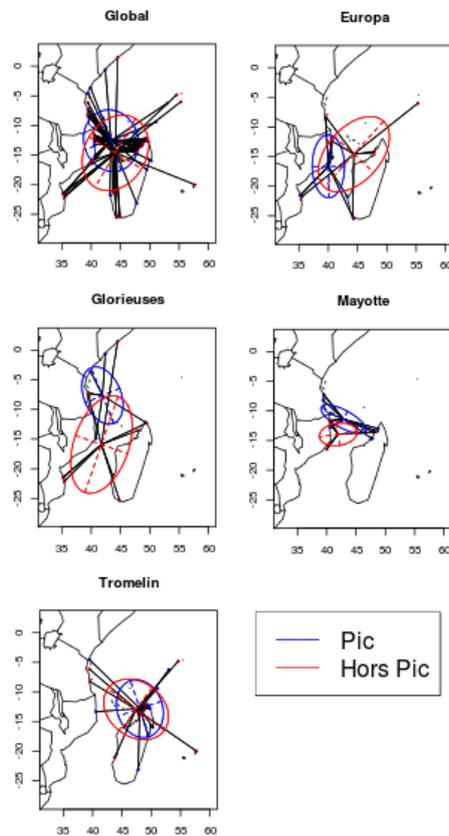
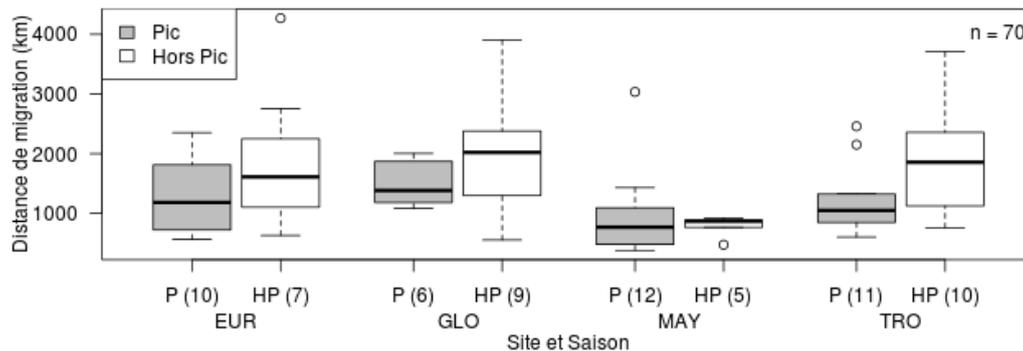


Figure 12 : Comparaison des ellipses de dispersion de sites d'alimentation de tortues vertes femelles originaires de quatre sites du SOOI en fonction de leur saison de ponte.



**Figure 13 : Distance curvilinéaire (en km) des migrations selon la saison de ponte (P : pic ou HP : hors-pic) de 70 tortues vertes femelles suivies par satellite à partir des sites de ponte du SOOI (EUR : Europa, GLO : Glorieuses, MAY : Mayotte, TRO : Tromelin).**

## 1.5. Discussion

### 1.5.1. Utilisation de l'espace par les tortues vertes en migration post-reproductive

La télémétrie satellitaire a permis ces dernières années d'identifier une grande diversité des patrons de déplacements post-reproductifs chez différentes espèces de tortues marines (Godley et al. 2008). Ces déplacements du site de reproduction vers le site d'alimentation peuvent néanmoins être classés en deux catégories principales (Luschi et al. 2003; Plotkin 2003; Godley et al. 2008) : (1) un déplacement direct orienté vers un site d'alimentation bien déterminé, le plus souvent néritique (e.g. la tortue imbriquée ; Marcovaldi et al. 2012), (2) ou un déplacement diffus vers une aire d'alimentation océanique plus vaste (e.g. la tortue luth ; Luschi et al. 2006; Benson et al. 2011). Les résultats de notre étude montrent que les déplacements post-reproductifs des tortues vertes femelles dans le SOOI sont océaniques et/ou côtiers vers des sites d'alimentation néritiques (Figure 4). Ce type de déplacement est partagé par la grande majorité des tortues vertes, qu'elles se reproduisent en milieu insulaire (e.g. l'île d'Ascension dans le Pacifique, Luschi et al. 1998; l'archipel des Samoa dans le Pacifique, Craig et al. 2004; Chypre en Méditerranée, Broderick et al. 2007) ou en milieu continental (e.g. au Costa Rica, Troëng et al. 2005). Ces déplacements sont en général caractérisés par des trajets longs (dans notre cas 1359 km en moyenne, Table 3) et relativement directs.

L'ensemble des tortues de notre étude suivent dans un premier temps un trajet direct dans la zone océanique pour rejoindre les côtes est-africaine ou malgache (Figure 4). Durant cette phase, elles subissent très probablement l'influence des courants, essentiellement au niveau du canal du Mozambique. Au niveau des Glorieuses par exemple, il a été montré que la vitesse des courants peut être du même ordre de grandeur que celle de la nage des tortues vertes adultes (Benhamou et al. 2011). Les structures océaniques de méso-échelle du canal du Mozambique ont également une influence directe sur la navigation des tortues vertes comme autour d'Europa (Girard et al. 2006) ou du gyre des Comores (Luschi et al. 2007).

Dans un second temps, les individus suivis dans le SOOI longent la côte (généralement à moins de 50 km) et utilisent donc la zone néritique pour terminer leur migration et rejoindre le site d'alimentation final (Figure 4). Bien qu'elles puissent engendrer une dépense énergétique accrue et augmentent les risques de mortalité (Sibly & Calow 1986), les zones côtières peuvent servir comme une aide à la navigation (Hays et al. 2002) et représentent une opportunité de croiser des sites d'alimentation temporaires et/ou de repos facilitant globalement le déplacement (Cheng 2000). Notre étude montre, par exemple, que l'île de Madagascar influence la migration post-reproductive des tortues vertes, particulièrement celles se

reproduisant à Tromelin (Figure 4) qui suivent et contournent la côte malgache pour rejoindre leur site d'alimentation. Les tortues marines semblent utiliser ce type de migration en deux phases comme un moyen permettant de rejoindre rapidement des zones d'alimentation en facilitant la navigation (Hays et al. 2002).

La généralisation des caractéristiques de déplacements individuels liés à la migration post-reproductive nécessite un échantillonnage conséquent, représentatif du comportement de l'ensemble des individus venant se reproduire. A notre connaissance, la seule étude disposant d'un échantillonnage similaire à notre étude concerne 126 trajets de tortues luths acquis en 8 années à l'échelle de l'océan Pacifique (Benson et al. 2011). Du fait des caractéristiques propres du déplacement de cette espèce (essentiellement océanique) et de l'échelle spatiale concernée, aucun couloir migratoire n'a été mis en évidence. Dans le SOOI, en revanche, sur la base de 77 trajets et de la connaissance des caractéristiques des sites de reproduction suivis (Dalleau et al. 2012), nous avons pu caractériser des couloirs migratoires relativement larges en zone océanique et plus étroits en zone néritique. De plus, du fait du plan d'échantillonnage utilisé, ces couloirs migratoires tiennent compte des caractéristiques reproductives propres à chaque site de ponte (Lauret-Stepler et al. 2007; Dalleau et al. 2012) et donc au moins en partie de la variabilité de l'environnement qui les influencent (i.e. la température de l'eau ; Dalleau et al 2012).

Nos résultats mettent en évidence l'existence d'un couloir migratoire océanique entre la pointe Nord de Madagascar et le Nord du Mozambique (entre 11°S et 14°S) ainsi qu'une zone à forte densité d'individus en migration dans le Sud du Canal du Mozambique (Figure 8). On remarque également un couloir migratoire océanique entre Tromelin et Madagascar (entre 14°S et 17°S) qui rassemble certainement la majeure partie de l'activité océanique pour ce type de migration à l'Est de Madagascar. L'aspect diffus de ces couloirs océaniques est probablement lié, au moins en partie, à la variabilité des courants dans la zone (Scott et al 2009) et à leur influence sur la dynamique spatiale des tortues vertes adultes (Luschi et al. 2013).

Le point le plus remarquable de nos résultats est la mise en évidence de couloirs migratoires néritiques denses et bien définis (Figure 8). Les tortues qui naviguent le long de ces linéaires côtiers peuvent être en phase de recherche d'une aire d'alimentation potentielle ou suivre la côte plus probablement pour rejoindre un site d'alimentation déterminé (Hays et al. 2002) comme c'est souvent le cas chez la tortue verte (Broderick et al 2007). Nous pouvons donc supposer que les couloirs côtiers sont stables dans le temps et représentatifs des migrations côtières de la tortue verte dans la zone.

#### *1.5.2. Utilisation des habitats d'alimentation du SOOI*

La tortue verte est la seule espèce se nourrissant quasi exclusivement de phanérogames marines et d'algues après le recrutement juvénile (Bjorndal 1997). Elle en est d'ailleurs l'un des principaux consommateurs (Aragones et al. 2006). Les tortues vertes se reproduisant dans les principaux sites de ponte du SOOI s'alimentent à travers toute la région, en grande partie le long de la côte est-africaine (53,7% des individus suivis ; Table 5 ; Annexe1) et malgaches (39,7% des individus suivis), des zones qui hébergent parmi les plus importants herbiers de phanérogames marines de la région (Gullström et al. 2002).

On remarque tout de même de grandes zones non-exploitées, principalement à l'est de Madagascar et sur une partie des côtes mozambicaines entre 18 et 21°S (Figure 9a). Ces zones représentent plus de 1 500 km de côte. L'absence de tortue en phase d'alimentation dans ces zones est très probablement liée à l'absence d'herbiers de phanérogame (Andréfouët S. Com. Pers.) et donc d'habitats d'alimentation favorables pour cette espèce.

Par ailleurs, nous n'avons pas observé d'individus exploitant les habitats d'alimentation des îles du Nord du Canal du Mozambique (6% uniquement ; Table 5). Or, le lagon de Mayotte par exemple est constitué

d'importants herbiers de phanérogames marines (Ballorain et al. 2010) et de nombreuses tortues vertes adultes exploitent cet habitat d'alimentation tout le long de l'année (Ballorain 2010). Il en va de même pour Mohéli (Bourjea et al. In prep.) et probablement pour les autres îles des Comores et des Seychelles. On pourrait supposer que les individus s'alimentant sur ces îles proviennent de sites de ponte qui n'ont pas été considérés dans notre étude. Cependant, à l'exception des îles coralliennes seychelloises (Mortimer et al. 2011), la stratégie d'échantillonnage couvre les principaux sites de ponte de la région (Dalleau et al. 2012). Les autres sites qui existent le long des côtes est-africaine et malgache (Rakotonirina 2011) concernent un nombre moins important de femelles nidifiantes (<http://seaturtlestatus.org/>). De plus, les seules études de télémétrie satellitaire menées à partir de ces sites de ponte côtiers, au Kenya (N = 14 ; WWF/KWS; [http://www.seaturtle.org/tracking/?project\\_id=307](http://www.seaturtle.org/tracking/?project_id=307)) ou en Tanzanie (N=7 ; SeaSense ; [http://www.seaturtle.org/tracking/index.shtml?project\\_id=760](http://www.seaturtle.org/tracking/index.shtml?project_id=760)) ont montré que ces tortues ne rejoignent pas des habitats d'alimentation insulaire. Au contraire, elles se déplacent majoritairement le long de la côte est-africaine (Tanzanie, Kenya, Somalie), ce qui ne fait que renforcer l'importance du couloir migratoire côtier identifié par la présente étude. L'absence de tortues suivies s'alimentant dans les îles est plus probablement la conséquence d'une surface relative d'habitats d'alimentation plus faibles dans ces îles que le long des côtes est-africaines et malgaches.

Notre étude a également mis en évidence deux caractéristiques notables sur la distribution des sites d'alimentation de la tortue verte dans la région.

(1) Tout d'abord, bien que ceux-ci soient répartis le long d'un large gradient latitudinal (de 3°N à 26°S), la distribution des sites d'alimentation n'est pas homogène. En effet, 60% des tortues suivies se regroupent en quatre zones considérées ici comme des « hotspots » d'alimentation pour cette espèce : deux au Mozambique, une en Tanzanie et une à Madagascar (Table 5). Cette distribution est certainement étroitement liée à la distribution hétérogène des herbiers de phanérogames marines dans la région (Andréfouët Com. Pers.).

(2) De plus, trois de ces quatre zones sont situées sur des couloirs migratoires côtiers : le Nord-est du Mozambique, la zone centrale de la côte tanzanienne et le Nord-ouest de Madagascar (Figure 9a). La tortue verte étant, à quelques exceptions près (Cheng 2000), fidèle au site d'alimentation d'un cycle sur l'autre (Limpus et al. 1992; Troëng et al. 2005; Broderick et al. 2007), ces « hotspots » d'alimentation contribuent fortement à justifier la stabilité dans le temps des couloirs migratoires côtiers identifiés.

### 1.5.3. Variabilité intersites et intersaisons de ponte

Peu de variabilité a été observée dans les distances et les durées de migration des femelles se reproduisant dans les principaux sites du SOOI (Table 4 ; Figure 5 ; Annexe 1, Figure 2). De plus, aucune différence significative n'a été observée quant à la distribution de leur site d'alimentation : on retrouve sur ces habitats d'alimentation un mélange de tortues femelles originaires de l'ensemble des sites de la région et aucune zone d'alimentation propre à un site de ponte particulier n'a pu être identifiée. Ce type de résultats a déjà été mis en évidence grâce à la génétique des populations qui a clairement indiqué que les tortues issues de divers sites de ponte se mélangeaient sur les sites d'alimentation (Amarocho et al. 2012; Proietti et al. 2012). Si la structuration génétique des femelles en reproduction est maintenant bien décrite dans le SOOI (Bourjea et al. 2007b), aucune étude n'avait pu montrer un tel mélange sur les sites d'alimentation. Les caractéristiques des déplacements migratoires des tortues en reproduction ne semblent donc pas globalement contraintes par la distribution des ressources dans la région où de nombreux sites d'alimentation sont disponibles.

Cependant, quelques singularités locales peuvent être soulignées au niveau des caractéristiques migratoires et de la distribution des aires d'alimentation en fonction du site de ponte d'origine. La première est que les zones d'alimentation les plus proches d'Europa (Sud-est du Mozambique et Madagascar) ou de Tromelin (Nord et Est de Madagascar) semblent être utilisées préférentiellement par les femelles venant de ces sites (Figure 8a), ce qui peut se justifier par une minimisation de la longueur

des trajets migratoires entre sites de ponte et d'alimentation. La seconde spécificité concerne les femelles suivies depuis Mayotte qui ont migré sur des distances et des durées plus faibles que celles suivies depuis les autres sites. Comme Mohéli, Mayotte est située au centre du Canal du Mozambique à mi-distance entre les principales aires d'alimentation d'Afrique de l'Est et de Madagascar. Elle est donc plus proche des aires d'alimentation que les autres sites et les femelles doivent parcourir des distances plus faibles pour rejoindre leur site d'alimentation, particulièrement ceux d'Afrique de l'Est.

Notre étude n'a pas non plus détecté de différence de distribution des aires d'alimentation en fonction de la saison de ponte (pic ou hors-pic ; Figure 12). La saisonnalité observée au niveau des pontes dans les principaux sites de reproduction du SOOI ne semble donc pas être liée à l'aire d'alimentation utilisée. En revanche, la distance et la durée des migrations des femelles qui pondent en dehors du pic de ponte sont significativement plus importantes que celles venant se reproduire durant le pic. Les différences de déplacements migratoires qui existent en fonction de la saison ne semblent donc pas liées à l'emplacement du site d'alimentation, mais d'avantage aux caractéristiques du déplacement nécessaire pour rejoindre l'aire d'alimentation. Les différences observées en fonction de la saison de ponte peuvent s'expliquer :

- (1) soit par une variabilité des conditions environnementales rencontrées,
- (2) soit par une variabilité des caractéristiques individuelles de déplacement.

Si la température influence la reproduction des tortues marines, il est peu probable que les températures rencontrées lors de la migration soient le facteur explicatif car le pic de ponte a lieu indifféremment en été ou en hiver austral selon les sites (Dalleau et al. 2012). Par contre, étant donné l'influence des courants sur les trajets migratoires (Girard et al. 2006; Luschi 2013), il est possible que les courants soient à l'origine de ces différences saisonnières. En effet, même si les courants du sud de l'océan Indien présentent des variations moins importantes que ceux du nord (Schott & McCreary 2001), les périodes de mousson de Sud-ouest et de Nord-est engendrent d'importantes variations de leur activité (Schott et al 2009). L'hypothèse de variations individuelles dans les capacités de déplacement et de navigation semble être plus vraisemblable. De telles variations individuelles pourraient s'expliquer par une différence d'«expérience» de la tortue, en supposant que les performances de déplacement et de navigation s'améliorent avec le nombre de cycles reproductifs effectués par un individu. Un tel phénomène d'apprentissage a déjà été mis en évidence chez les pigeons voyageurs (Wiltschko et al. 1976, 1984; Papi 1986) ou encore chez les poissons migrateurs comme le saumon (Jonsson et al. 1990). Afin de démontrer l'importance de l'expérience, il serait intéressant d'analyser le comportement des individus venant pondre à l'inter-saison : viennent-ils systématiquement en dehors du pic de ponte ou ont-ils tendance à se recentrer sur le pic lors de leur migration de reproduction ultérieure?

Si la saisonnalité de la ponte au niveau populationnel est corrélée à la température de surface de la mer près du site de ponte (Dalleau et al. 2012; Mazaris et al. 2013), nos résultats suggèrent que le déterminant individuel de la période de la ponte (pic ou hors-pic) repose d'avantage sur des variations individuelles dans la capacité de déplacement et/ou de navigation que sur des variations environnementales, notamment au niveau des sites d'alimentation.

#### *1.5.4. Implications écologiques*

Les tortues vertes du SOOI sont actuellement considérées comme une seule Unité de Gestion Régionale (UGR), dont le niveau de risque d'extinction est parmi ceux les plus bas au niveau mondial (Wallace et al. 2011). L'étude de l'écologie spatiale des tortues vertes femelles en migration post reproductive dans cette région confirme l'aire de répartition de cette UGR. Wallace et al. (2011) ont cependant classé cette UGR comme subissant des menaces d'un niveau important. En effet, les tortues marines sont victimes non seulement d'importantes d'exploitations directes ou indirectes (Jackson et al. 2001), mais aussi de la destruction des habitats auxquels elles sont associées notamment les herbiers marins pour ce qui

concerne la tortue verte (Waycott et al. 2009). La pêche et le braconnage de tortue marine ont été identifiés dans le SOOI comme les principales sources de mortalité pour les tortues marines, aussi bien durant leur migration que sur leur habitat d'alimentation (FAO 2006; Bourjea et al. 2008; Claro et al. 2010). Ce constat est le même que dans le reste du monde où ces activités peuvent altérer les habitats, et perturber l'ensemble de l'écosystème (Pauly et al. 2002; Garcia & Cochrane 2005).

La présente étude a permis de mettre en évidence des couloirs migratoires fréquentés par un nombre important de tortues vertes mais également exposés à un niveau conséquent d'activités humaines, notamment la pêche. Dans la zone océanique, les interactions entre les tortues marines adultes et les pêcheries pélagiques industrielles restent très faibles dans le SOOI, que ce soit avec les palangriers océaniques (e.g. Miossec & Bourjea 2003; Petersen et al. 2009) ou avec les thoniers senneurs océaniques européens (Clermont et al. 2012). En revanche, dans la zone néritique, les interactions avec les pêches côtières artisanales ou industrielles représentent une menace majeure pour les tortues marines, et la tortue verte en particulier, dans l'ensemble des pays de la région. A titre d'exemple, chaque année, plus de 10 000 tortues vertes sont victimes de la pêche artisanale sur la côte ouest de Madagascar (Humber et al. 2010), un des principaux couloirs migratoires côtiers identifiés dans la région. Le même constat peut être fait au niveau des couloirs migratoires côtiers de la côte est-africaine, au Mozambique (Louro et al. 2006) ou en Tanzanie (Muir 2005). De même, le chalut de fond est reconnu pour être une pêcherie côtière responsable de taux de mortalité importants pour les tortues vertes (e.g. Gove et al. 2001; Casale 2011). Or, le Mozambique, la Tanzanie, le Kenya et Madagascar ont tous une flottille de chalutiers crevettiers opérant à la côte et responsables dans la région de 80 000 – 100 000 tonnes de captures accessoires et accidentelles (Fennessy et al. 2004). Des solutions sont disponibles et ont été proposées pour limiter les captures de tortues comme les dispositifs d'exclusion qui réduisent de manière importante les captures accidentelles de tortues marines par les chaluts (Fennessy et al. 2008). Mais l'une des mesures de gestion les plus efficaces pour les tortues vertes en phase néritique reste les AMP. Une analyse mondiale regroupant 116 trajets de tortues vertes en migration post-reproductive dans les trois grands océans a permis de mettre en évidence que 35% des tortues avaient un habitat d'alimentation dans une AMP (Scott et al. 2012). Ce chiffre est similaire pour les 77 tortues suivies dans notre étude dont 35% des habitats d'alimentation sont dans des AMP (Madagascar : 36% ; Mozambique : 40% ; Tanzanie 41% ; Annexe 1). Ce pourcentage reste du même ordre de grandeur si l'on s'intéresse uniquement aux quatre « hotspots » identifiés pour la région (Figure 9a). On aurait cependant pu s'attendre à des pourcentages supérieurs, la présence de tortues étant un indicateur de la santé des écosystèmes en contribuant à leur maintien (Jackson et al. 2001).

Il est donc souhaitable que les gestionnaires des pêches et de la biodiversité des différents pays de la région utilisent les résultats de cette étude pour faire évoluer les plans de gestion des ressources dont ils sont responsables. Trois actions prioritaires peuvent être proposées.

(1) Les pays accueillant des couloirs migratoires et/ou un « hotspot » régional d'alimentation devraient mettre en place ou faire évoluer l'emplacement des AMP. A titre d'exemple, dans le Nord-est du Mozambique (Figure 9a), une zone de quelques dizaines de kilomètres au nord de l'AMP des Quirimbas a été identifiée comme une zone d'alimentation importante pour la tortue verte et n'est cependant pas sous statut de protection (Figure 9a).

(2) Il est également nécessaire de mettre en place des mesures de gestion spécifiques des pêcheries côtières, en particulier le long des couloirs migratoires côtiers et au niveau des « hotspots » d'alimentation. Cela requiert un meilleur suivi des activités de pêche dans ces zones ainsi qu'une évaluation du nombre de prises accidentelles de tortues marines. Ces études permettront de mieux cibler les mesures prioritaires à dégager.

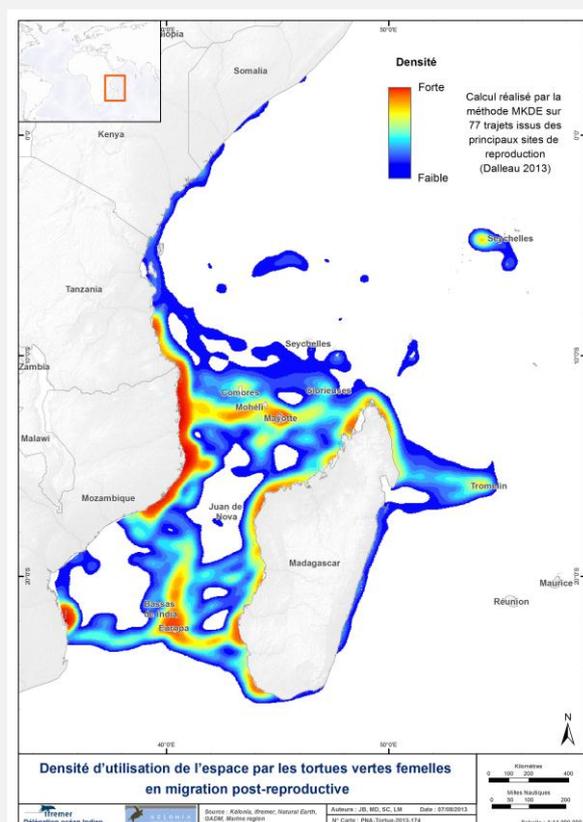
(3) Enfin les pays tels que la France, les Seychelles et les Comores, qui n'accueillent pas de couloirs migratoires ou « hotspots » d'alimentation au sein de leurs territoires mais qui possèdent d'importants sites de reproduction (Dalleau et al. 2012) devraient initier et développer la mise en place de

coopérations internationales pour assurer une gestion cohérente et efficace de ce patrimoine naturel partagée. La meilleure illustration est le nombre de prises importantes de tortues marines dans la région de Tuléar à Madagascar, susceptible d'affecter essentiellement la population d'Europa et de Glorieuses, sous administration française, mais également celle de Mohéli dans l'union des Comores.

## 1.6. Ce qu'il faut retenir

Le premier volet du projet DYMITLE a ciblé l'étude de la dynamique spatiale des tortues vertes en phase post reproductive dans le SOOI. L'outil de télémétrie satellitaire a été utilisé pour caractériser les couloirs de migration et localiser les sites d'alimentation fréquentés par les femelles après leur ponte. Il a aussi permis d'étudier les différences liées à la dynamique temporelle reproductive cette espèce. Les principaux résultats sont les suivants :

1. Il existe deux « hotspots » régionaux importants à la fois en termes de couloirs migratoires et de zones d'alimentation : le Nord du Canal du Mozambique (5°S to 15°S) et le Sud du Canal du Mozambique (15°S to 25°S). Ces deux zones sont contrastées concernant l'origine des populations nidifiantes qui utilisent ces habitats d'alimentation.



2. Le « hotspot » du Nord du Canal du Mozambique regroupe des habitats d'alimentation majeurs pour la quasi-totalité des populations nidifiantes de la région. Le couloir migratoire principal s'étend de la pointe Nord de Madagascar à la frontière du Mozambique et de la Tanzanie.

3. Le Sud du Canal du Mozambique est fréquenté essentiellement par la population nidifiante d'Europa avec un hot spot d'alimentation ciblé au sud du Mozambique. Le couloir migratoire principal s'étend entre Europa et les côtes du Nord du Mozambique. Deux couloirs secondaires existent, l'un vers Madagascar, l'autre vers le Mozambique.
4. Peu de menaces pèsent sur les femelles tortues vertes lorsqu'elles transitent par les couloirs migratoires océaniques. Par contre d'importantes menaces pèsent sur ces individus lorsqu'ils transitent ou se fixent le long des couloirs migratoires côtiers.
5. Cette étude a donc mis en évidence que les tortues femelles se reproduisant dans les territoires français de l'océan Indien sont potentiellement menacées le long de la côte est Africaine, entre le nord du Mozambique et le centre de la Tanzanie, mais aussi le long de l'ensemble de la côte ouest de Madagascar.
6. Les tortues vertes se reproduisant à Europa sont quant à elles potentiellement plus menacées dans les régions sud de la zone, au Mozambique (Région de Bazaruto) et à Madagascar (région de Tuléar).
7. Afin d'améliorer la conservation des tortues vertes nidifiant dans les territoires français de l'OI, il est donc indispensable de favoriser les coopérations avec les régions des pays accueillant ces « hotspots ».
8. Les connaissances sur les couloirs migratoires et des zones d'alimentation des tortues vertes adultes sont partielles et récentes, et il semble indispensable de poursuivre ce type d'approche dans les années à venir afin de valider leur stabilité.

## 2. Contribution à l'identification du comportement pélagiques des tortues caouannes capturées accidentellement par les palangriers réunionnais

### 2.1. Création d'un partenariat avec les pêcheurs palangriers réunionnais

#### 2.1.1. Mise en place d'une procédure pour récupérer les tortues marines

Dans le cadre du projet DYMITILE, un partenariat a été développé par Kélonia et Ifremer avec (1) les capitaines de navires de pêche palangrière, mais aussi avec (2) la cellule technique d'aide à la pêche palangrière CAPRUN. Ce partenariat, sur la base du volontariat, a permis de réduire directement la mortalité des captures accidentelles de tortues marines par les palangres dérivantes. En effet, une procédure a été mise en place pour limiter l'impact de cette activité de pêche sur la mortalité des tortues marines.

**La procédure est la suivante :** lorsqu'une tortue marine est capturée accidentellement par un palangrier, et que l'hameçon ne peut pas être retiré par le pêcheur, les tortues sont conservées à bord, la capture déclarée au CROSS Réunion (Direction de la Mer Sud Océan Indien – DMSOI) qui informe Kélonia. Le Centre de soins de Kélonia dépêche alors un véhicule pour récupérer la tortue à quai et met en place une intervention chirurgicale afin de retirer l'hameçon. Cette opération se fait à la Clinique vétérinaire de St Louis sous anesthésie générale (gazeuse ; Figure14).

L'hameçon est localisé par radiographie puis retiré. La tortue est ensuite transférée au centre de soins, où elle est mise sous traitement antibiotique et progressivement alimentée. Elle restera en bassin individuel tant qu'elle nécessite des soins journaliers, puis elle rejoindra les bassins de grand volume jusqu'à son retour dans le milieu naturel. Les paramètres sanguins sont régulièrement contrôlés pour s'assurer du bon état de santé de la tortue et lorsque ceux-ci sont stables, qu'elle se nourrit normalement et qu'elle a retrouvé son poids de capture, elle est relâchée entre 10 et 20 milles au large de La Réunion soit par le pêcheur lui-même, soit par une embarcation affrétée par Kélonia.



Figure 14 : Une tortue caouanne en pleine opération à la clinique vétérinaire de St Louis sous anesthésie générale (gazeuse)

Chaque tortue ainsi récupérée fait l'objet d'une fiche d'identification détaillée permettant la traçabilité de l'individu (Figure 15)



l'observatoire des tortues marines



**FICHE D'IDENTIFICATION**

**Nom : CAROTTE**



*Caretta caretta*

**PHOTO-IDENTIFICATION**




**CARACTERISTIQUE INDIVIDU**

Espèce : Caouanne (*Caretta caretta*)  
 Sexe : Femelle  
 Poids : 54,3 kg  
 Longueur Curviligne : 72 cm  
 N° de Bague : RUN0314  
 N° transpondeur : 046553  
 Numéro Génétique : CCFRUN0807  
 Balise Argos : TELONICS  
 Modèle : TAM - 4425  
 N°Balise : 643047A  
 N°ID : 68845

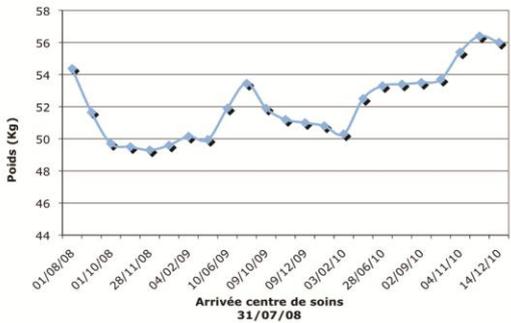
**CARACTERISTIQUE de l'opération:**

Date de récupération : 31.07.08  
 Origine : Capture accidentelle  
 Contact : JUSTATAO, Capitaine PAPE, 0692.86.78.08  
 GPS ou lieu : 8 milles au large de la Réunion  
 Date de relâché : 23.12.10 à 8h55  
 GPS ou lieu : Large St-Leu -21.16804 / 55.26664

**OBSERVATION** Pêche accidentelle avec hameçon dans l'œsophage.  
 Opérée avec succès le 31.07.10



**Evolution du poids de 046553 carotte**  
 (Cc,Femelle, Arrivée le 31/07/08)

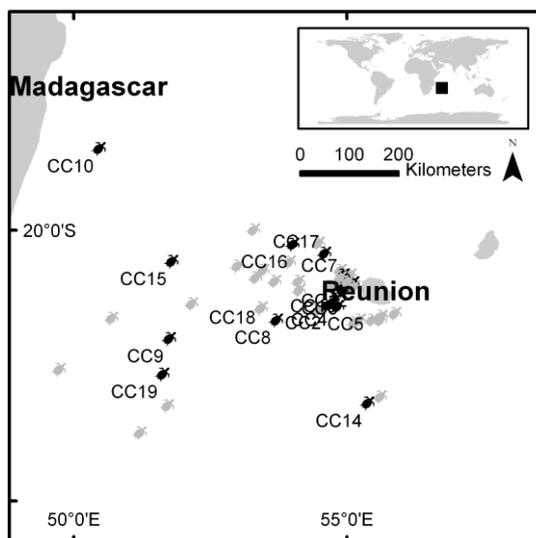


Date	Poids (Kg)
01/08/08	54.5
01/10/08	51.5
28/11/08	49.5
04/02/09	49.5
10/06/09	51.5
09/10/09	53.5
09/12/09	51.5
03/02/10	51.5
28/06/10	52.5
02/09/10	53.5
04/11/10	56.5
14/12/10	56.5

**Figure 15 : Exemple d'une fiche d'identification et de suivi d'une capture accidentelle**

Cette procédure a permis de récupérer plus de 60 tortues entre 2007 et 2012 (Figure 16). L'expérience acquise par le Dr Schneider et l'équipe de Kélonia ces 3 dernières années a permis d'accroître les taux de survie des tortues opérées qui dépasse aujourd'hui les 80%.

Les tortues sont systématiquement parrainées par des scolaires, ou parfois le grand public, afin d'associer ce programme de conservation aux actions de sensibilisation à la préservation du public. Les pêcheurs sont tenus informés du devenir des tortues capturées et ont la possibilité de participer au parrainage. Ce sont les pêcheurs qui choisissent le nom de baptême des tortues.



**Figure 16 : Localisation des sites de capture accidentelle de tortues marines par les palangriers réunionnais.**  
*Les tortues numérotées ont été suivies à l'aide d'une balise argos.*

### 2.1.2. Campagne de communication/sensibilisation auprès des pêcheurs

Afin d'accroître le nombre de tortues ramenées par les pêcheurs, de les sensibiliser aux captures accidentelles de tortues marines et à les inciter à contacter le Centre de soins de Kélonia pour limiter l'impact des hameçons, Kélonia et Ifremer ont mis en place des plaquettes spécifiques (Figure 17). Ces plaquettes ont été réalisées et imprimées dans le cadre de DYMITLE.



**Figure 17 : Plaquette d'identification des tortues marines distribuées aux pêcheurs palangriers réunionnais**  
*(Annexe 3)*

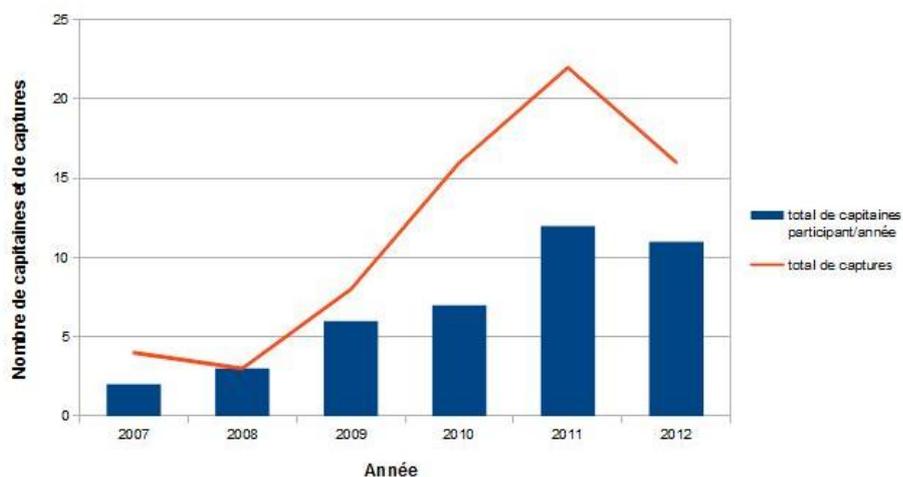
Cette plaquette plastifiée destinée aux pêcheurs présente les différentes espèces de tortues marines de l'océan Indien, leurs caractéristiques morphologiques et biologiques, leur statut et les gestes à accomplir en cas de capture accidentelles de tortue. Afin d'homogénéiser les protocoles et de mutualiser les coûts de réalisation (maquette), cette plaquette a été réalisée en partenariat avec la Commission Thonière de

l'Océan Indien (IOTC / CTOI) et le secrétariat général de la Communauté du Pacifique (CPS). Cette plaquette est distribuée aux pêcheurs réunionnais selon deux réseaux parallèles :

- par Kélonia lors de la récupération de tortues ;
- par l'intermédiaire des organisations professionnelles (Cap Run) ou lors de formation (patron de pêche).

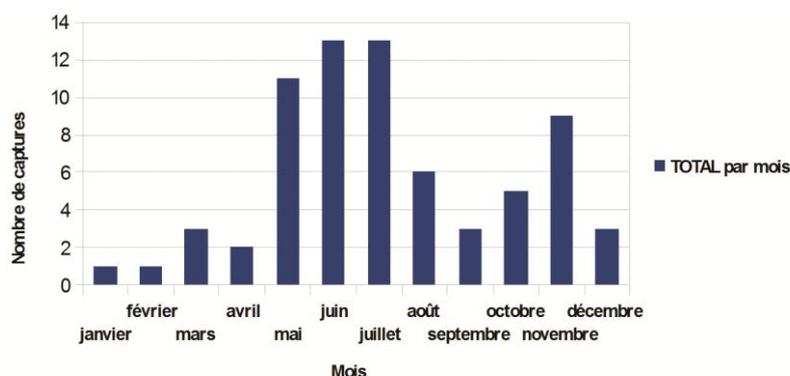
La CTOI a distribué cette plaquette à l'ensemble des palangriers en activité dans l'océan Indien.

En plus de ces plaquettes, Kélonia et Ifremer ont contacté les pêcheurs sur les quais pour leur présenter le partenariat mis en place avec certains d'entre eux et les résultats obtenus en terme de préservation des tortues mais également en terme de connaissance sur la biologie de ces espèces, et sur les interactions avec la pêche palangrière. L'objectif de cette campagne de sensibilisation était d'accroître le nombre de pêcheurs partenaires du projet et augmenter le nombre de tortues prises en charge par le centre de soins. Cette campagne a été un succès puisque le nombre de capitaines de pêche partenaires a fortement augmenté ces dernières années avec plus de 12 capitaines en 2011 ayant ramené 22 tortues (Figure 18).



**Figure 18 : Evolution du nombre de capitaines de navire palangrier partenaires de DYMITILE et du nombre de tortues ramenées au centre de soins de Kélonia.**

Ce partenariat a également permis de mieux comprendre la nature des interactions entre la pêche palangrière réunionnaise et les tortues marines. Les captures accidentelles ont lieu toute l'année, mais deux pics apparaissent sur la base des tortues accueillies en Centre de soins (Figure 19). Les pêcheurs confirment que les captures répondent à des cycles avec des périodes sans capture suivies de captures successives.



**Figure 19 : Evolution du nombre de tortues marines par mois capturées par les palangriers réunionnais et ramenées au centre de soin (données 2006 – 2012)**

Le type d'hameçons utilisés a été dans la mesure du possible noté pour chaque tortue (Figure 20). L'expérience acquise ces dernières années au niveau du centre de soins a permis de mettre en évidence que le type d'hameçon ne semble pas avoir d'impact sur le taux de capture. Il semble cependant influencer sur l'importance de lésions provoquées à la tortue et donc leur survie post opératoire. Il faudrait cependant accroître le nombre de données pour permettre des tests statistiques robustes.

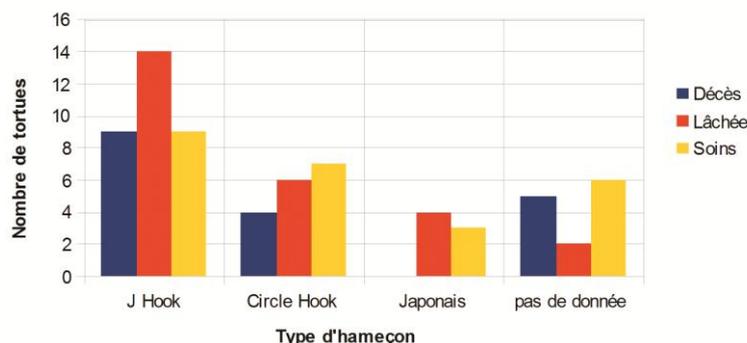


Figure 20 : Etat post opératoire de la tortue capturée accidentellement en fonction du type d'hameçon

## 2.2. Etude du comportement des tortues caouannes en phase pélagiques

### 2.2.1. Impact des déchets plastiques

Le bilan de ce partenariat avec les pêcheurs palangriers a mis en évidence que la tortue caouanne *Caretta caretta* est la principale espèce de tortue marine capturée accidentellement par les palangriers au large des côtes réunionnaises (21,2°S ; 55,3°E) (Figure 16).

Le suivi des tortues durant leur séjour en centre de soins et une fois relâchées aura permis d'accroître significativement les connaissances sur cette espèce et son statut dans l'océan Indien. Au cours des premiers jours en centre de soins de nombreux débris plastique sont retrouvés dans les fèces des tortues (briquet, brosse à dent, bouchon, débris, cordage ; Figure 21) attestant de l'impact des déchets plastiques sur la faune marine. Les déchets sont systématiquement collectés, afin de suivre dans le temps la nature et la quantité de déchets ingérés par les tortues.



Figure 21 : Déchets retrouvés dans les fèces d'une tortue caouanne capturée accidentellement par un palangrier réunionnais

## 2.2.2. Bilan de l'étude de la migration des tortues caouannes immatures

Le suivi Argos de tortues caouannes accueillies par la centre de soins après leur guérison, a permis de mieux comprendre le comportement migratoire de cette espèce. L'objectif de cette étude était d'étudier leur comportement spatial et leur comportement de plongée afin de mieux comprendre les interactions avec les pêcheries hauturières. Le bilan détaillé de cette étude a été acceptée le 10 août 2013 dans la revue « Marine Biology »

Dix-huit individus (Longueur Courbe Curviligne : moyenne  $\pm$  ET = 67,7  $\pm$  5,4 cm) ont été équipés à l'aide de balises Argos<sup>TM</sup> et relâchés au large des côtes réunionnaises (Figure 16, 22). La période de suivi a duré entre 20 et 401 jours. Les trajets Argos montrent des comportements spatiaux selon deux patterns principaux :

- certaines tortues restent en zone océanique,
- d'autres se rejoignent le littoral des côtes africaines et de la péninsule arabique

Quatorze balises étaient munies d'un capteur de profondeur et ont donc aussi enregistré les profils de plongée. Trois types de plongée ont ainsi été identifiés. Les plongées courtes (<13 min) et peu profondes (<30 m) sous la surface ont totalisé 79% des plongées (essentiellement entre 0 et 10 m pendant le jour, et entre 10 et 30m pendant la nuit). Les plongées longues (>13 min) et peu profondes (<30 m) ont totalisé 15% des plongées, et les plongées profondes (>30 m) 6%. La profondeur maximale de plongée n'a dépassé 200 m qu'en de rares occasions. L'essentiel des plongées profondes a été observé durant les phases transit, lorsque les tortues ne font que passer rapidement dans une zone donnée. Lors des phases de résidence, lorsque le temps de résidence dans une zone est plus important, les plongées profondes ont alors été rares ou absentes. Un tel changement de comportement peut être lié à la recherche et la présence de proies.

Une minorité d'individus (17%) est restée à proximité des eaux réunionnaises, d'autres (22%) se sont dirigés vers de Sud-Ouest pour rejoindre les zones de convergence au sud de Madagascar. La grande majorité (61%) s'est déplacée vers le Nord. La direction de nage de ces derniers correspond à la direction du site de ponte principal de l'hémisphère Nord situé sur l'île de Masirah Island au Sultanat d'Oman (20.5°N, 58.8°E), qui accueille l'une des plus importantes populations de tortues caouannes au monde (la balise de cinq individus a cessé de transmettre alors que les tortues se trouvaient à moins de 1000km de ce site de ponte et à plus 4000km de La Réunion). C'est la première fois qu'une migration entre deux hémisphères est mise en évidence chez les tortues caouannes

Ces résultats sont importants pour évaluer l'impact de la pêche palangrière réunionnaise sur les populations de tortues caouannes de l'océan Indien et orienter les mesures de gestion. DYMITILE a permis grâce à ces premiers résultats, d'orienter les actions de recherche vers de nouveaux partenariats basés sur une thématique nouvelle. Un projet a été déposé dans ce sens auprès de l'Union Européenne pour bénéficier d'un financement BEST, qui a été accordé suite à l'intervention de l'AFD pour amender ces fonds. Le programme COCA-LOCA (Connectivité des populations de tortues CAouannes dans l'ouest de l'océan Indien : mise en place de mesures de gestion au niveau LOCAL et régional) démarrera au second trimestre 2013 et comprend un programme avec Oman.

Pour plus d'information sur COCA-LOCA :

[http://iucn.org/news\\_homepage/news\\_by\\_date/?12524/Connectivity-of-the-Loggerhead-turtle-in-the-Western-Indian-Ocean](http://iucn.org/news_homepage/news_by_date/?12524/Connectivity-of-the-Loggerhead-turtle-in-the-Western-Indian-Ocean)

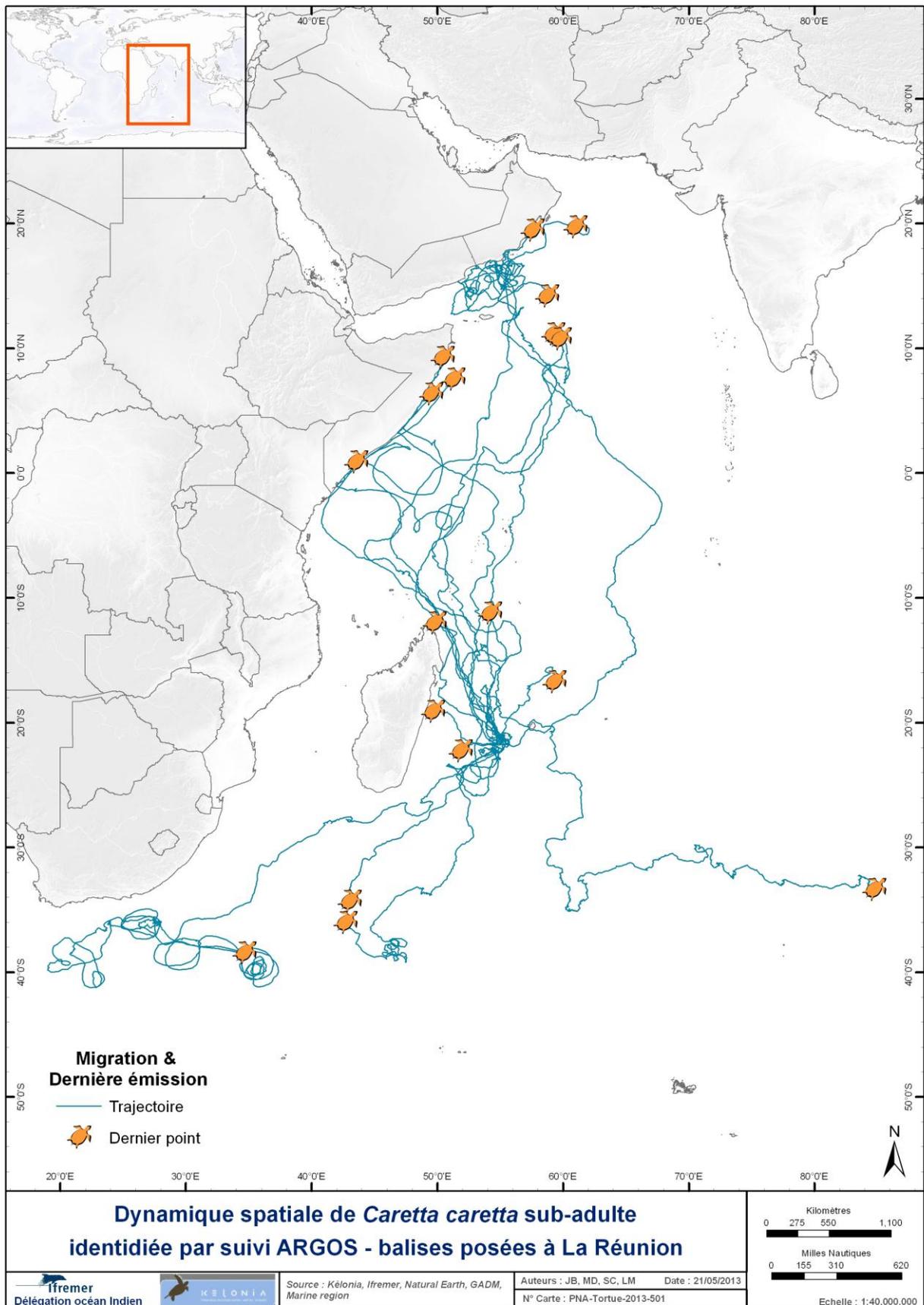


Figure 22 : Dynamique spatiale des tortues caouannes immatures capturées accidentellement par les palangriers de La Réunion.

## 2.3. Ce qu'il faut retenir

La seconde partie du projet DYMITILE s'est focalisée sur les captures accidentelles de tortues marines par les palangriers réunionnais. L'objectif était de (1) sensibiliser les pêcheurs afin de réduire l'impact des captures accidentelles de tortues marines et (2) d'améliorer les connaissances sur la dynamique spatiale de la principale espèce capturée par cette pêcherie : la tortue caouanne.

1. Le nombre de pêcheurs palangriers à La Réunion contribuant volontairement au programme a été multiplié par quatre en quatre ans.
2. L'espèce dominante capturée par cette pêcherie est la tortue caouanne au stade juvénile immature, et ce indépendamment du type d'hameçon utilisé. Cependant, les interactions avec cette pêcherie semblent faibles en termes de nombre d'individus capturés.
3. Les tortues caouannes immatures capturées accidentellement semblent appartenir en majorité aux populations du nord-ouest de l'océan Indien, ce qui suggère un cycle de développement trans-équatorial.
4. Les tortues caouannes immatures de l'ouest de l'océan Indien ciblent les zones productives de la mer d'Arabie pour l'hémisphère Nord et de la réflexion des Aiguilles pour l'hémisphère Sud.
5. Comme dans l'océan Atlantique Nord, les stratégies d'alimentation océanique et néritique coexistent chez les caouannes immatures de l'ouest de l'océan Indien.
6. Les caouannes immatures passent la majorité du temps à des profondeurs inférieures à 30m (98,5%) qu'elles soient en phase néritique ou océanique.
7. Les plongées sont plus nombreuses et plus courtes le jour où les immatures passent la majorité du temps à moins de 10m de profondeur. La nuit les immatures passent la majorité du temps à moins de 30m de profondeur.
8. Les phases d'alimentation océaniques sont associées aux zones frontales océaniques, généralement plus productives.
9. Les immatures de l'hémisphère Sud sont exposées à des températures de surface de la mer (22°C) inférieures à celles des immatures de l'hémisphère Nord (28°C).
10. L'ensemble de ces informations expliquent l'existence d'interactions avec la pêche palangrière, l'engin et la tortue caouanne fréquentant les mêmes masses d'eau.
11. Le partenariat entre Kélonia/Ifremer et les pêcheurs palangriers réunionnais doit être maintenu pour continuer à limiter le taux de mortalité des tortues marines capturées accidentellement. Cette diminution du taux de mortalité passe par le maintien, voire le développement du centre de soins de Kélonia.

### 3. Indicateur de production du projet DYMITILE

Période 2010 – 2013

Nombre de papiers scientifiques soumis ou en préparation	4
Nombre de rapports de mission	6
Nombre de présentations orales	9
Nombre de Posters scientifiques	4
Vulgarisation scientifique	6
Plaquette de vulgarisation	1

#### Papiers scientifiques :

- Gangat Y, Dalleau M, David D, Sebastien N, Payet D. 2010. Turtles are the turtles. European Simulation and Modelling Conference, ESM'2010: Eurosis, Hasselt, Belgique (Annexe 4)
- Benhamou S, Sudre J, Bourjea J, Ciccione S, De Santis A, and Luschi P (2011) The role of geomagnetic cues in green turtle open sea navigation. PloS ONE, 6(10): e26672. doi:10.1371/journal.pone.0026672
- Dalleau M, Benhamou S, Sudre J, Ciccione S, Bourjea J (accepted) Movement and diving behavior of late juvenile loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the Western Indian Ocean. Marine Biology
- Dalleau M, Kramer-Schadt S, Gangat Y, Bourjea J, Lajoie G, Grimm V. (En préparation) Including individual spatial behavior and resource-allocation strategies reveals high priority sites for conservation of green sea turtle *Chelonia mydas*.

#### Rapports / Documents de travail :

- Bourjea J, Dalleau M (2011) Expédition Europa 2011, Rapport de Mission Europa, 16 Novembre – 2 décembre 2011 IFREMER/ KELONIA / CNRS. 20p
- Ciccione S (2012) Rapport de mission Europa, programme DYMITILE, 7 Avril – 11 avril 2012. 10 p.
- Jean C, Barret M (2011) Rapport de mission à Europa (programme DYMITILE) du 28 février au 25 mars 2011. 19p
- Dalleau M, Leporchou L (2010) Rapport de mission à Tromelin du 29 décembre au 3 février 2010. 12 p.
- Bourjea J, Ciccione S, Benhamou S, Dalleau M (2011) Post nesting migration of green turtle (*Chelonia mydas*) in the western Indian Ocean. IOTC – 9th Working Party on ecosystem and bycatch, 12-16 septembre La Réunion
- Dalleau M, Benhamou S, Sudre J, Ciccione S, Bourjea J (accepted) Movement and diving behavior of late juvenile loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) in the Western Indian Ocean. IOTC – 9th Working Party on ecosystem and bycatch, 12-16 septembre La Réunion

## Présentations orales:

- Dalleau M., Lajoie G., Benhamou S., Ciccione S. and Bourjea J., 2011. Individual based modeling of green sea turtle *Chelonia mydas* in the Southwest Indian Ocean. Oral Presentation, 7th WIOMSA Symposium, Mombassa, Kenya
- Ciccione S, Dalleau M, Lajoie G, Benhamou S, Bourjea J (2011) Latitude 40°S to 20°N: migrating and diving behavior of loggerhead sea turtle *Caretta caretta* in the Western Indian Ocean. Oral Presentation, 7th WIOMSA Symposium, Mombassa, Kenya
- Luschi P, Urso S, Mencacci R, Bourjea J, Dalleau M, Ciccione S, Benhamou S, Mingozi AT (2012) Non linear routes in the oceanic navigation of marine turtles: overestimated orientation abilities or biological motivations? conference of the Italian Society of Ethology, June 2012
- Bourjea J. (2012) Structure et connectivité des populations d'organismes marins à l'échelle d'une région océanique: implication à la gestion durable de la mégafaune marine dans l'océan Indien. Journée des Doctorants en sciences Marines, La Réunion, 7 juin 2012
- Bourjea J et Dalleau M (2012) tracking all life stages: 130 satellite tracks deployed in the Indian Ocean unraveled invaluable spatial knowledge and highlight new challenges for sea turtle biology and conservation. 8th Working Party on ecosystem and bycatch – WPEB08, Cap Town, south Africa, 17-19 September 2012
- Dalleau M, Ciccione S, Benhamou S, Lajoie G, Bourjea J. 2012. Tracking all life stages: 130 satellite tracks deployed in the Indian Ocean provide invaluable spatial knowledge and highlight new challenges for sea turtle biology and conservation. 32nd Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, Huatulco, Mexique
- Ciccione S & Bourjea J (2012) Indian Ocean over-sea territories, assessment of knowledges and survey programs. 4<sup>ème</sup> MTTF-WIO IOSEA, Port Elizabeth, South Africa, 3-7 décembre
- Bourjea J, Dalleau M and Ciccione S (2013) Seasonal variability of migration corridors and foraging areas of nesting green turtles revealed by satellite tracking at regional scale. 33rd ISTS symposium, Baltimore, Maryland, USA
- Dalleau M, Benhamou S, Sudre J, Ciccione S, Bourjea J (2013) Trans-equatorial movements of late juvenile individuals challenge the understanding of loggerhead turtle (*Caretta caretta*) life history in the Indian Ocean. 33rd ISTS symposium, Baltimore, Maryland, USA

## Poster scientifique:

- Dalleau M, Benhamou S, Ciccione S, Lajoie G, Bourjea J (2011) Individual based modeling of green turtle populations in south-west of Indian ocean(SWIO): a link between spatial constraints and biological processes 31th Sea Turtle Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation San Diego, California, USA
- Dubernet S, dalleau M, Ciccione S, rakotonirina B, West L, Machaku R, Bourjea J (2013) Alarming poaching of satellite tracked individuals raises regional conservation concerns for green turtle (*Chelonia mydas*) in the South West Indian Ocean. Poster presented at 33rd Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation Baltimore, Maryland, USA 2 - 8 February 2013
- Bourjea J, Dalleau M, Marsac F and Ciccione S (2013) Migratory corridors and foraging areas hotspots of nesting green turtle revealed by satellite tracking. SWIOFP final

---

meeting, Kenya, Mars 2013

- Dalleau M, Benhamou S, Ciccione S, Lajoie G, Georges J.-Y, Bourjea J. 2010. Modeling spatial population dynamics of green turtle (*Chelonia mydas*) in the southwest of Indian Ocean. 30th Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation, Goa, India

### **Vulgarisation scientifiques**

- Bourjea J, Dalleau M, Ciccione S (2012) Solving the mystery of the sea turtles migration in the Western indian Ocean. Argos forum 75: 4-5
- Bourjea J, Dalleau M, Ciccione S (2012) Unraveling the secrets of sea turtle migration: a cooperative approach needed. SWOT report 6: 10-11
- Tournage « C'est pas sorcier », diffusion en février 2013
- Film: Europa, 40 years of scientific adventure. Alefa Production, Kélonia, & Ifremer ; 28 minutes. Présenté au 33rd ISTS symposium, Baltimore, Maryland, USA
- Film: Projet 3M. Alefa Production, Kélonia, 28 minutes. Présenté au 33rd ISTS symposium, Baltimore, Maryland, USA
- Tournage des Racines et des ailes, diffusion prévu en septembre 2013

### **Plaquette**

- Fiche d'identification des tortues marines pour la CTOI (Annexe 3)

## Bibliographie

- Amorochio D.F., Abreu-Grobois F.A., Dutton P.H. & Reina R.D. (2012). Multiple Distant Origins for Green Sea Turtles Aggregating off Gorgona Island in the Colombian Eastern Pacific. *Plos One*, 7, e31486.
- Aragones L.V., Lawler I.R., Foley W.J. & Marsh H. (2006). Dugong grazing and turtle cropping: grazing optimization in tropical seagrass systems? *Oecologia*, 149, 635-647.
- Arendt M.D., Segars A.L., Byrd J.I., Boynton J., Whitaker J.D., Parker L., Owens D.W., Blanvillain G., Quattro J.M. & Roberts M.A. (2012). Seasonal distribution patterns of juvenile loggerhead sea turtles (*Caretta caretta*) following capture from a shipping channel in the Northwest Atlantic Ocean. *Mar. Biol.*, 159, 127-139.
- Ballorain K. (2010). Ecologie trophique de la tortue verte *Chelonia mydas* dans les herbiers marins et algues du sud-ouest de l'océan Indien. In: University of La Réunion, p. 288.
- Ballorain K., Ciccione S., Bourjea J., Grizel H., Enstipp M. & Georges J.-Y. (2010). Habitat use of a multispecific seagrass meadow by green turtles *Chelonia mydas* at Mayotte Island. *Mar. Biol.*, 157, 2581-2590.
- Bates D.M. & Maechler M. (2009). lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and Eigenfaces. In: R package.
- Benhamou S. (2011). Dynamic approach to space and habitat use based on biased random bridges. *Plos One*, 6, e14592.
- Benhamou S. & Cornélis D. (2010). Incorporating movement behavior and barriers to improve kernel home range space use estimates. *The Journal of Wildlife Management*, 74, 1353-1360.
- Benhamou S. & Riotte-Lambert L. (2012). Beyond the Utilization Distribution: Identifying home range areas that are intensively exploited or repeatedly visited. *Ecol. Model.*, 227, 112-116.
- Benhamou S., Sudre J., Bourjea J., Ciccione S., De Santis A. & Luschi P. (2011). The Role of Geomagnetic Cues in Green Turtle Open Sea Navigation. *Plos One*, 6.
- Benson S.R., Eguchi T., Foley D.G., Forney K.A., Bailey H., Hitipeuw C., Samber B.P., Tapilatu R.F., Rei V. & Ramohia P. (2011). Large-scale movements and high-use areas of western Pacific leatherback turtles, *Dermochelys coriacea*. *Ecosphere*, 2, art84.
- Berger J. (2004). The last mile: How to sustain long-distance migration in mammals. *Conservation Biology*, 18, 320-331.
- Bjorge A., Bekkby T., Bakkestuen V. & Framstad E. (2002). Interactions between harbour seals, *Phoca vitulina*, and fisheries in complex coastal waters explored by combined Geographic Information System (GIS) and energetics modelling. *Ices Journal of Marine Science*, 59, 29-42.
- Bjorndal K.A. (1997). Foraging ecology and nutrition of sea turtles. In: *The biology of sea turtles* (eds. Lutz PL & Musick A). CRC Press Boca Raton, FL, pp. p199-231.
- Block B.A., Jonsen I.D., Jorgensen S.J., Winship A.J., Shaffer S.A., Bograd S.J., Hazen E.L., Foley D.G., Breed G.A., Harrison A.L., Ganong J.E., Swithenbank A., Castleton M., Dewar H., Mate B.R., Shillinger G.L., Schaefer K.M., Benson S.R., Weise M.J., Henry R.W. & Costa D.P. (2011). Tracking apex marine predator movements in a dynamic

---

ocean. *Nature*, 475, 86-90.

- Block B.A., Teo S.L.H., Walli A., Boustany A., Stokesbury M.J.W., Farwell C.J., Weng K.C., Dewar H. & Williams T.D. (2005). Electronic tagging and population structure of Atlantic bluefin tuna. *Nature*, 434, 1121-1127.
- Bourjea J., Frappier J., Quillard M., Ciccione S., Roos D., Hughes G. & Grizel H. (2007a). Mayotte Island: another important green turtle nesting site in the southwest Indian Ocean. *Endangered Species Research*, 3, 273-282.
- Bourjea J., Lapègue S., Gagnevin L., Broderick D., Mortimer J.A., Ciccione S., Roos D., Taquet C. & Grizel H. (2007b). Phylogeography of the green turtle, *Chelonia mydas*, in the Southwest Indian Ocean. *Molecular Ecology*, 16, 175-186.
- Bourjea J., Marmoerx C., A. M.S., Beudard F., Frazier J., Roos D., Leport G. & Ciccione S. (In prep.). Seasonality and increase in green turtle (*Chelonia mydas*) nesting activity at Mohéli island, Comoro archipelago, Indian Ocean.
- Bourjea J., Nel R., Jiddawi N., Koonjul M. & Bianchi G. (2008). Sea turtle bycatch in the West Indian Ocean: review, recommendations and research priorities. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 7, 137-150.
- Bowen B.W. & Karl S.A. (2007). Population genetics and phylogeography of sea turtles. *Molecular Ecology*, 16, 4886-4907.
- Breed G.A., Jonsen I.D., Myers R.A., Bowen W.D. & Leonard M.L. (2009). Sex-specific, seasonal foraging tactics of adult grey seals (*Halichoerus grypus*) revealed by state-space analysis. *Ecology*, 90, 3209-3221.
- Broderick A.C., Coyne M.S., Fuller W.J., Glen F. & Godley B.J. (2007). Fidelity and overwintering of sea turtles. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 274, 1533-1538.
- Brothers R. & Putman N.F. (2013). Natal Homing and Imprinting in Sea Turtles. *The Biology of Sea Turtles*, 3, 59.
- Casale P. (2011). Sea turtle by-catch in the Mediterranean. *Fish and Fisheries*, 12, 299-316.
- Chaloupka M., Kamezaki N. & Limpus C. (2008). Is climate change affecting the population dynamics of the endangered Pacific loggerhead sea turtle? *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 356, 136-143.
- Cheng I.J. (2000). Post-nesting migrations of green turtles (*Chelonia mydas*) at Wan-An Island, Penghu Archipelago, Taiwan. *Mar. Biol.*, 137, 747-754.
- Claro F., Bedel S. & Forin-Wiart M.A. (2010). Interactions entre pêcheries et tortues marines en France métropolitaine et d'Outre-mer. . In: Rapport SPN 2010/13. MNHN-SPN Paris, p. 124p.
- Clermont S., Chavance P., Delgado A., Murua H., Ruiz J., Ciccione S. & Bourjea J. (2012). Eu purse seine fishery interaction with marine turtles in the Atlantic and Indian Oceans: a 15 year analyses. In. IOTC, p. 74p.
- Craig P., Parker D., Brainard R., Rice M. & Balazs G. (2004). Migrations of green turtles in the central South Pacific. *Biological Conservation*, 116, 433-438.
- Croxall J.P., Silk J.R.D., Phillips R.A., Afanasyev V. & Briggs D.R. (2005). Global Circumnavigations: Tracking Year-Round Ranges of Nonbreeding Albatrosses. *Science*, 307, 249-250.

- Dalleau M., Ciccione S., Mortimer J.A., Garnier J., Benhamou S. & Bourjea J. (2012). Nesting Phenology of Marine Turtles: Insights from a Regional Comparative Analysis on Green Turtle (*Chelonia mydas*). *Plos One*, 7, e46920.
- Dingle H. & Drake V.A. (2007). What is migration? *Bioscience*, 57, 113-121.
- Egevang C., Stenhouse I.J., Phillips R.A., Petersen A., Fox J.W. & Silk J.R.D. (2010). Tracking of Arctic terns *Sterna paradisaea* reveals longest animal migration. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107, 2078-2081.
- Fancy S.G., Pank L.F., Douglas D.C., Curby C.H. & Garner G.W. (1988). Satellite telemetry: a new tool for wildlife research and management. In. DTIC Document.
- FAO (2006). Report of the workshop on assessing the relative importance of sea turtle mortality due to fisheries. In: Zanzibar, United Republic of Tanzania, p. 17p.
- Fennessy S.T., Mwatha G.K. & Thiele W. (2004). Report of the regional workshop on approaches to reducing shrimp trawl bycatch in the Western Indian Ocean. In: FAO Fisheries Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations Mombasa, Kenya, p. 49p.
- Fennessy S.T., Vincent X., Budeba Y., Mueni E.M. & Gove D.Z. (2008). An Update on Initiatives to Reduce Prawn Trawl Bycatch in the Western Indian Ocean. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 7, 217–222.
- Fossette S., Girard C., Lopez-Mendilaharsu M., Miller P., Domingo A., Evans D., Kelle L., Plot V., Prosdocimi L., Verhage S., Gaspar P. & Georges J.Y. (2010). Atlantic Leatherback Migratory Paths and Temporary Residence Areas. *Plos One*, 5.
- Garcia S.M. & Cochrane K.L. (2005). Ecosystem approach to fisheries: a review of implementation guidelines. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, 62, 311-318.
- Garnier J., Hill N., Guissamulo A., Silva I., Witt M. & Godley B. (2012). Status and community-based conservation of marine turtles in the northern Querimbas Islands (Mozambique). *Oryx*, 46, 359-367.
- Girard C., Sudre J., Benhamou S., Roos D. & Luschi P. (2006). Homing in green turtles *Chelonia mydas*: oceanic currents act as a constraint rather than as an information source. *Marine Ecology Progress Series*, 322, 281-289.
- Godley B.J., Blumenthal J.M., Broderick A.C., Coyne M.S., Godfrey M.H., Hawkes L.A. & Witt M.J. (2008). Satellite tracking of sea turtles: where have we been and where do we go next? *Endangered Species Research*, 4, 3-22.
- Godley B.J., Broderick A.C. & Hays G.C. (2001). Nesting of green turtles (*Chelonia mydas*) at Ascension Island, South Atlantic. *Biological Conservation*, 97, 151-158.
- González-Solís J., Croxall J.P., Oro D. & Ruiz X. (2007). Trans-equatorial migration and mixing in the wintering areas of a pelagic seabird. *Front. Ecol. Environ.*, 5, 297-301.
- Gove D., Pacules H. & Gonçalves M. (2001). The impact of Sofala Bank (Central Mozambique) shallow water shrimp fishery on marine turtles and the effects of introducing TED (Turtle Excluder Device) on shrimp fishery. In. WWF, p. 24pp.
- Gullström M., de la Torre Castro M., Bandeira S.O., Björk M., Dahlberg M., Kautsky N., Rönnbäck P. & Öhman M.C. (2002). Seagrass ecosystems in the western Indian Ocean. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 31, 588-596.

- Haig S.M., GrattoTrevor C.L., Mullins T.D. & Colwell M.A. (1997). Population identification of western hemisphere shorebirds throughout the annual cycle. *Molecular Ecology*, 6, 413-427.
- Halpern B.S. (2003). The impact of marine reserves: do reserves work and does reserve size matter? *Ecol. Appl.*, 13, 117-137.
- Hammerschlag N., Gallagher A.J. & Lazarre D.M. (2011). A review of shark satellite tagging studies. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 398, 1-8.
- Hays G.C. (2003). A review of the adaptive significance and ecosystem consequences of zooplankton diel vertical migrations. *Hydrobiologia*, 503, 163-170.
- Hays G.C., Broderick A.C., Godley B.J., Lovell P., Martin C., McConnell B.J. & Richardson S. (2002). Biphasal long-distance migration in green turtles. *Animal Behaviour*, 64, 895-898.
- Hazen E.L., Maxwell S.M., Bailey H., Bograd S.J., Hamann M., Gaspar P., Godley B.J. & Shillinger G.L. (2012). Ontogeny in marine tagging and tracking science: technologies and data gaps. *Marine Ecology Progress Series*, 457, 221-240.
- Hobson K.A. & Norris R.D. (2008). Animal migration: a context for using new techniques and approaches. *Terrestrial Ecology*, 2, 1-19.
- Hoenner X., Whiting S.D., Hindell M.A. & McMahon C.R. (2012). Enhancing the Use of Argos Satellite Data for Home Range and Long Distance Migration Studies of Marine Animals. *Plos One*, 7.
- Holdo R.M., Holt R.D. & Fryxell J.M. (2009). Opposing Rainfall and Plant Nutritional Gradients Best Explain the Wildebeest Migration in the Serengeti. *American Naturalist*, 173, 431-445.
- Humber F., Godley B.J., Ramahery V. & Broderick A.C. (2010). Using community members to assess artisanal fisheries: the marine turtle fishery in Madagascar. *Animal Conservation*, no-no.
- IUCN (1994). Guidelines for Protected Area Management Categories. In: IUCN Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Jackson J.B., Kirby M.X., Berger W.H., Bjorndal K.A., Botsford L.W., Bourque B.J., Bradbury R.H., Cooke R., Erlanson J. & Estes J.A. (2001). Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, 293, 629-637.
- Jean C., Ciccione S., Ballorain K., Georges J.-Y. & Bourjea J. (2010). Ultralight aircraft surveys reveal marine turtle population increases along the west coast of Reunion Island. *Oryx*, 44, 223-229.
- Jonsson B., Jonsson N. & Hansen L. (1990). Does juvenile experience affect migration and spawning of adult Atlantic salmon? *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 26, 225-230.
- Krosby M., Tewksbury J., Haddad N.M. & Hoekstra J. (2010). Ecological Connectivity for a Changing Climate. *Conservation Biology*, 24, 1686-1689.
- Lauret-Stepler M., Bourjea J., Roos D., Pelletier D., Ryan P., Ciccione S. & Grizel H. (2007). Reproductive seasonality and trend of *Chelonia mydas* in the SW Indian Ocean: a 20 yr study based on track counts. *Endangered Species Research*, 3, 217-227.
- Lauret-Stepler M., Ciccione S. & Bourjea J. (2010). Monitoring of marine turtles reproductive activities in Juan de Nova, Eparses Islands, South Western Indian Ocean, based on tracks count and width. *Indian Ocean Turtle Newsletter*, 11, 18-24.

- Le Gall J.-Y. (1988). Caractéristiques topographiques et thermiques d'un site de ponte majeur de la tortue verte *Chelonia mydas* dans l'océan indien Sud-ouest: Europa. *Mésogée*, 48, 43-49.
- Le Gall J.-Y. & Hughes G.R. (1987). Migrations de la tortue verte *Chelonia mydas* dans l'Océan Indien Sud-Ouest observées à partir des marquages sur les sites de ponte Europa et Tromelin (1970-1985). *Amphibia-Reptilia*, 8, 277-282.
- Limpus C.J., Miller J.D., Parmenter C.J., Reimer D., McLachlan N. & Webb R. (1992). Migration of green (*Chelonia mydas*) and Loggerhead (*Caretta caretta*) Turtles to and from Eastern Australian Rookeries. *Wildlife Research*, 19, 347-358.
- Limpus C.J. & Walter D.G. (1980). THE GROWTH OF IMMATURE GREEN TURTLES (*CHELONIA-MYDAS*) UNDER NATURAL CONDITIONS. *Herpetologica*, 36, 162-165.
- Louro C.M.M., Pereira M.A.M. & Costa A. (2006). The Conservation Status of Marine Turtles in Mozambique. Report submitted to MICOA, Maputo. In, p. 45p.
- Lunn D.J., Thomas A., Best N. & Spiegelhalter D. (2000). WinBUGS-a Bayesian modelling framework: concepts, structure, and extensibility. *Statistics and computing*, 10, 325-337.
- Luschi P. (2013). Long-distance animal migrations in the oceanic environment: orientation and navigation correlates. *ISRN Zoology*, 2013.
- Luschi P., Benhamou S., Girard C., Ciccione S., Roos D., Sudre J. & Benvenuti S. (2007). Marine turtles use geomagnetic cues during open-sea homing. *Current Biology*, 17, 126-133.
- Luschi P., Hays G.C., Del Seppia C., Marsh R. & Papi F. (1998). The navigational feats of green sea turtles migrating from Ascension Island investigated by satellite telemetry. *Proceedings of the Royal Society of London Series B-Biological Sciences*, 265, 2279-2284.
- Luschi P., Hays G.C. & Papi F. (2003). A review of long-distance movements by marine turtles, and the possible role of ocean currents. *Oikos*, 103, 293-302.
- Luschi P., Lutjeharm J.R.E., Lambardi R., Mencacci R., Hughes G.R. & Hays G.C. (2006). A review of migratory behaviour of sea turtles off Southeastern Africa. *South African Journal of Science*, 102, 51-58.
- Mansfield K., Saba V., Keinath J. & Musick J. (2009). Satellite tracking reveals a dichotomy in migration strategies among juvenile loggerhead turtles in the Northwest Atlantic. *Mar. Biol.*, 156, 2555-2570.
- Marcovaldi M.A., Lopez G.G., Soares L.S. & López-Mendilaharsu M. (2012). Satellite tracking of hawksbill turtles *Eretmochelys imbricata* nesting in northern Bahia, Brazil: turtle movements and foraging destinations. *Endangered Species Research*, 17, 123-132.
- Marra P.P., Studds C.E. & Webster M.S. (2010). Migratory connectivity. In: *Encyclopedia of Animal Behavior* (eds. Breed MD & Moore JE). Academic Press Oxford, United Kingdom, pp. 455-461.
- Mate B., Mesecar R. & Lagerquist B. (2007). The evolution of satellite-monitored radio tags for large whales: One laboratory's experience. *Deep-Sea Research Part II-Topical Studies in Oceanography*, 54, 224-247.
- Mazaris A.D., Kallimanis A.S., Pantis J.D. & Hays G.C. (2013). Phenological response of sea turtles to environmental variation across a species' northern range. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 280.

- Miller J.D. (1997). Reproduction in Sea Turtles. In: The biology of sea turtles (eds. Lutz PL & Musick JA). CRC Press Boca Raton, FL, pp. p51-81.
- Miossec D. & Bourjea J. (2003). Longline fishery evolution in La Réunion. Focus on the exploitation level of swordfish (*Xiphias gladius*). In: 3rd Session of the IOTC Working Party on Billfish Perth, Australia, p. 14 p.
- Mortimer J.A. & Carr A. (1987). Reproduction and migrations of the Ascension Island green turtle (*Chelonia mydas*). *Copeia*, 103-113.
- Mortimer J.A., von Brandis R.G., Liljevik A., Chapman R. & Collie J. (2011). Fall and Rise of Nesting Green Turtles (*Chelonia mydas*) at Aldabra Atoll, Seychelles: Positive Response to Four Decades of Protection (1968-2008). *Chelonian Conservation and Biology*, 10, 165-176.
- Muir C. (2005). The Status of Marine Turtles in the United Republic of Tanzania, East Africa. In: *Sea Sence*, p. 40p.
- Musick J.A. & Limpus C.J. (1997). Habitat utilization and migration in juvenile sea turtles. In: The biology of sea turtles (eds. Lutz PL & Musick JA). CRC Press Boca Raton, Florida, pp. p137-163.
- Papi F. (1986). Pigeon navigation solved problems and open questions. *Monitore zoologico italiano*, 20, 471-517.
- Pauly D., Christensen V., Guenette S., Pitcher T.J., Sumaila U.R., Walters C.J., Watson R. & Zeller D. (2002). Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 418, 689-695.
- Petersen S.L., Honig M.B., Ryan P.G., Nel R. & Underhill L.G. (2009). Turtle bycatch in the pelagic longline fishery off southern Africa. *African Journal of Marine Science*, 31, 87-96.
- Plotkin P. (2003). Adult migrations and habitat use. In: The biology of sea turtles (eds. Lutz PL, Musick A & Wyneken J). CRC Press Boca Raton, FL, pp. 225-242.
- Proietti M., Reisser J., Kinas P., Kerr R., Monteiro D., Marins L. & Secchi E. (2012). Green turtle *Chelonia mydas* mixed stocks in the western South Atlantic, as revealed by mtDNA haplotypes and drifter trajectories. *Marine Ecology Progress Series*, 447, 195-209.
- Pulido F. (2007). The genetics and evolution of avian migration. *Bioscience*, 57, 165-174.
- R Core Team (2012). R: A Language and Environment for Statistical Computing. In: R Foundation for Statistical Computing.
- Rakotonirina B.P. (2011). Etude éthno-biologique sur tortues marines à Madagascar (Sud-Ouest de l'océan Indien). In: Université de Toliara Toliara, p. 321p.
- Richardson P. L., Lutjeharms J. R. E. & Boebel O. (2003) Introduction to the "Inter-ocean exchange around southern Africa". *Deep-sea res. II*, 50, 1-12.
- Rubenstein D.R., Chamberlain C.P., Holmes R.T., Ayres M.P., Waldbauer J.R., Graves G.R. & Tuross N.C. (2002). Linking breeding and wintering ranges of a migratory songbird using stable isotopes. *Science*, 295, 1062-1065.
- Schott F.A. & McCreary Jr J.P. (2001). The monsoon circulation of the Indian Ocean. *Progress in Oceanography*, 51, 1-123.
- Scott R., Hodgson D.J., Witt M.J., Coyne M.S., Adnyana W., Blumenthal J.M., Broderick A.C., Canbolat A.F., Catry P., Ciccione S., Delcroix E., Hitipeuw C., Luschi P., Pet-Soede L., Pendoley K., Richardson P.B., Rees A.F. & Godley B.J. (2012). Global analysis of satellite tracking data shows that adult green turtles are significantly aggregated in Marine

---

Protected Areas. *Global Ecology and Biogeography*, no-no.

- Seney E.E., Higgins B.M. & Landry A.M. (2010). Satellite transmitter attachment techniques for small juvenile sea turtles. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 384, 61-67.
- Shaver D.J. & Rubio C. (2008). Post-nesting movement of wild and head-started Kemp's ridley sea turtles *Lepidochelys kempii* in the Gulf of Mexico. *Endangered Species Research*, 4, 43-55.
- Shillinger G.L., Bailey H., Bograd S.J., Hazen E., Hamann M., Gaspar P., Godley B.J., Wilson R.P. & Spotila J.R. (2012). Tagging through the stages: technical and ecological challenges in observing life histories through biologging. *Marine Ecology Progress Series*, 457, 165-170.
- Sibly R.M. & Calow P. (1986). *Physiological ecology of animals: an evolutionary approach*. Blackwell Scientific Publications Oxford.
- Stutchbury B.J.M., Tarof S.A., Done T., Gow E., Kramer P.M., Tautin J., Fox J.W. & Afanasyev V. (2009). Tracking Long-Distance Songbird Migration by Using Geolocators. *Science*, 323, 896-896.
- Tomkiewicz S.M., Fuller M.R., Kie J.G. & Bates K.K. (2010). Global positioning system and associated technologies in animal behaviour and ecological research. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365, 2163-2176.
- Troëng S., Evans D.R., Harrison E. & Lagueux C.J. (2005). Migration of green turtles *Chelonia mydas* from Tortuguero, Costa Rica. *Mar. Biol.*, 148, 435-447.
- UNEP-WCMC & UICN (2010). Data standards for the world database on protected Areas. In. UNEP-WCMC, p. 9p.
- Wallace B.P., DiMatteo A.D., Bolten A.B., Chaloupka M.Y., Hutchinson B.J., Abreu-Grobois F.A., Mortimer J.A., Seminoff J.A., Amorocho D., Bjorndal K.A., Bourjea J., Bowen B.W., Duenas R.B., Casale P., Choudhury B.C., Costa A., Dutton P.H., Fallabrino A., Finkbeiner E.M., Girard A., Girondot M., Hamann M., Hurley B.J., Lopez-Mendilaharsu M., Marcovaldi M.A., Musick J.A., Nel R., Pilcher N.J., Troëng S., Witherington B. & Mast R.B. (2011). Global Conservation Priorities for Marine Turtles. *Plos One*, 6.
- Wallace B.P., DiMatteo A.D., Hurley B.J., Finkbeiner E.M., Bolten A.B., Chaloupka M.Y., Hutchinson B.J., Abreu-Grobois F.A., Amorocho D., Bjorndal K.A., Bourjea J., Bowen B.W., Dueñas R.B., Casale P., Choudhury B.C., Costa A., Dutton P.H., Fallabrino A., Girard A., Girondot M., Godfrey M.H., Hamann M., López-Mendilaharsu M., Marcovaldi M.A., Mortimer J.A., Musick J.A., Nel R., Pilcher N.J., Seminoff J.A., Troëng S., Witherington B. & Mast R.B. (2010). Regional Management Units for Marine Turtles: A Novel Framework for Prioritizing Conservation and Research across Multiple Scales. *Plos One*, 5, e15465.
- Waycott M., Duarte C.M., Carruthers T.J.B., Orth R.J., Dennison W.C., Olyarnik S., Calladine A., Fourqurean J.W., Heck K.L., Hughes A.R., Kendrick G.A., Kenworthy W.J., Short F.T. & Williams S.L. (2009). Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106, 12377-12381.
- Webster M.S., Marra P.P., Haig S.M., Bensch S. & Holmes R.T. (2002). Links between worlds: unraveling migratory connectivity. *Trends in Ecology & Evolution*, 17, 76-83.
- Wilcove D.S. & Wikelski M. (2008). Going, going, gone: Is animal migration disappearing? *Plos Biology*, 6, 1361-1364.

---

Wiltschko W., Wiltschko R. & Keeton W. (1976). Effects of a “permanent” clock-shift on the orientation of young homing pigeons. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 1, 229-243.

Wiltschko W., Wiltschko R. & Keeton W. (1984). The effect of a “permanent” clock-shift on the orientation of experienced homing pigeons. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 15, 263-272.

---

# Annexe I

---

# Annexe II

---

# Annexe III

---

# Annexe IV