

Envirology SARL

3-4 Chemin du Plan Barbet, Fontette - 89450 Saint Père,
Représenté par Monsieur Alexandre GIRARD
Siret : 534 591 995 00012 ; Code APE : 7490B



Envirology
Consultancy
Sea Turtle Conservation Program
Environmental Impact Studies

Consultation directe n°2015/779/n°4



Crédit photo : E. Delcroix



Crédit photo : ONCFS

Analyse des données d'activités de pontes des tortues marines en Guadeloupe (incluant ses dépendances et Saint Martin) **Période 2004-2014**

Réalisée pour le compte de
L'OFFICE NATIONAL DE LA CHASSE ET DE LA FAUNE SAUVAGE
Cellule Technique Antilles françaises
Programme Tortues Marines Guadeloupe
Chemin de Boyer, Boisbert, 97129 Lamentin (Guadeloupe)

Analyses réalisées par Monsieur Alexandre Girard (DVM, Envirology SARL)
Avec les outils développés par Marc Girondot (Professeur, Université de Paris Sud, Orsay).

Table des matières

Introduction	4
Données sources	5
<i>Structure et contenu de la base de données</i>	5
<i>Données utilisées et non utilisées, homogénéisation</i>	5
Cartographie des plages suivies et des secteurs	7
Analyse des données d'activité de ponte	11
<i>Matériels et méthodes</i>	11
Modélisation des saisons de ponte	11
Modèle pour analyser les tendances prenant en compte à la fois un niveau variable d'incertitude sur les estimations par site et un manque complet d'information sur certains sites	13
<i>Résultats</i>	14
Modélisation des courbes saisonnières de ponte	14
Estimation des activités de ponte	15
Analyse des tendances des activités de ponte	21
<i>Cartographie des activités de ponte (2015) : estimation d'après la modélisation</i>	27
Carte des montées de tortues luth	27
Carte des montées de tortues imbriquées	30
Carte des montées de tortues vertes	33
<i>Discussion</i>	36
Tendances des activités de ponte	36
Distribution géographique des activités de ponte	37
Part des activités de ponte incluse dans des zones protégées	37
Voies d'amélioration du protocole de suivi et de la collecte de données	39
<i>Jeu de données de suivi des activités de ponte des tortues marines</i>	39
<i>Démarche qualité</i>	40
<i>Possibilité d'adaptation du protocole</i>	41
Conclusion	42
Bibliographie	43
Annexes	46
<i>Annexe 1. Analyse exhaustive des données de ponte des tortues luth dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances</i>	46
<i>Annexe 2. Analyse exhaustive des données de ponte des tortues imbriquées dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances</i>	46
<i>Annexe 1. Analyse exhaustive des données de ponte des tortues vertes dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances</i>	46

Table des Figures

Figure 1. Carte d'ensemble de l'archipel de Guadeloupe et de ses dépendances. Distribution spatiale des plages de ponte suivies et des secteurs.	7
Figure 2. Carte de l'archipel de Guadeloupe. Distribution spatiale des plages de ponte suivies et des secteurs.	8
Figure 3. Carte de l'île de Saint-Martin. Distribution spatiale des plages de ponte suivies et des secteurs.	9
Figure 4. Carte de l'île de Saint-Barthélemy. Distribution spatiale des plages de ponte suivies et des secteurs.	10
Figure 5. Cycle biologique des tortues marines	12
Figure 6. Histogrammes de distribution du nombre de jours de suivi par série. (En abscisse les classes de nombre de jours de suivi. En ordonnée, le nombre de séries par classe.	15
Figure 7. Représentation graphique des trois modèles de tendance des activités de ponte des tortues luth au sein de l'archipel - Secteurs 1 à 10.	21
Figure 8. Représentation graphique du modèle de tendance sélectionné.	22
Figure 9. Représentation graphique des trois modèles de tendance des activités de ponte des tortues luth au sein de l'archipel - Secteurs 1 à 10.	23
Figure 10. Représentation graphique du modèle de tendance sélectionné pour la tortue imbriquée.	24
Figure 11. Représentation graphique des trois modèles de tendance des activités de ponte des tortues vertes au sein de l'archipel - Secteurs 1 à 10.	25
Figure 12. Représentation graphique du modèle de tendance sélectionné pour la tortue verte.	26
Figure 13. Carte de montées de tortues luth sur l'archipel de Guadeloupe	27
Figure 14. Carte de montées de tortues luth sur l'île de Saint-Martin	28
Figure 15. Carte de montées de tortues luth sur l'île de Saint-Barthélemy	29
Figure 16. Carte de montées de tortues imbriquées sur l'archipel de Guadeloupe	30
Figure 17. Carte de montées de tortues imbriquées sur l'île de Saint-Martin	31
Figure 18. Carte de montées de tortues imbriquées sur l'île de Saint-Barthélemy	32
Figure 19. Carte de montées de tortues vertes sur l'archipel de Guadeloupe	33
Figure 20. Carte de montées de tortues vertes sur l'île de Saint-Martin	34
Figure 21. Carte de montées de tortues vertes sur l'île de Saint-Barthélemy	35
Figure 22. Cartes des zones protégées et des projets de protection ou de gestion dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances	38
Figure 23. Zonage du Parc National de Guadeloupe	38
Figure 24. La roue de Deming et le processus d'amélioration permanent	40
Figure 25. Représentation schématique de différentes stratégies d'échantillonnage pour le suivi des pontes	42

Table des Tableaux

Tableau 1. Synthèse des séries exploitables pour la modélisation des activités saisonnières de ponte de tortues luth	15
Tableau 2. Synthèse des séries exploitables pour la modélisation des activités saisonnières de ponte de tortues imbriquées	15
Tableau 3. Synthèse des séries exploitables pour la modélisation des activités saisonnières de ponte de tortues vertes	17
Tableau 4. Synthèse des activités de ponte moyennes de tortues luth par secteur et par an (2000-2014)	18
Tableau 5. Synthèse des activités de ponte moyennes de tortues imbriquées par secteur et par an (2000-2014)	19
Tableau 6. Synthèse des activités de ponte moyennes de tortues vertes par secteur et par an (2000-2014)	20
Tableau 5. Comparaison des modèles constant et tendance exponentielle d'après la méthode des AIC (tortue luth).	21
Tableau 6. Comparaison des modèles constant et tendance exponentielle d'après la méthode des AIC (tortue imbriquée).	23
Tableau 7. Comparaison des modèles constant et tendance exponentielle d'après la méthode des AIC (tortue verte).	25

Introduction

Trois espèces de tortues marines sont observées en ponte sur les plages de Guadeloupe : la tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata*), la tortue verte (*Chelonia mydas*) et la tortue luth (*Dermochelys coriacea*). Depuis 1999, les acteurs du Réseau Tortues Marines de Guadeloupe collectent des données sur les activités de pontes de tortues marines sur des plages de la Guadeloupe et de ses dépendances (y compris Saint-Martin). Afin d'harmoniser le recueil des données, un protocole « dit le protocole Girondot » a été mis en place en 2007 pour 70 plages environ (Delcroix *et al.* 2013). Ce protocole est toujours en vigueur et sert de référence pour l'établissement des fréquences de suivi sur les plages concernées.

Les données des activités de pontes des tortues marines, collectées au cours des saisons de pontes de 1999 à 2014 sont le fruit du travail des acteurs du Réseau Tortues Marines de Guadeloupe. Grâce à leurs efforts, un fichier de données de près de 50000 lignes a été collecté qui sert de base aux analyses contenues dans ce rapport.

Dans le présent rapport, le bureau d'étude Envirology synthétise les analyses de données d'activités de ponte, à la fois d'un point de vue spatial et temporel puis fournit des informations majeures sur la dynamique des populations de tortues marines dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances.

Dans sa dernière partie, ce rapport synthétique propose des pistes d'amélioration en matières de protocoles de collecte de données sur le terrain, de tenue de la base de données et de suivi évaluation de l'effort de conservation.

Nous étudions enfin la pertinence du maintien du protocole de suivi et les éventuels amendements nécessaires pour les années à venir, en vue des réflexions qui seront menées lors du prochain plan de restauration des tortues marines en Guadeloupe.

Ce rapport est une synthèse complète et volontairement succincte, destinée à alimenter les réflexions des décideurs du plan. La totalité des analyses réalisées par Envirology pour les trois espèces *Eretmochelys imbricata*, *Chelonia mydas* et *Dermochelys coriacea* est fournie en Annexes.

Données sources

Structure et contenu de la base de données

La base de données ponte se présente sous la forme d'un fichier Excel comprenant trois feuilles de calcul :

- Une feuille intitulée « Plages et effort de prospection » regroupant les coordonnées des plages suivies (189 plages). Ces plages sont regroupées par communes (31 communes) et secteurs (10 secteurs). Cette feuille fournit également une synthèse de l'effort d'observation : nombre de patrouilles de comptages de traces et nombre de suivis nocturnes sur chaque plage (prévus et réalisés) pour chaque plage et pour chaque année (2000-2014).
- Une feuille « Suivi » qui contient les détails des informations sur les observations d'activités de ponte, avec une ligne par observation, 47 026 observations distinctes.
- Une feuille « Bilan » résumant le nombre de pontes et traces observées lors de suivis nocturne et lors des patrouilles de comptage de traces, par année (2000-2014) et par site, pour les trois espèces nidifiantes.

Données utilisées et non utilisées, homogénéisation

Les données de la feuille « Plages et effort de prospection » ont été utilisées pour placer sur les cartes les plages de ponte suivies selon les secteurs. Les colonnes synthétisant le nombre de patrouilles « CT – Comptage de Traces » et « SN – Suivi de Nuit » disponibles dans la feuille « Plages et effort de prospection » n'ont pas été utilisées car le modèle nécessite une information temporelle intraannuelle des jours suivis.

Dans la base de données, les dates de l'ensemble des patrouilles réalisées par plage ne sont pas directement accessibles. Or le modèle utilisé requiert la connaissance des des jours de patrouilles effectivement réalisées même si elles n'ont donné lieu à aucune observation de trace ou nid (véritables 0). Nous avons donc reconstitué l'information sur les dates de patrouilles sans activité de ponte observée sur la base de l'information partielle disponible. Toutefois, il est fort probable qu'un grand nombre de patrouille sans observation n'ait pas été reporté dans la base de données, ce qui augmente l'incertitude sur les résultats.

Pour l'analyse des activités de ponte, seules les données de comptage de traces « CT » sont utilisées. En effet, les données « SN – Suivi de Nuit » n'ont pas été utilisées car il n'y avait aucune certitude que l'ensemble de la nuit avait été suivi (ce choix est rediscuté dans la discussion).

La feuille bilan, qui résume le nombre annuel de suivi CT et SN réalisé n'a pas pu être utilisé car l'important n'est pas le nombre de patrouilles global par rapport au nombre de patrouilles avec observation, mais les dates des patrouilles avec zéro observation. Par ailleurs, il y a une très forte incertitude sur la présence effective d'une ponte ou seulement d'une montée avec abandon de la ponte. Pour cette raison, nous travaillons en terme de nombre de montées qui est utilisé comme un indice d'activité des tortues marines.

Nous avons homogénéisé les noms des plages qui différaient parfois entre la feuille « Plages et efforts de prospection » et la feuille « Suivi », ou même au sein de la feuille « Plages et efforts de prospection ».

Nous avons homogénéisé les intitulés des espèces.

554 lignes avec plage indiquée comme « ND » ont été exclues de l'analyse.

Il existe dans la feuille « Suivi » des données datées du 18 septembre 2015 (Commune « La Désirade », 6 plages), avec dans la colonne année indiqué 2014. Nous avons corrigé ces dates au 18

septembre

2014.

Cartographie des plages suivies et des secteurs

Les coordonnées GPS des plages ont été récupérées dans la feuille « Plages et effort de prospection ». Il existe des plages de même nom qui sont sur le même secteur, mais dans des communes différentes. L'utilisation de ces données a nécessité de procéder à un véritable jeu de piste pour retrouver à quelle plage attribuer certaines observations (voir les cartes en Annexes).

189 plages sont répertoriées avec points GPS.

Globalement, nous disposons de données de suivi sur 166 plages réparties sur 10 secteurs (Figure 1, Figure 2, Figure 3 & Figure 4).

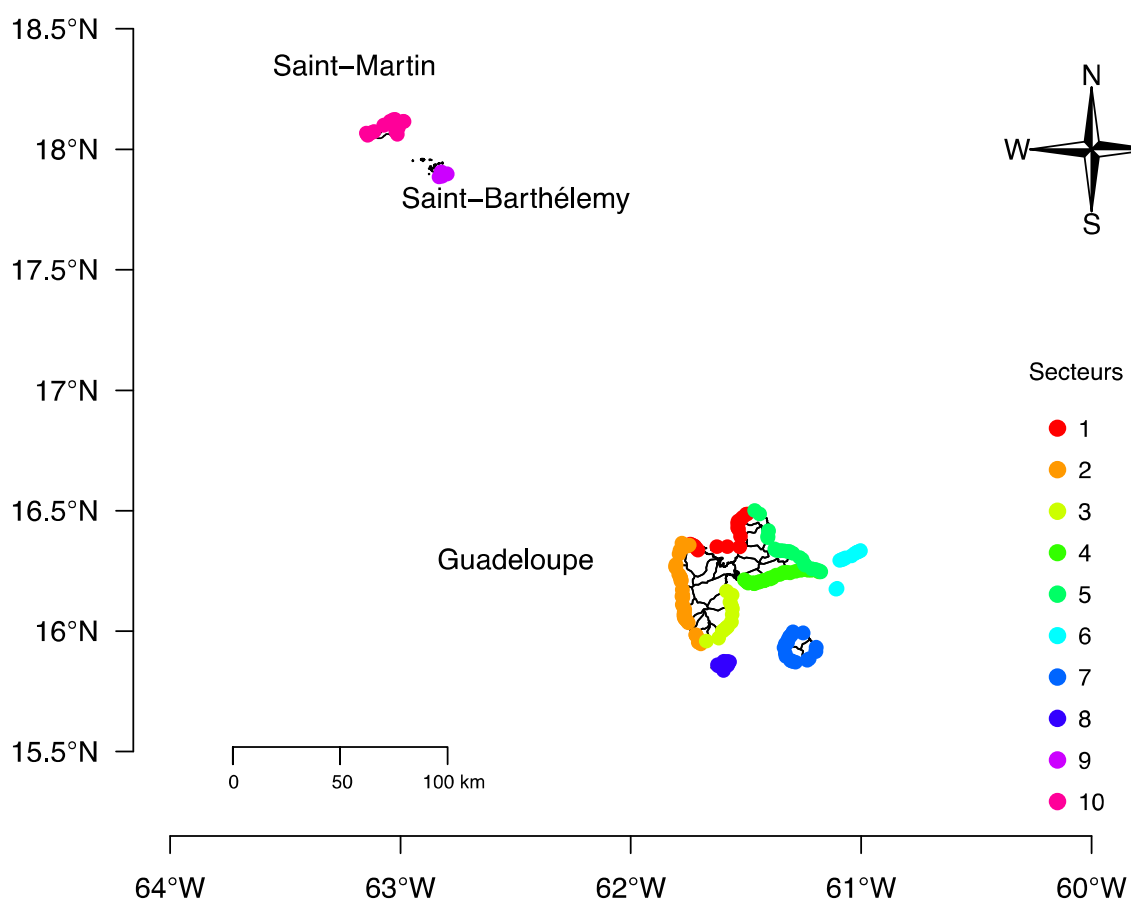


Figure 1. Carte d'ensemble de l'archipel de Guadeloupe et de ses dépendances. Distribution spatiale des plages de pontes suivies et des secteurs.

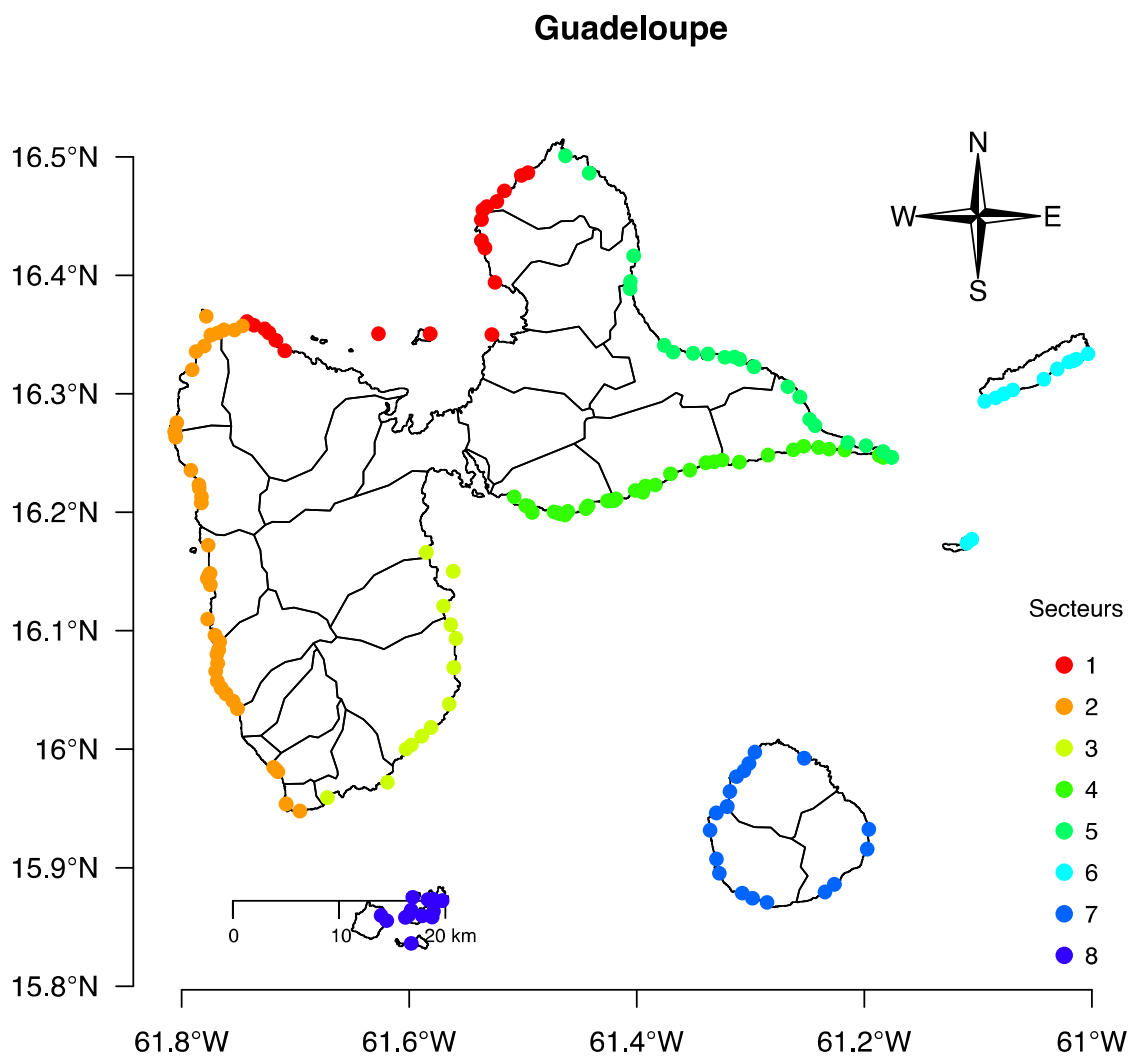


Figure 2. Carte de l'archipel de Guadeloupe. Distribution spatiale des plages de pontes suivies et des secteurs.

Saint-Martin

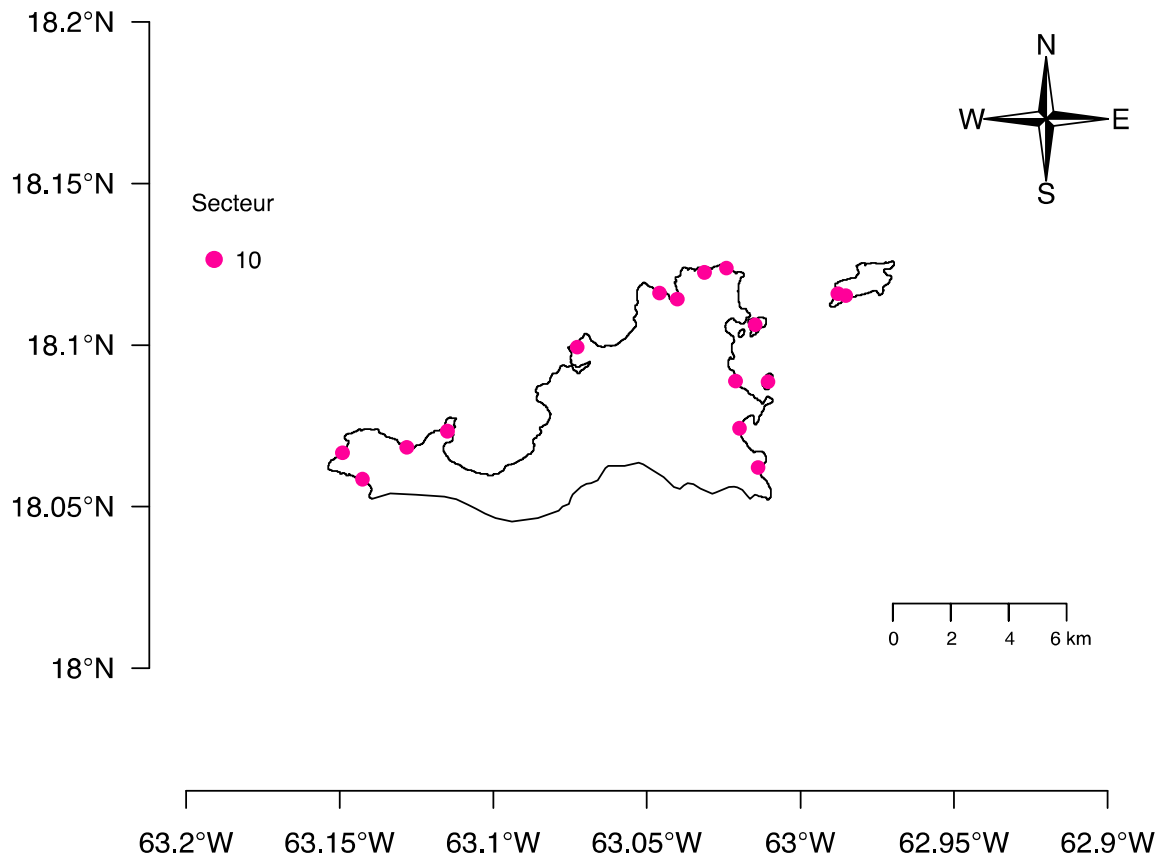


Figure 3. Carte de l'île de Saint-Martin. Distribution spatiale des plages de ponte suivies et des secteurs.

Saint-Barthélemy

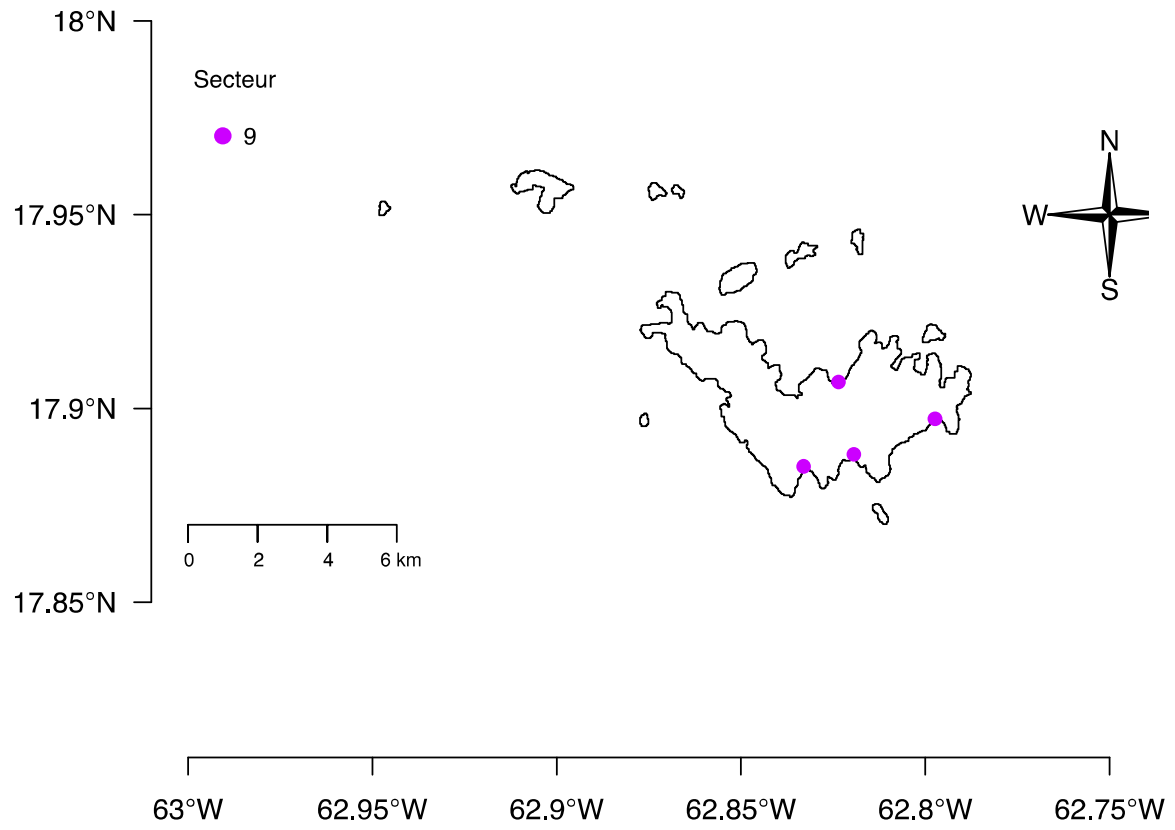


Figure 4. Carte de l'île de Saint-Barthélemy. Distribution spatiale des plages de ponte suivies et des secteurs.

Analyse des données d'activité de ponte

Matériels et méthodes

Modélisation des saisons de ponte

Les données de comptage de traces sont utilisées pour alimenter la modélisation de la courbe saisonnière des activités de ponte des tortues marines dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances. L'outil de modélisation a été développé par Marc Girondot ; il est disponible sous la forme d'un package "phenology" utilisable avec le logiciel libre R.

L'outil de modélisation développé par Marc Girondot permet d'ajuster une courbe de saison de ponte sur les données de ponte disponibles. Le modèle initialement publié en 2006 (Girondot et al. 2006) a été adapté depuis pour permettre un ajustement dans des contextes variés, que l'activité de ponte soit forte ou faible. Le modèle utilise ici toutes les données exploitables collectées par l'ONCFS de 2000 à 2014. Il permet de décrire une courbe de ponte saisonnière pour l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances. L'amplitude de la saison de ponte est ensuite ajustée pour chaque série. Des estimations fiables de la moyenne et de l'écart-type du nombre de ponte sont ainsi obtenues pour chaque plage de ponte suivie. La modélisation permet également une comparaison d'année en année et peut être utilisée pour rechercher une éventuelle tendance des pontes sur le moyen ou le long terme. Une approche similaire utilisant un modèle légèrement différent a été utilisée avec succès au Congo (Godgenger, Breheret et al. 2009).

Contraintes

De nombreuses incertitudes persistent sur le cycle de vie et de reproduction des tortues marines (Figure 5). En effet, les femelles ne pondent pas chaque année et les années où elles pondent, elles déposent plusieurs nids (4 à 10 fois) au cours de la saison. La fidélité au site de ponte varie également, ce qui peut aboutir à des variations du comptage des nids sur une section de plage donnée d'une année à l'autre (Briane, Rivalan et al. 2007). En outre, dans les protocoles habituels de suivi des populations de tortues marines, les males et les juvéniles ne sont pas observés.

Pour établir la tendance de la population, l'idéal serait d'accéder au nombre de femelles présentes chaque année. Cependant, jusqu'à ce jour, il est impossible d'obtenir ce type d'information. Nous utiliserons donc plutôt un indicateur de la taille de la population. Cet indicateur est le nombre de montées pour la ponte chaque année. Cette donnée est assez facile à obtenir grâce au suivi quotidien sur les plages de ponte. Une patrouille à l'aube permet de décompter les montées qui se sont produites au cours de la nuit précédente.

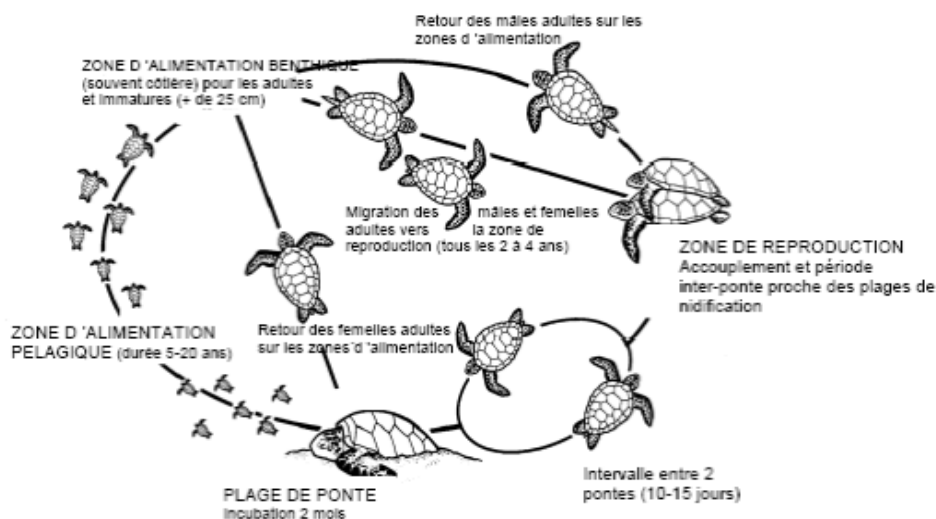


Figure 5. Cycle biologique des tortues marines (Lanyon 1989)

Pour les plages où des patrouilles ne sont pas réalisées quotidiennement, des méthodes de modélisation sont utilisées pour estimer le nombre de nid sur les périodes non suivies.

Comment combler les lacunes ?

Une grande variété d'approches a été utilisée pour combler les jeux de données lacunaires. L'interpolation de Lagrange a été la première méthode utilisée (Girondot and Fretey 1996). Il ne s'agit néanmoins pas d'une méthode statistique et l'interpolation de Lagrange n'estime pas directement l'erreur sur l'estimation. Une autre méthode, utilisée à partir de 2002, a consisté à décrire la forme de la saison de ponte grâce au produit de deux fonctions logistiques (Girondot, Viseux et al. 2002). Ce modèle statistique était ajusté grâce à la méthode des moindres carrés, ce qui est valable lorsque la dispersion des points autour de la moyenne est homogène et distribuée normalement (homoscédasticité) (Hilborn and Mangel 1997).

Toutefois, la simple observation d'une saison de ponte de tortues marines montre sans ambiguïté que la dispersion des points est plus forte au centre de la saison comparée au début et à la fin de la saison. La distribution normale des points est aussi tronquée puisque les dénombrements de nids ne peuvent prendre des valeurs négatives. Le résultat de ce modèle était donc biaisé (Godgenger, Bréheret et al. 2009).

Un modèle additif généralisé a aussi été utilisé pour modéliser la saison de ponte des tortues luth au Costa Rica (Troëng, 2004). L'utilisation de ce type de modèle est néanmoins hasardeuse puisque la forme de la saison de ponte n'est pas maîtrisée. Ainsi, lorsque le jeu de données est de petite taille, les estimations peuvent devenir largement fausses.

Un modèle publié en 2006 utilise une sinusoïde ajustée avec la méthode des moindres carrés (Gratiot, Gratiot et al. 2006). Ce modèle présente toujours l'inconvénient d'un biais dû à la troncature de la distribution normale. En outre, la forme parfaitement symétrique de la sinusoïde autour du pic de ponte rend ce modèle peu réaliste (Godgenger, Bréheret et al. 2009).

En 2006, a été publié un second modèle utilisant cette fois deux fonctions logistiques et un ajustement avec la méthode du maximum de vraisemblance, c'est-à-dire en recherchant les paramètres qui maximisent les densités de probabilités pour les valeurs observées. Cette méthode d'ajustement prend en compte l'hétéroscédasticité : elle est satisfaisante dans un contexte où l'erreur autour de la moyenne dépend de cette dernière (Girondot, Rivalan et al. 2006).

Pour les plages où l'activité de ponte était faible (par exemple au Congo), une distribution de Poisson a été utilisée pour décrire le nombre de nids quotidiens (Godgenger, Bréheret et al. 2009). Pour les plages où l'activité de ponte est élevée (par exemple en Guyane), le nombre de pontes quotidien était décrit à l'aide d'une distribution Normale. Le modèle a été par la suite amélioré en utilisant une seule distribution binomiale négative pour décrire le nombre de pontes quotidien. Ce dernier modèle peut

être ajusté que la densité de ponte soit faible ou élevée, et avec différentes formes de saison de ponte. C'est celui que nous avons utilisé pour les analyses des données de ponte de 2000 à 2014 dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances.

La saison de ponte des tortues marines est caractérisée par une faible activité de ponte en début et en fin de saison de ponte, et par un pic de ponte à peu près au milieu de la saison de ponte. Le modèle utilisé pour décrire cette saison est constitué d'une fonction construite par intervalle avec d'abord une sinusoïde ascendante, puis une plateforme et enfin une sinusoïde descendante :

Variables et paramètres

La saison de ponte des tortues marines est caractérisée par une faible activité de ponte en début et en fin de saison de ponte, et par un pic de ponte à peu près au milieu de la saison de ponte. Le modèle utilisé pour décrire cette saison est constitué d'une fonction construite par intervalle avec d'abord une sinusoïde ascendante, puis une plateforme et enfin une sinusoïde descendante :

$$\begin{cases} \text{if } t < B \rightarrow \text{MinB} \\ \text{if } t \in [B, P - F/2] \rightarrow \left(\left(1 + \cos\left(\pi(P - F/2 - t)/(P - F/2 - B)\right) \right) / 2 \right) (Max - \text{MinB}) + \text{MinB} \\ \text{if } t \in [P - F/2, P + F/2] \rightarrow \text{Max} \\ \text{if } t \in [P + F/2, E] \rightarrow \left(\left(1 + \cos\left(\pi(t - P + F/2)/(E - P + F/2)\right) \right) / 2 \right) (Max - \text{MinE}) + \text{MinE} \\ \text{if } t > E \rightarrow \text{MinE} \end{cases}$$

Où t est la date dans le calendrier julien, B et E sont les dates juliennes du début et de la fin de la saison de ponte, P est la date du pic de la saison de ponte, F est le nombre de jours autour du pic pendant lesquelles la courbe reste plate, et minB , MinE et Max sont les facteurs d'échelle permettant de maintenir le nombre de nids au dessus de zéro.

La distribution binomiale négative est une loi de probabilité discrète à deux paramètres m et k avec : $0 < k < 1$ et $m > 0$. La distribution de Poisson étant un cas particulier de cette distribution lorsque $k=1$. Ainsi, l'utilisation d'une distribution binomiale négative permet au modèle de s'adapter à la fois aux situations où les comptages de nids sont élevés ou faibles.

$$\Pr(X = x) = \frac{\Gamma(k + x)}{x! \Gamma(k)} \left(\frac{m}{m + k} \right)^x \left(1 + \frac{m}{k} \right)^{-k}, m > 0, k > 0$$

Par la suite, les paramètres B et E , respectivement les dates ordinales de début et de fin de saison de ponte, ont été remplacés par *Length B* et *Length E*, le nombre de jours écoulés entre le début de la saison et le pic et le nombre de jours écoulés entre le pic et la fin de la saison. Cette modification rend l'ajustement du modèle plus facile dans la mesure où cela évite d'atteindre des valeurs négatives au cours du processus d'ajustement du modèle sur les données observées.

L'ajustement de la courbe de ponte sur chaque série de données permet d'estimer la moyenne et l'intervalle de confiance à 95% de l'activité de ponte moyenne sur chaque site suivi, par année et en moyenne sur la période 2000-2014.

Modèle pour analyser les tendances prenant en compte à la fois un niveau variable d'incertitude sur les estimations par site et un manque complet d'information sur certains sites

Le modèle, non encore publié (il sera présenté pour la première fois au colloque 36th International Symposium on Sea Turtles), a été développé pour répondre aux exigences fréquemment rencontrées

dans les suivis de tortues marines : une série de sites fonctionne en relative synchronie mais la qualité des informations est variable.

Comme les estimations de l'effort de pontes (ou d'activité de montées quand on s'intéresse aux traces) sont obtenues par maximum de vraisemblance, les estimateurs sont distribués normalement. Le nombre de montées sur un site i d'une année j ayant été estimé par ML est donc issu d'une distribution normale $N(\mu_{ij}, \text{sd}_{ij})$.

Soit p_{ij} la proportion des montées effectuées sur la plage i de l'année j . avec $\sum p_{.j}=1$. Deux scénarios sont possibles :

- soit cette proportion est invariable dans le temps (A), alors on a p_i constant ;
- soit, au contraire, p est variable dans le temps (B), mais il convient toujours de garder la relation au sein d'une année : $\sum p_{.j}=1$.

On utilise une fonction logit pour s'assurer que les probabilités restent dans la gamme 0-1 et une série de probabilités conditionnelles pour proposer toujours des probabilités correctes. Ces probabilités conditionnelles sont toujours présentées sous forme de logit.

Pour chaque scénario (A et B), le nombre total de pontes ou montées pour une année donnée est modélisé, soit (i) comme une constante, soit (ii) comme présentant une tendance exponentielle (croissance ou décroissance), soit (iii) sans contrainte de tendance (année-spécifique). Le choix entre ces différents modèles est effectué à partir d'une statistique combinant à la fois la qualité de l'information dans le modèle (la vraisemblance) mais pénalisant par le nombre de paramètres. Il s'agit de l'*Akaike Information Criterion* et son pendant probabiliste, l'*Akaike weight* qui décrit la probabilité qu'un modèle soit réellement le meilleur parmi un ensemble de modèles testés.

Résultats

Modélisation des courbes saisonnières de ponte

Dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances, de 2000 à 2014, il y a au total :

- 695 séries (1 plage x 1 année = 1 série) analysables pour la tortue luth (*Dermochelys coriacea*),
- 736 séries analysables pour la tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata*),
- 713 séries analysables pour la tortue verte (*Chelonia mydas*).

Cependant la plupart de ces séries n'ont que très peu de jours suivis :

- la médiane du nombre de jours suivis est de 17 pour la tortue luth (*Dermochelys coriacea*), ce qui signifie que la moitié des séries (347 séries) ont été suivies moins de 17 jours ;
- la médiane du nombre de jours suivis est de 19 pour la tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata*), ce qui signifie que la moitié des séries (368) ont été suivies moins de 19 jours ;
- la médiane du nombre de jours suivis est de 17 pour la tortue verte (*Chelonia mydas*), ce qui signifie que la moitié des séries (356) ont été suivies moins de 17 jours.

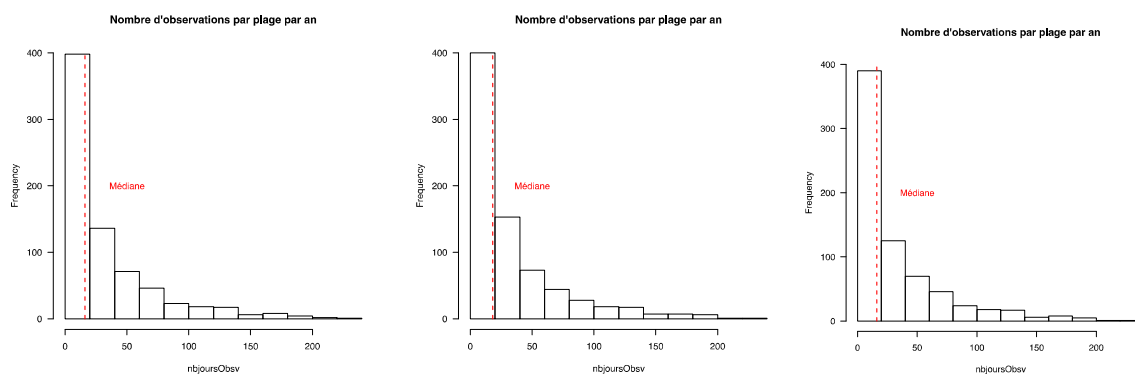


Figure 6. Histogrammes de distribution du nombre de jours de suivi par série. (En abscisse les classes de nombre de jours de suivi. En ordonnée, le nombre de séries par classe. A gauche *Chelonia mydas*, au centre *Eretmochelys imbricata*, à droite *Dermochelys coriacea*.

Pour la tortue luth, l'ensemble des données a été analysé en une fois pour sortir les données de forme de la phénologie.

Pour la tortue verte et la tortue imbriquée, la phénologie est d'abord estimée sur les 30 séries qui ont le plus de pontes et parmi lesquelles des 0 ont été notés. En effet de nombreuses séries sont reportées sans 0 ce qui biaise les résultats. Parmi celles-ci nous ne conservons que celles où le début et la fin ont été bien monitorés.

Les séries restantes sont intégrées pour ajuster les courbes de ponte une fois les données de forme établis.

L'ensemble des ajustements des modèles de courbe de ponte pour toutes les séries et pour les trois espèces est disponible en Annexes.

Estimation des activités de ponte

Les courbes de pontes ajustées sur l'ensemble des séries exploitables (Tableau 1) permettent d'estimer le nombre moyen de ponte et les intervalles de confiance à 95% pour chaque série, pour chaque secteur sur l'ensemble des années suivies.

Tableau 1. Synthèse des séries exploitables pour la modélisation des activités saisonnières de ponte de tortues luth

Secteur	Nombre de plages totales	Nombre de plages avec informations	Nombre de plages comptées	Nombre de plages utilisées
1	19	18	17	13
2	39	37	35	20
3	13	9	9	8
4	34	30	28	20
5	21	16	14	11
6	12	12	12	11
7	18	15	12	6
8	13	11	11	0
9	4	3	0	0
10	16	15	14	12
Total	189	166	152	101

Tableau 2. Synthèse des séries exploitables pour la modélisation des activités saisonnières de ponte de tortues imbriquées

<i>Secteur</i>	<i>Nombre de plages totales</i>	<i>Nombre de plages avec informations</i>	<i>Nombre de plages comptées</i>	<i>Nombre de plages utilisées</i>
1	19	18	17	13
2	39	37	35	20
3	13	9	9	8
4	34	30	28	20
5	21	16	14	11
6	12	12	12	11
7	18	15	12	9
8	13	11	11	0
9	4	3	0	0
10	16	15	14	12
Total	189	166	152	104

Tableau 3. Synthèse des séries exploitables pour la modélisation des activités saisonnières de ponte de tortues vertes

<i>Secteur</i>	<i>Nombre de plages totales</i>	<i>Nombre de plages avec informations</i>	<i>Nombre de plages comptées</i>	<i>Nombre de plages utilisées</i>
1	19	18	17	13
2	39	37	35	21
3	13	9	9	8
4	34	30	28	20
5	21	16	14	11
6	12	12	12	11
7	18	15	12	7
8	13	11	11	1
9	4	3	0	0
10	16	15	14	13
Total	189	166	152	105

Pour chaque espèce, les moyennes et les intervalles de confiance des activités de ponte selon le modèle sur chaque plage pour les 10 secteurs sont détaillés en annexes.

Tableau 4. Synthèse des activités de ponte moyennes de tortues luth par secteur et par an (2000-2014)

Année	Secteurs										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2000	83,21	258,66	69,18	73,57	166,26	155,02	73,16			47,18	926,24
2001	81,43	253,11	67,69	71,99	162,69	151,69	71,59			46,17	906,36
2002	81,75	254,1	67,96	72,28	163,33	152,29	71,87			46,35	909,93
2003	85,23	264,94	70,86	75,36	170,3	158,79	74,94			48,33	948,75
2004	81,49	253,32	67,75	72,05	162,83	151,82	71,65			46,21	907,12
2005	71,6	222,55	59,52	63,3	143,05	133,38	62,95			40,6	796,95
2006	66,69	207,29	55,44	58,96	133,24	124,23	58,63			37,81	742,29
2007	175,98	547,02	146,29	155,6	351,61	327,84	154,72			99,79	1958,85
2008	96,66	300,47	80,36	85,47	193,14	180,08	84,99			54,81	1075,98
2009	108,34	336,76	90,06	95,79	216,46	201,83	95,25			61,43	1205,92
2010	86,71	269,53	72,08	76,67	173,25	161,54	76,24			49,17	965,19
2011	81,23	252,5	67,53	71,82	162,3	151,33	71,42			46,06	904,19
2012	112,44	349,5	93,47	99,41	224,65	209,47	98,86			63,76	1251,56
2013	116,05	360,72	96,47	102,61	231,87	216,19	102,03			65,8	1291,74
2014	110,68	344,05	92,01	97,86	221,15	206,2	97,31			62,76	1232,02
Proportion de l'activité de ponte	8,98%	27,93%	7,47%	7,94%	17,95%	16,74%	7,90%	-%	-%	5,09%	100%

Tableau 5. Synthèse des activités de ponte moyennes de tortues imbriquées par secteur et par an (2000-2014)

Année	Secteurs										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2000	697,32	107,87	83,02	143,33	67,41	361,75	607,74			76,25	2036,82
2001	578,21	89,44	68,84	118,85	55,90	299,96	503,94	0,0 0	0,0 0	63,22	1778,36
2002	1133,10	175,28	134,90	232,91	109,55	587,83	987,57			123,90	3076,31
2003	537,17	83,09	63,95	110,41	51,93	278,67	468,17			58,74	1652,13
2004	1231,53	190,50	146,61	253,13	119,06	638,88	1073,32			134,66	1516,95
2005	1258,44	194,67	149,82	258,66	121,66	652,84	1096,78			137,60	3870,47
2006	1426,53	220,67	169,83	293,21	137,91	740,04	1243,28			155,98	4387,45
2007	1004,73	155,42	119,61	206,52	97,13	521,22	875,66			109,86	3090,15
2008	513,30	79,40	61,11	105,50	49,62	266,28	447,36			56,13	1578,7
2009	858,27	132,76	102,18	176,41	82,97	445,24	748,01			93,84	2545,84
2010	855,24	132,30	101,82	175,79	82,68	443,67	745,37			93,51	2630,38
2011	477,14	73,81	56,80	98,07	46,13	247,53	415,85			52,17	1415,33
2012	1160,42	179,50	138,15	238,52	112,18	601,99	1011,35			126,88	3568,99
2013	631,24	97,64	75,15	129,75	61,02	327,46	550,15			69,02	1750,66
2014	1028,87	159,15	122,49	211,48	99,47	533,74	896,70			112,50	2952,92
Proportion de l'activité de ponte	32,13%	4,72%	3,82%	6,37%	2,66%	16,67%	30,83%	-%	-%	2,80%	100%

Tableau 6. Synthèse des activités de ponte moyennes de tortues vertes par secteur et par an (2000-2014)

Année	Secteurs										Total
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2000	66,12	114,95	35,44	116,90	56,50	496,95	230,88	525,76		219,32	1862,82
2001	55,82	97,05	29,92	98,69	47,70	419,55	194,92	443,88		185,16	1572,69
2002	58,69	102,03	31,46	103,75	50,15	441,07	204,92	466,64		194,66	1653,37
2003	60,46	105,11	32,41	106,89	51,66	454,42	211,12	480,77		200,55	1703,39
2004	56,23	97,75	30,14	99,40	48,04	422,56	196,32	447,06		186,49	1583,99
2005	126,41	219,76	67,76	223,48	108,01	950,07	441,40	1005,15		419,29	3561,33
2006	175,37	304,88	94,00	310,03	149,85	1318,01	612,34	1394,43		581,68	4940,59
2007	161,89	281,44	86,77	286,20	138,33	1216,70	565,27	1287,25		536,96	4560,81
2008	92,83	161,38	49,75	164,11	79,32	697,65	324,12	738,10		307,89	2615,15
2009	90,82	157,89	48,68	160,57	77,61	682,60	317,13	722,17		301,25	2558,72
2010	186,24	323,77	99,82	329,25	159,14	1399,71	650,30	1480,86		617,73	5246,82
2011	55,40	96,31	29,69	97,94	47,34	416,38	193,45	440,52		183,76	1560,79
2012	46,93	81,59	25,15	82,97	40,10	352,73	163,87	373,18		155,67	1322,19
2013	59,72	103,81	32,01	105,57	51,03	448,80	208,51	474,82		198,07	1682,34
2014	93,57	162,66	50,15	165,41	79,95	703,21	326,71	743,98		310,35	2635,99
Proportion de l'activité de ponte	3,55%	6,17%	1,90%	6,28%	3,03%	26,68%	12,39%	28,22%	-%	11,77%	100%

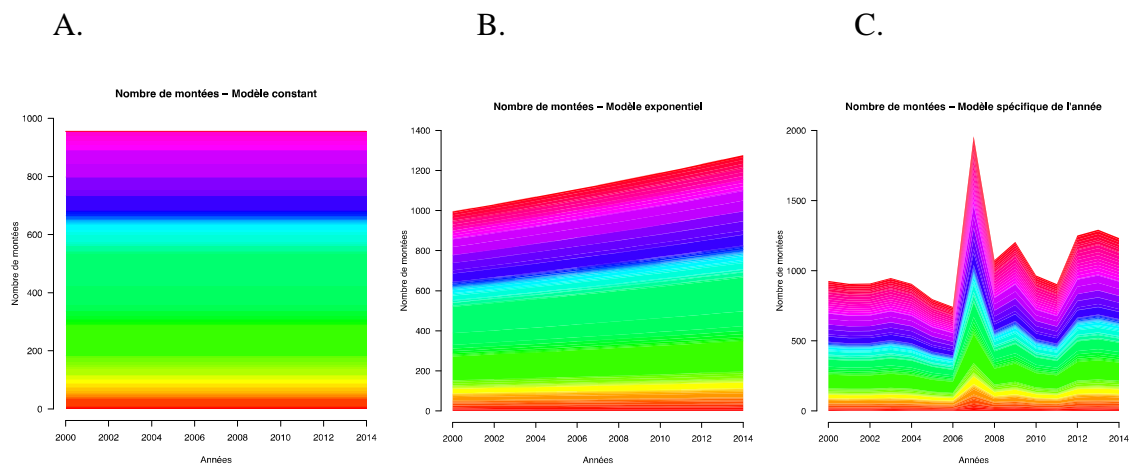
Analyse des tendances des activités de ponte

Pour chaque espèce observée en ponte dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances, trois modèles sont testés, tous avec une proportion des montées constante sur les différents sites au cours du temps :

- Nombre constant de montées au cours des 16 années ;
- Tendance exponentielle du nombre des montées ;
- Nombre de montées différent chaque année.

Tendance des activités de ponte 2000-2015 pour la tortue luth

Figure 7. Représentation graphique des trois modèles de tendance des activités de ponte des tortues luth au sein de l'archipel - Secteurs 1 à 10.



A. Nombre constant de montées ; B. Tendance exponentielle des montées ; C. Modèle année spécifique. Chaque couleur représente une plage. Les plages sont ordonnées par secteur. Toutes les îles sont incluses.

La comparaison des modèles A et B permet d'avoir une idée de la tendance significative ou non pour les activités de ponte des tortues luth.

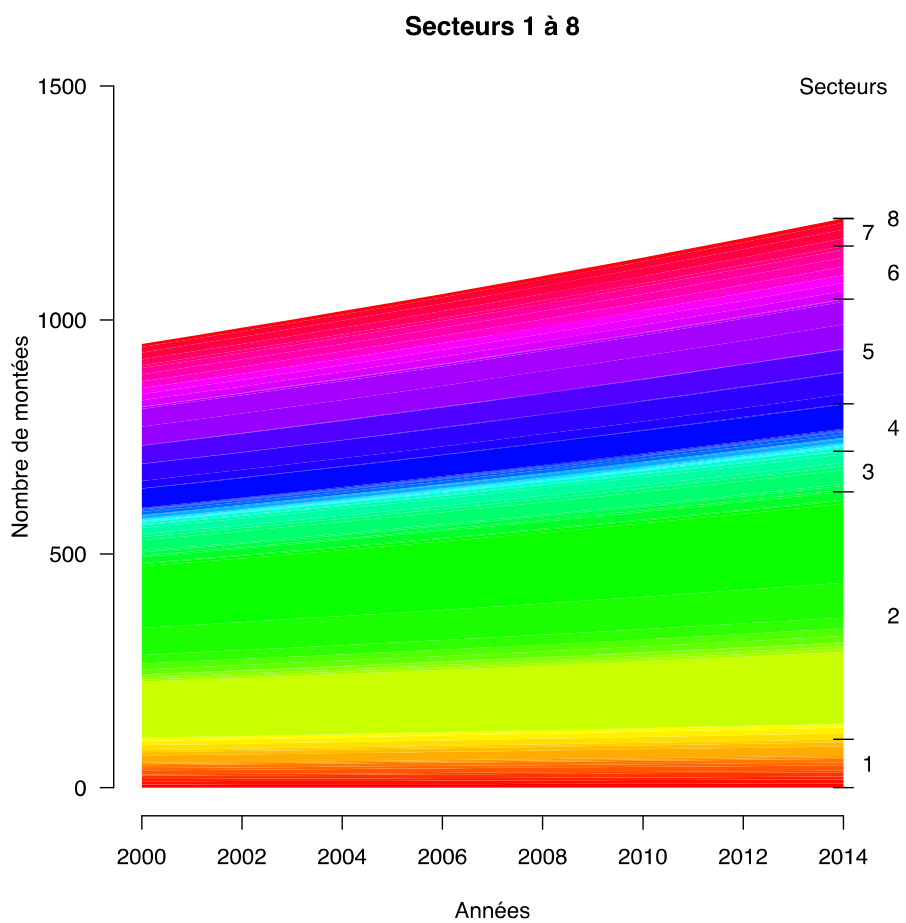
Tableau 7. Comparaison des modèles constant et tendance exponentielle d'après la méthode des AIC (tortue luth)

	<i>AIC</i>	<i>DeltaAIC</i>	<i>Akaike weight</i>
<i>Modèle constant</i>	2477.155	36.20898	1.371892e-08
<i>Modèle tendance exponentielle</i>	2440.946	0.00000	1.000000e+00

L'AIC le plus bas (2440.946) est obtenu pour le modèle avec tendance (Tableau 7). Le modèle sélectionné est donc celui avec une tendance exponentielle avec une probabilité de 1 que ce modèle soit le meilleur parmi ceux testés.

Pour les tortues luths, le taux de croissance annuel est de 0.0177633, soit une croissance (Figure 8).

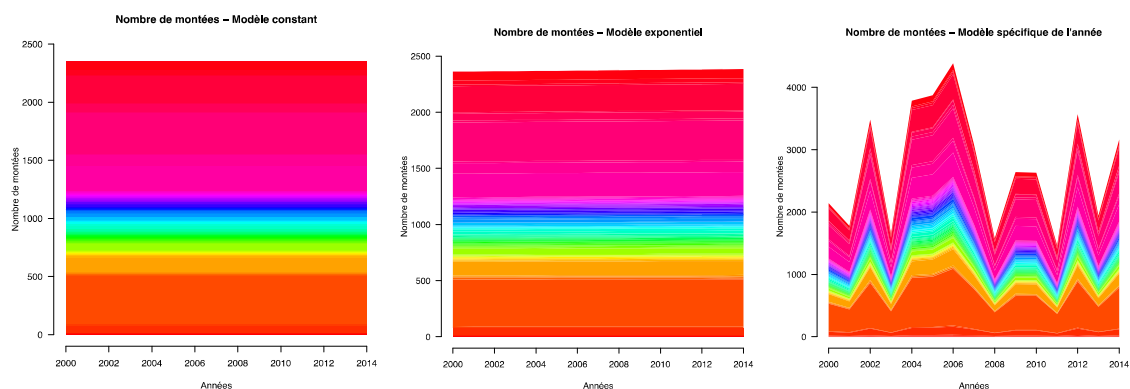
Figure 8. Représentation graphique du modèle de tendance sélectionné.



Chaque couleur représente une plage. Les plages sont ordonnées par secteur.

Tendance des activités de ponte 2000-2015 pour la tortue imbriquée

Figure 9. Représentation graphique des trois modèles de tendance des activités de ponte des tortues imbriquées au sein de l'archipel - Secteurs 1 à 10.



A. Nombre constant de montées ; B. Tendance exponentielle des montées ; C. Modèle année spécifique

Chaque couleur représente une plage. Les plages sont ordonnées par secteur. Toutes les îles sont incluses.

La comparaison des modèles A et B permet d'avoir une idée de la tendance significative ou non pour les activités de ponte des tortues imbriquées.

Tableau 8. Comparaison des modèles constant et tendance exponentielle d'après la méthode des AIC (tortue imbriquée).

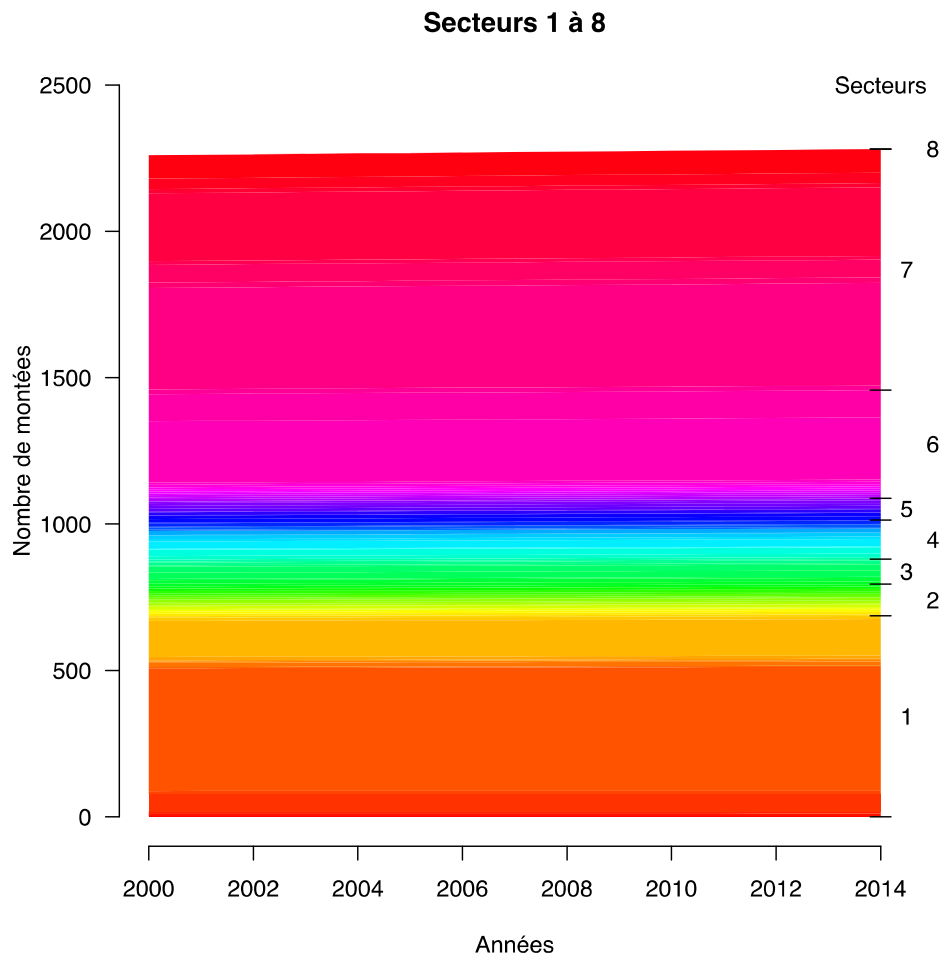
	<i>AIC</i>	<i>DeltaAIC</i>	<i>Akaike weight</i>
<i>Modèle constant</i>	3392.403	12.3901	0.002035345
<i>Modèle tendance exponentielle</i>	3380.013	0.00000	0.997964655

L'AIC le plus bas (3380.013) est obtenu pour le modèle avec tendance (

Tableau 8). Le modèle sélectionné est donc celui avec une tendance exponentielle avec une probabilité de 0.9979647 que ce modèle soit le meilleur.

Pour les tortues imbriquées, le taux de croissance annuel est de 6.6651755×10^{-4} , soit une quasi-stabilité (Figure 10).

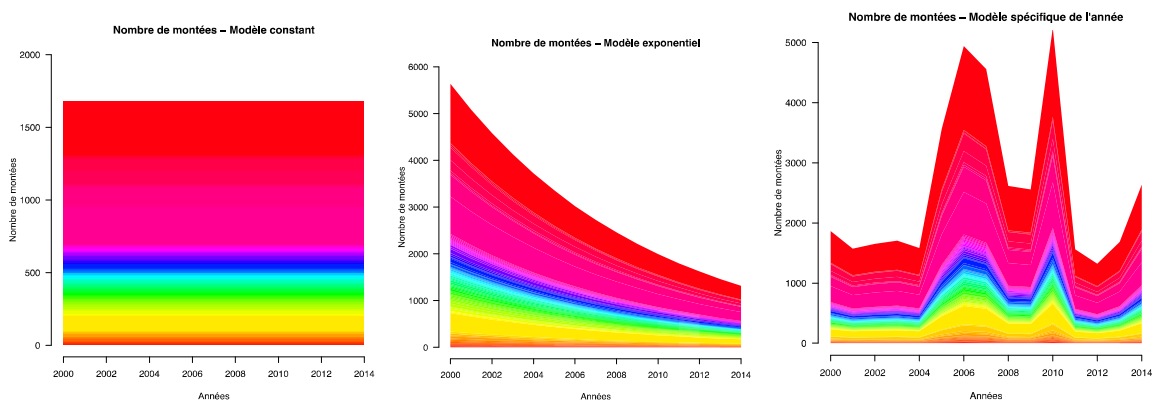
Figure 10. Représentation graphique du modèle de tendance sélectionné pour la tortue imbriquée.



Chaque couleur représente une plage. Les plages sont ordonnées par secteur.

Tendance des activités de ponte 2000-2015 pour la tortue verte

Figure 11. Représentation graphique des trois modèles de tendance des activités de ponte des tortues vertes au sein de l'archipel - Secteurs 1 à 10.



La comparaison des modèles A et B permet d'avoir une idée de la tendance significative ou non pour les activités de ponte des tortues vertes.

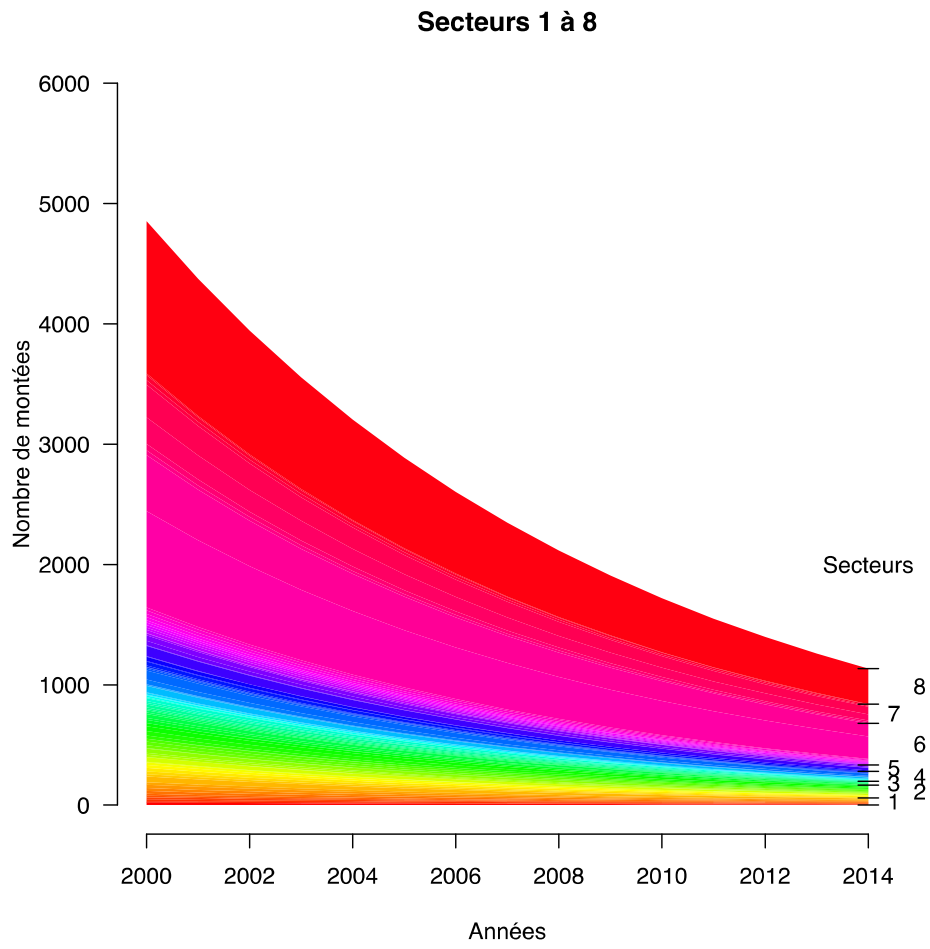
Tableau 9. Comparaison des modèles constant et tendance exponentielle d'après la méthode des AIC (tortue verte).

	<i>AIC</i>	<i>DeltaAIC</i>	<i>Akaike weight</i>
<i>Modèle constant</i>	2745.106	20.94096	0.0000283606
<i>Modèle tendance exponentielle</i>	2724.165	0.00000	0.9999716394

L'AIC le plus bas (2724.165) est obtenu pour le modèle avec tendance (Tableau 9). Le modèle sélectionné est donc celui avec une tendance exponentielle avec une probabilité de 0.9999716394 que ce modèle soit le meilleur.

Pour les tortues vertes, le taux de croissance annuel est de - 0.1037744, soit une décroissance (Figure 12).

Figure 12. Représentation graphique du modèle de tendance sélectionné pour la tortue verte.



Chaque couleur représente une plage. Les plages sont ordonnées par secteur.

Cartographie des activités de ponte (2015) : estimation d'après la modélisation

Carte des montées de tortues luth

Figure 13. Carte de montées de tortues luth sur l'archipel de Guadeloupe (ajustement du modèle sur les données 2014)

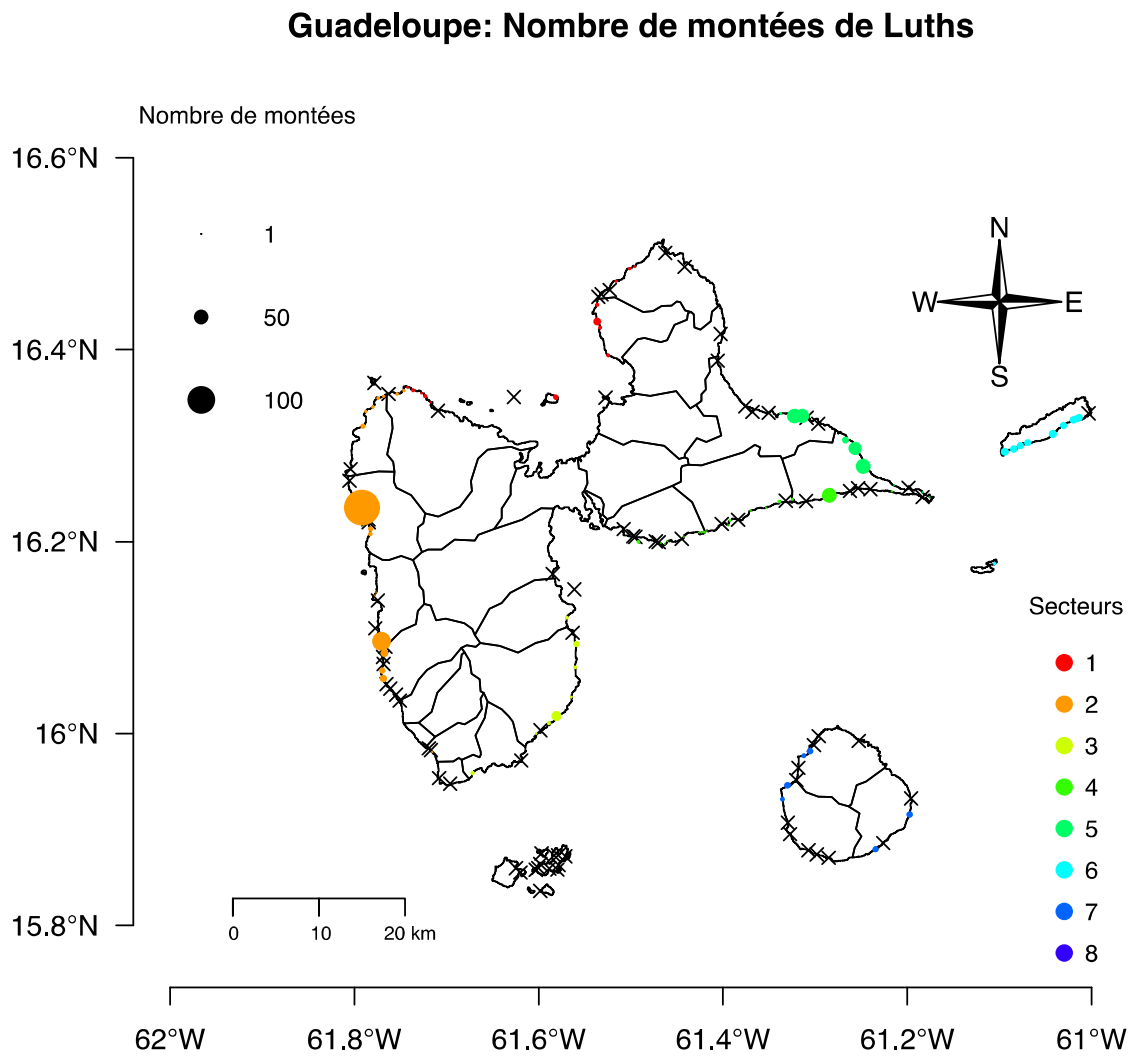
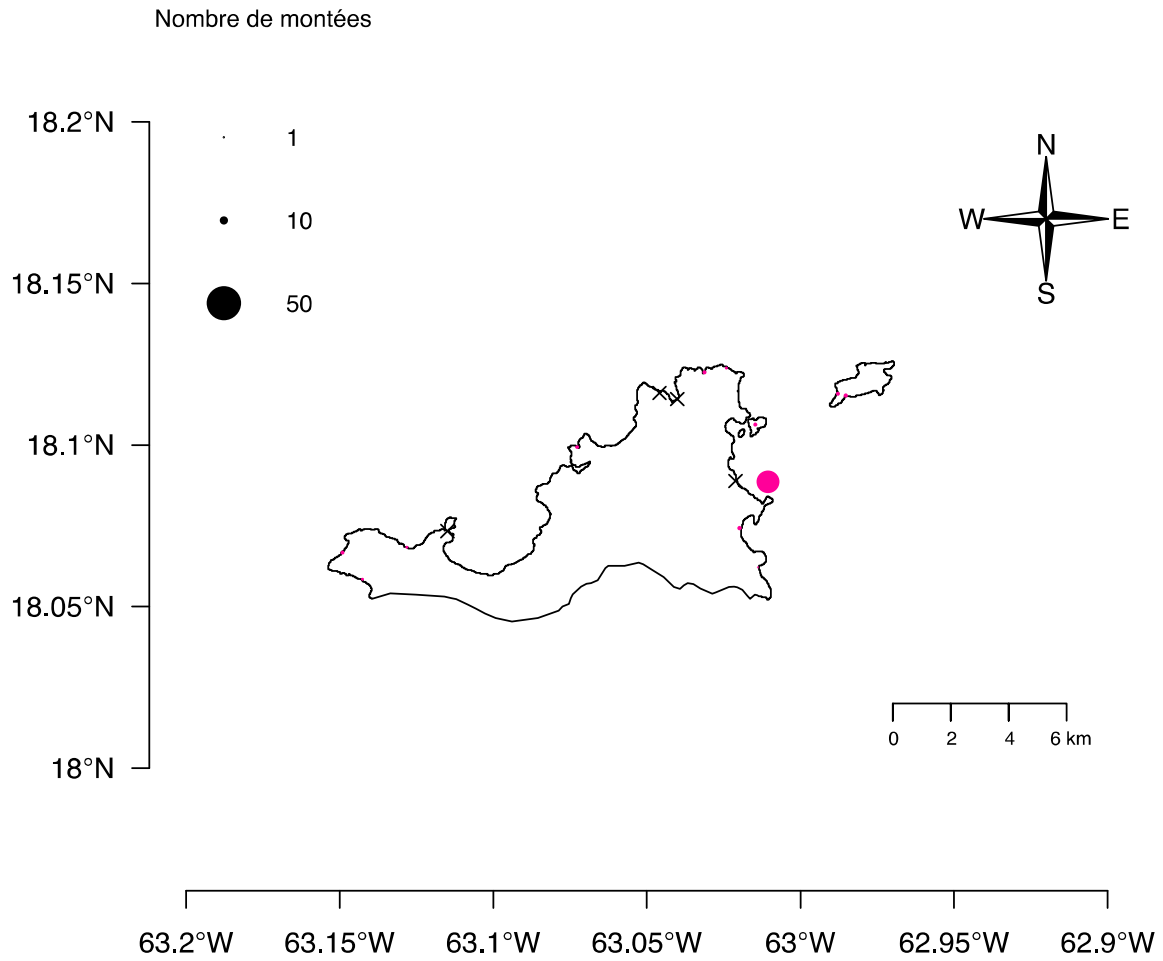


Figure 14. Carte de montées de tortues luth sur l'île de Saint-Martin (ajustement du modèle sur les données 2014)

Saint-Martin: Nombre de montées de Luths



Carte des montées de tortues imbriquées

Figure 16. Carte de montées de tortues imbriquées sur l'archipel de Guadeloupe (ajustement du modèle sur les données 2014)

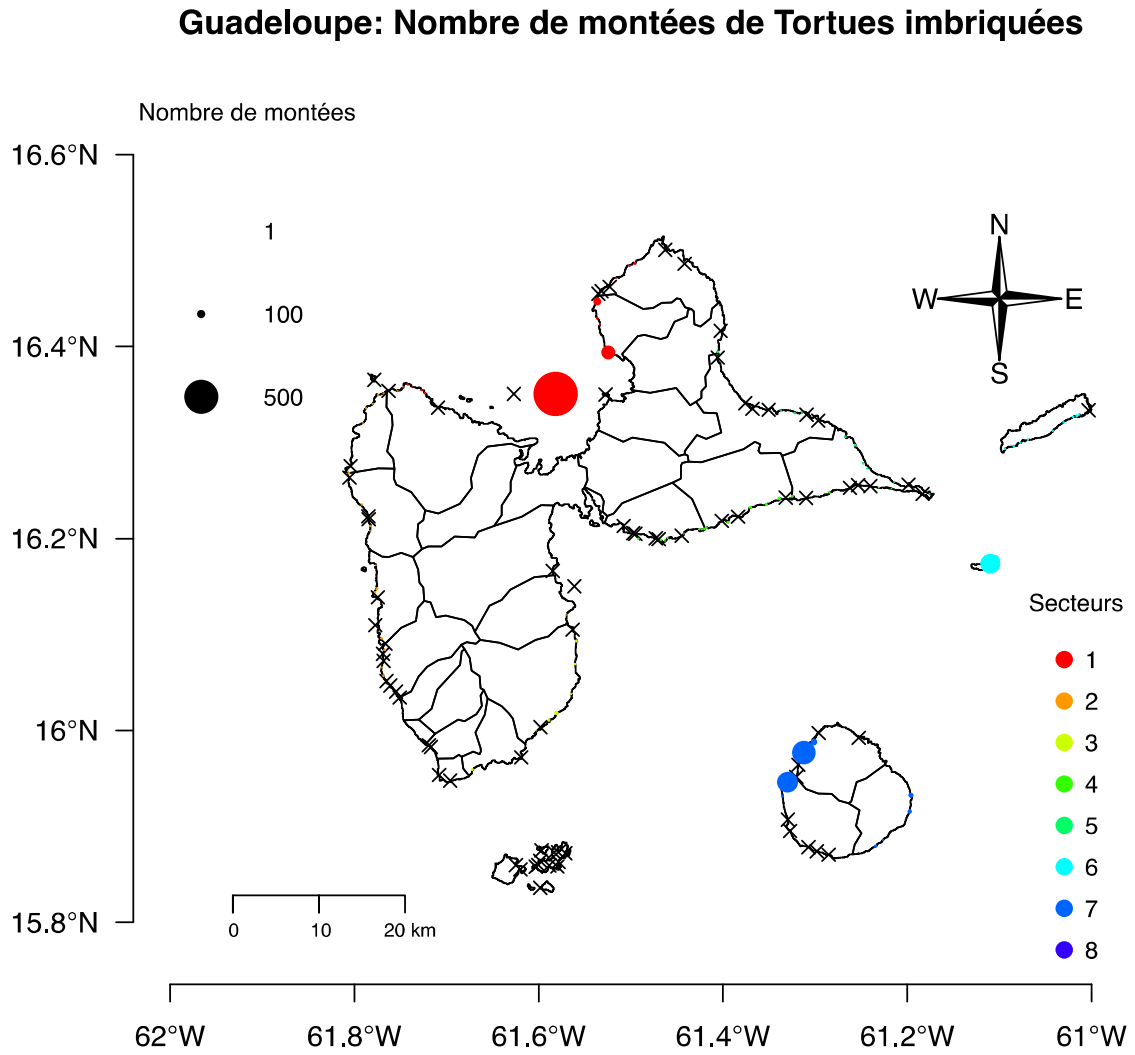


Figure 17. Carte de montées de tortues imbriquées sur l'île de Saint-Martin (ajustement du modèle sur les données 2014)

Saint-Martin: Nombre de montées de Tortues imbriquées

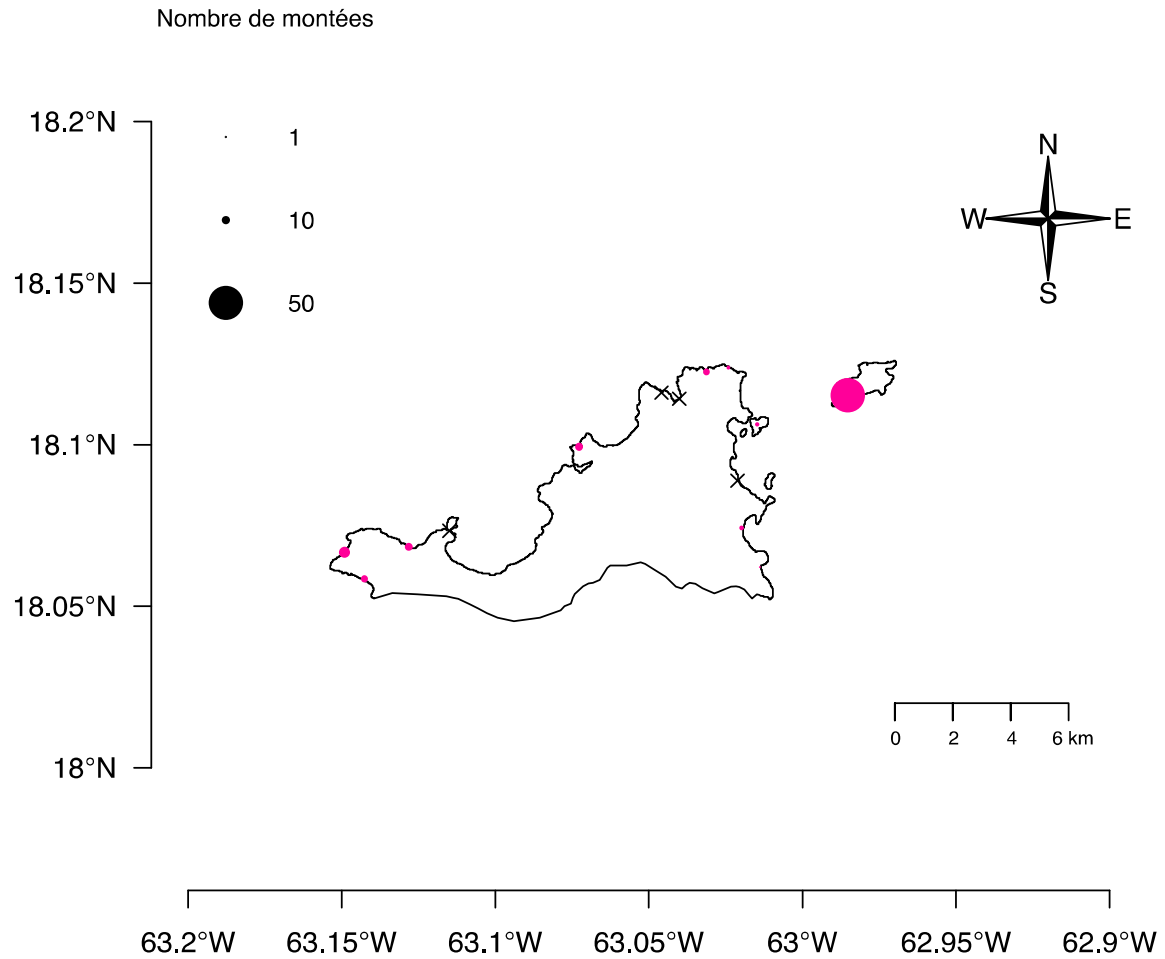
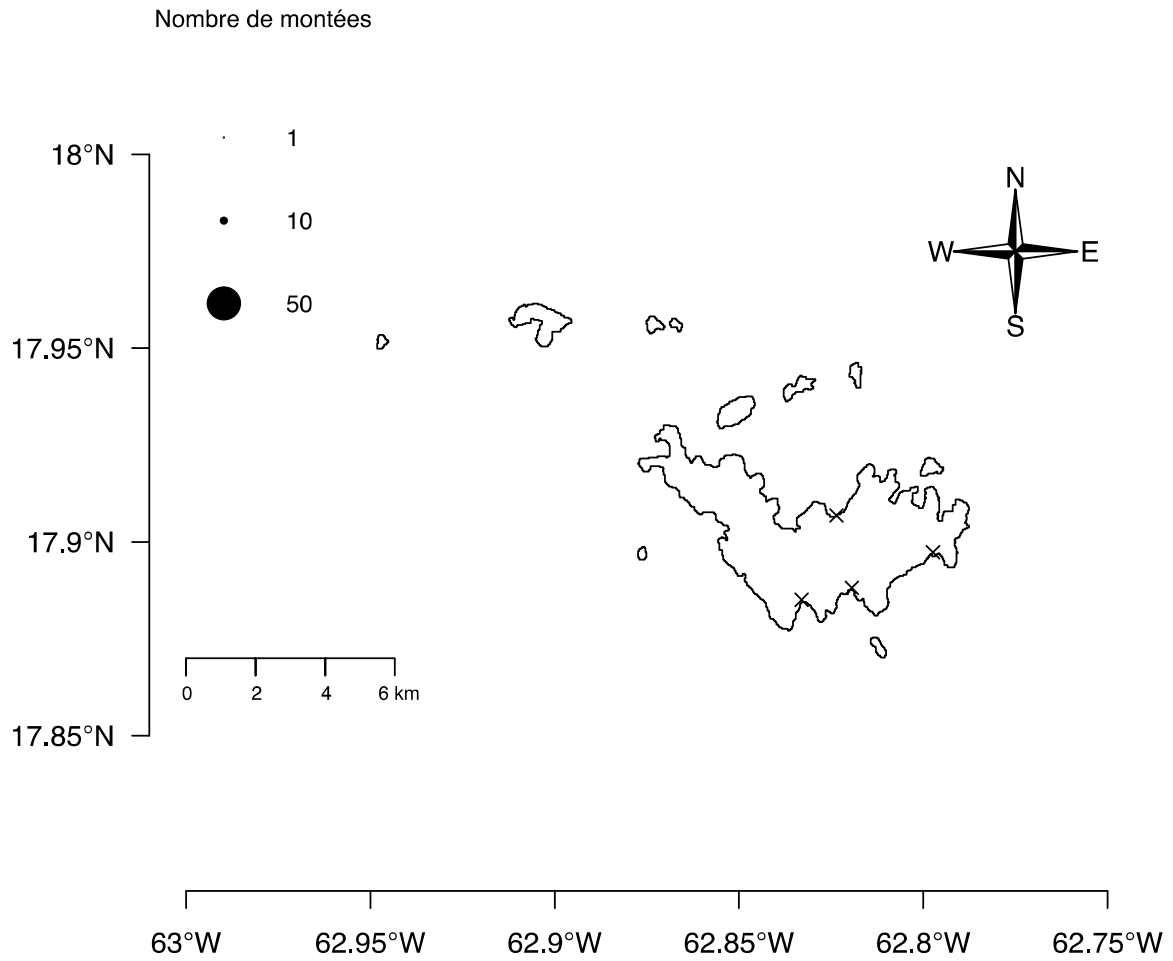


Figure 18. Carte de montées de tortues imbriquées sur l'île de Saint Barthélemy (ajustement du modèle sur les données 2014)

Saint-Barthélemy: Nombre de montées de Tortues imbriquées



Carte des montées de tortues vertes

Figure 19. Carte de montées de tortues vertes sur l'archipel de Guadeloupe (ajustement du modèle sur les données 2014)

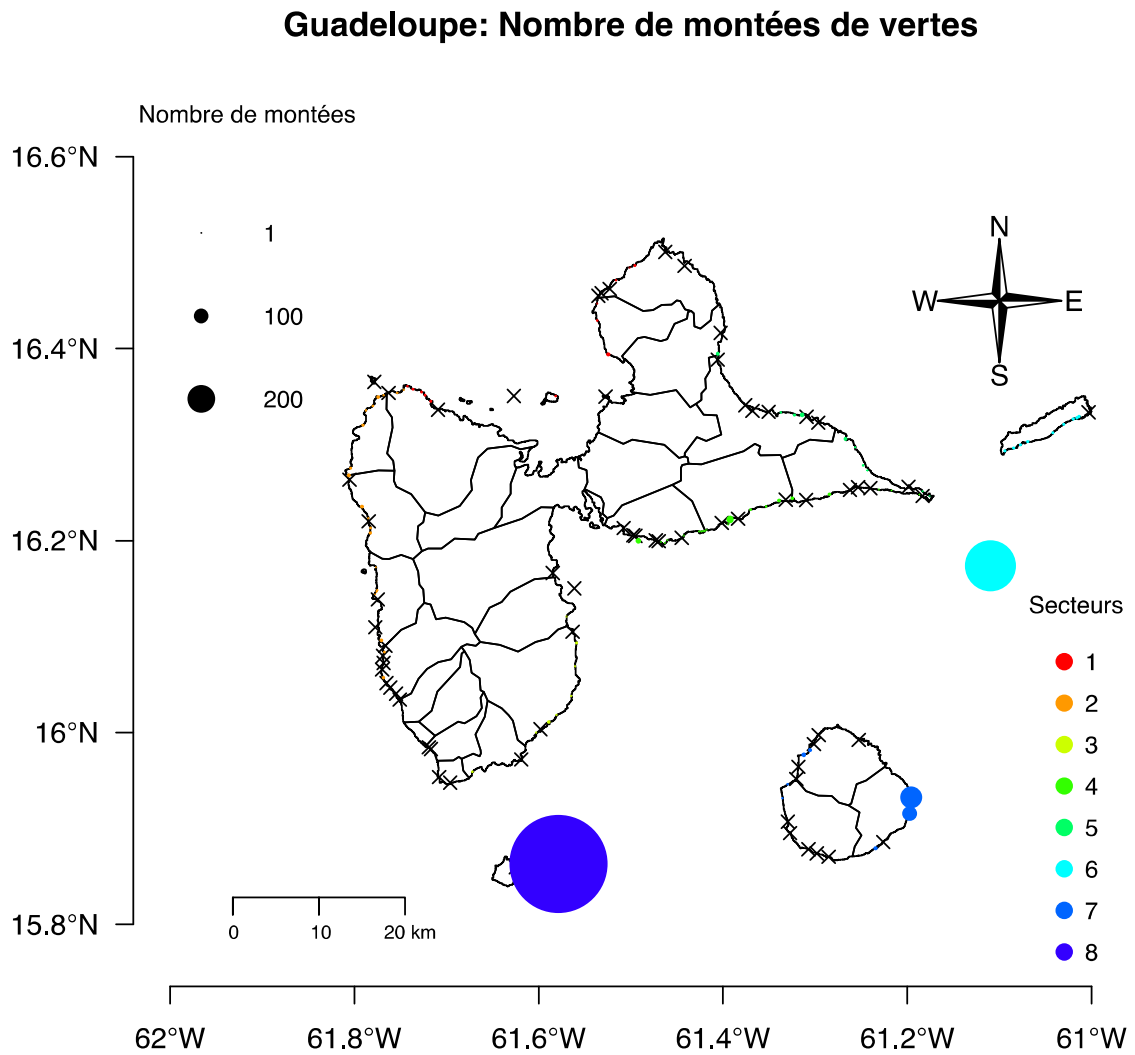


Figure 20. Carte de montées de tortues vertes sur l'île de Saint-Martin (ajustement du modèle sur les données 2014)

Saint-Martin: Nombre de montées de Vertes

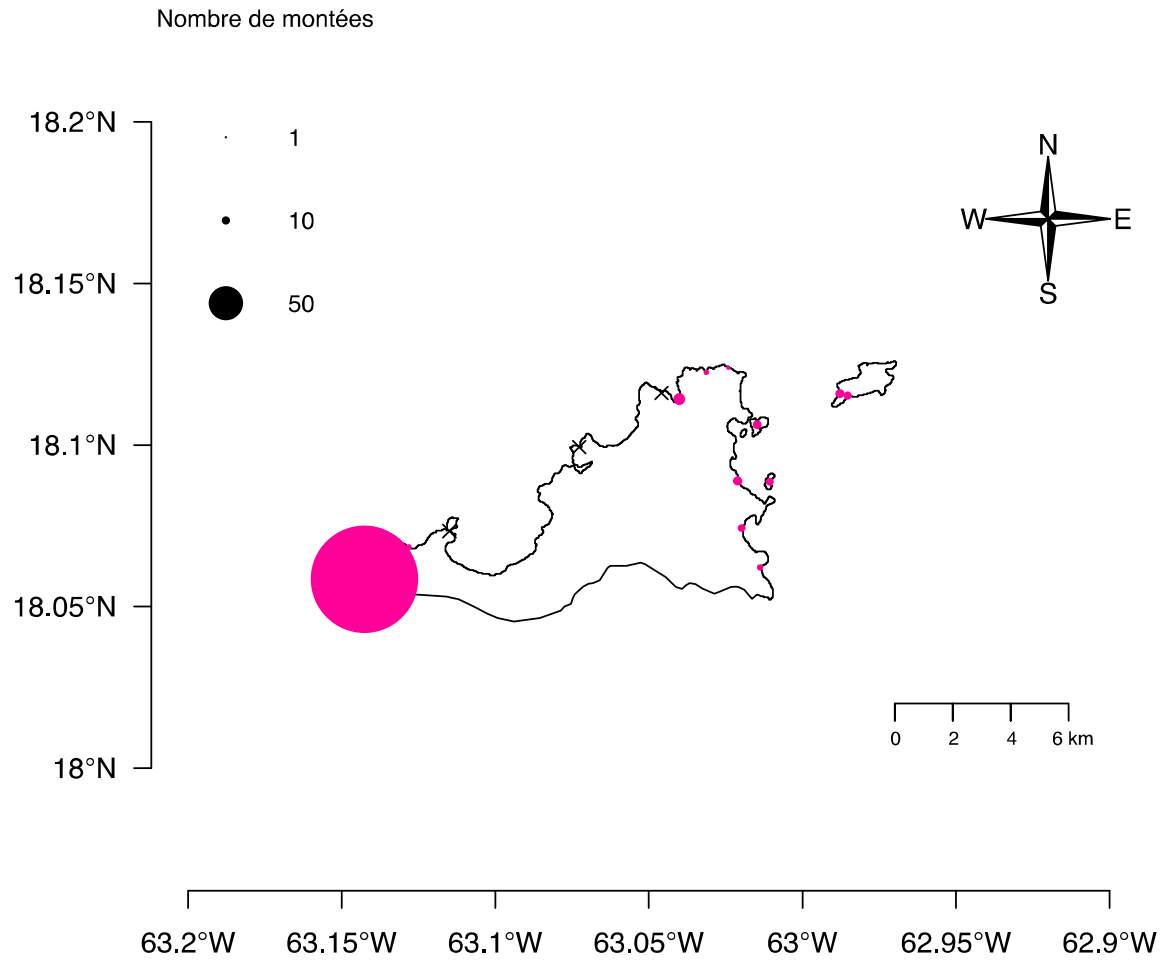
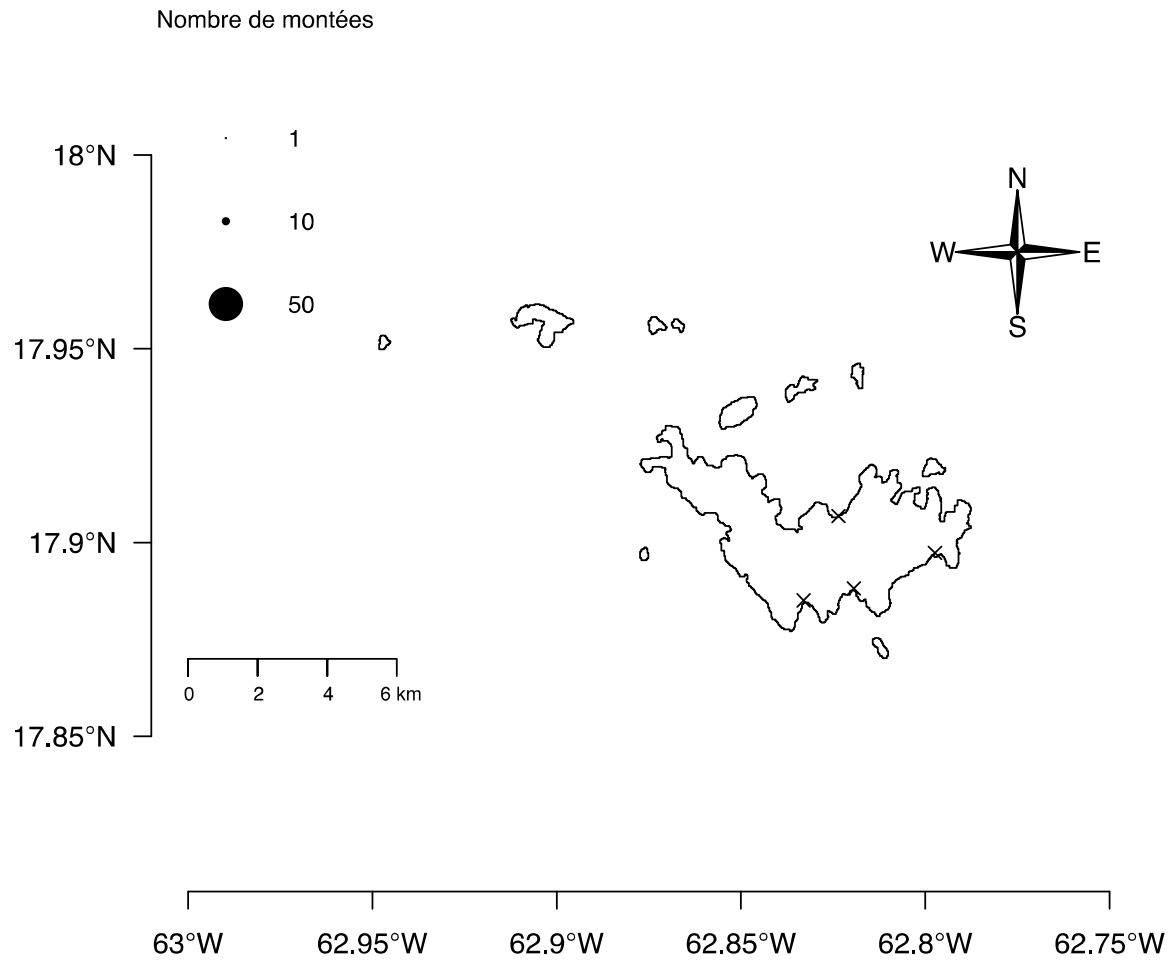


Figure 21. Carte de montées de tortues vertes sur l'île de Saint Barthélemy (ajustement du modèle sur les données 2014)

Saint-Barthélemy: Nombre de montées de Vertes



Discussion

Tendances des activités de ponte

Tendance des activités de ponte par espèce

Globalement, des variations marquées sont observées d'année en année (voir les représentations graphiques des modèles année spécifique : Figure 7, Figure 9, Figure 11). Ces variations sont dues aux particularités des cycles biologiques des espèces et à des facteurs environnementaux agissant sur ses cycles. Par exemple, chez une tortue luth femelle, le nombre d'années qui séparent deux saisons de ponte (1 à 5 ans) dépend du statut trophique de l'individu et de la productivité des sites d'alimentation distants fréquentés par la femelle dans l'intervalle. Ces variations de l'intervalle de retour en ponte peut produire des variations marquées sans lien avec la taille de la population des femelles reproductrices.

La sélection de modèles permet néanmoins de dégager des tendances d'activités de ponte sur la période d'étude (2000-2014).

Tendance des activités de ponte des tortues luth

Pour les tortues luth, une augmentation de l'activité de ponte est constatée sur la période 2000-2014, avec un taux de croissance annuel de 0,0177633 (Figure 8). Nous pouvons replacer cette tendance croissante en Guadeloupe dans le contexte régional. Dans les Caraïbes, le golfe du Mexique et plus globalement dans l'Océan Atlantique, les populations de tortues luth sont en augmentation (Conant et al., 2013).

Tendance des activités de ponte des tortues imbriquées

Le taux de croissance annuel des activités pontes des tortues imbriquées dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendance est de 6.6651755×10^{-4} , soit une quasi-stabilité sur la période 2000-2014 (Figure 10). A l'échelle régionale, l'évolution des populations suivies est contrastée : certaines populations de tortues imbriquées sont en augmentation : à Puerto Rico (Mona Island), sur les îles Vierges Américaines et à la Barbade ; d'autres populations sont en diminution : Antigua et Barbuda, Bahamas, Cuba (Doce Leguas Cays), Jamaïque, et Trinidad and Tobago. Les tendances récentes des populations de tortues imbriquées sont croissantes dans le Golfe du Mexique, au Nicaragua, au Panama et au Brésil ; elles sont décroissantes en Colombie et au Costa Rica (Conant et al., 2013). Par ailleurs, le nombre d'adultes, de subadultes et de juvéniles de tortues imbriquées est en augmentation à Porto Rico, aux Iles Vierges américaines et en Floride (tendances croissante significative obtenue d'après 5 ans de suivi sur 5 sites d'alimentation clés) (Conant et al., 2013).

Tendance des activités de ponte des tortues vertes

Pour les tortues vertes, une diminution de l'activité de ponte est constatée sur la période 2000-2014, avec un taux de croissance annuel est de - 0,1037744 (Figure 12).

Peu de données sont publiées décrivant les tendances récentes des populations de tortues vertes dans l'Atlantique Ouest. D'après le dernier rapport de synthèse de National Marine Fishery Service - U. S. Fish and Wildlife Service (Seminoff et al. 2007), une tendance croissante a été observée en Floride (USA) de 2001 à 2005, au Mexique sur la péninsule du Yucatan (au début des années 2000), au Venezuela (Aves Island, sur la période 2005-2006), au Suriname (dans la seconde moitié des années 1990, au Brésil (Isla Trindade) dans les années 1990. Une tendance croissante a aussi été enregistrée sur l'île d'Ascension (Atlantique central, Royaume Uni) sur la période 1999-2004.

Ces tendances publiées sont le fruit de suivis sur de courtes périodes. Il convient donc de les interpréter avec précaution. En Guadeloupe, la tendance que nous obtenons sur près de quinze ans de suivi est négative. Un suivi sur le plus long terme est dans ce contexte indispensable pour étayer ce résultat qui contraste avec les tendances régionales publiées.

Distribution géographique des activités de ponte

Tortues luth

Dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances, trois secteurs regroupent l'essentiel des pontes de tortues luth : le secteurs 2 (Côte sous le vent, 27,93% de l'activité de ponte des tortues luth) puis les secteurs 5 (façades littorales nord-est et sud-est de Grande Terre) et 6 (essentiellement à la Désirade) avec respectivement 17,95% et 16,74% de l'activité de ponte globale. Les plages de ponte fréquentées par les tortues luth sont souvent celles exposées à l'océan ouvert. L'île de Saint Martin (secteur 10), héberge également des pontes de tortues luth (essentiellement sur le site de Caye Verte dans la Baie orientale, 5% de l'activité de ponte globale des tortues luth).

Tortues imbriquées

Dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances, les activités de ponte des tortues imbriquées se concentrent dans le secteur 1 (Grand Cul-de-Sac Marin, 32,13% de l'activité de ponte globale des tortues imbriquées) et le secteur 7 (Marie Galante, 30,83%) puis dans le secteur 6 (Ilets de Petite Terre, 16,67%). Dans le secteur de l'île de Saint Martin (secteur 10), l'île Tintamarre (plage de la Lagune) concentre les activités de ponte des tortues imbriquées (2,7% de l'effort global de ponte).

Tortues vertes

L'activité de ponte des tortues vertes se concentre sur les îles sud de l'archipel de la Guadeloupe : les secteurs 8 (Iles des Sainte, 28,22%) et 6 (Ilets de Petite Terre, 26,68%), puis le secteur 7 (Marie Galante, 12,39%).

On note également une forte concentration de ponte de tortues vertes sur deux plages situées à l'extrémité ouest de Saint Martin : « Baie longue » et « Baie aux prunes », représentant à elle seule à près de 10% de l'effort de ponte global des tortues vertes.

Part des activités de ponte incluse dans des zones protégées

Tortue luth

La moitié septentrionale de la Côte sous le vent, qui accueille dans sa globalité 28% des pontes, est incluse dans l'aire maritime adjacente au Parc National de Guadeloupe.

La zone de concentration des pontes de tortues luth à Saint Martin (5 % des pontes) est incluse dans la Réserve Naturelle de Saint Martin.

En revanche, La Désirade qui accueille 17% des pontes et les façades littorales nord-est et sud-est de Grande Terre (18% des pontes) sont des zones non actuellement protégées mais pour lesquelles des projets sont à l'étude.

Tortue imbriquée

Le Cul-de-Sac Marin (32% des pontes de tortues imbriquées) est compris dans l'aire maritime adjacente au Parc National de Guadeloupe. Les Ilets de Petite Terre (17% des pontes) sont une Réserve Naturelle nationale, de même que l'îlet Tintamarre (Ile de Saint Martin, 3% des pontes). En revanche, Marie Galante qui accueille 31% des pontes est hors zone de protection.

Tortue verte

Petite Terre qui accueille 27% des activités de pontes des tortues vertes est une Réserve Naturelle nationale.

Une grande partie de l'effort de ponte des tortues vertes se situe en dehors des aires protégées :

- Iles des Saintes 28% des pontes (projet de gestion intégrée des zones côtières (?)) ;
- Marie Galante : 12% des pontes (projet de gestion intégrée des zones côtières (?))
- Saint Martin, plages occidentales : 10% de l'effort de ponte, à l'extérieur de la Réserve Naturelle de Saint Martin (couvrant l'extrémité orientale de l'île et l'îlet Tintamarre).

Figure 22. Cartes des zones protégées et des projets de protection ou de gestion dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances

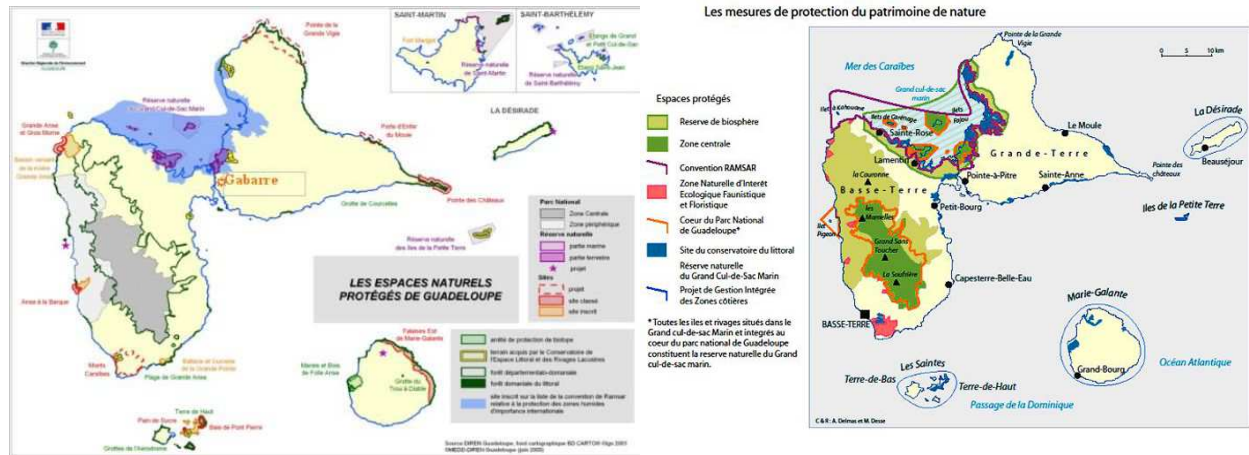


Figure 23. Zonage du Parc National de Guadeloupe



Voies d'amélioration du protocole de suivi et de la collecte de données

Jeu de données de suivi des activités de ponte des tortues marines

La base de données des activités sur la plage est un mélange de données de comptages de montées (traces), d'observation de femelles nidifiant et d'observations anecdotiques. La difficulté de ce jeu de données est qu'il est très hétérogène à la fois en qualité et en quantité. Par exemple, on notera que les noms d'espèces ou de plages ne sont pas homogènes dans la base de données.

Dans la feuille « Suivi », 554 lignes ont été exclues de l'analyse car le champ correspondant à plage suivie n'était pas renseigné.

Il existe dans la feuille « Suivi » des données datées du 18 septembre 2015 (Commune « La Désirade », 6 plages), avec dans la colonne année indiqué 2014. Nous avons corrigé ces dates au 18 septembre 2014.

Nous avons également répertorié dans la feuille « Suivi » des lignes avec des intervalles de dates dans le champ date au lieu d'une date ponctuelle. La coexistence de dates ponctuelles et d'intervalles de dates complique la préparation des données pour l'analyse et augmente le risque de confusion et d'erreur.

Il n'est en outre pas évident de savoir à quoi correspondent les comptages indiqués pour un intervalle de dates. Si ces comptages sont obtenus en faisant la somme de comptages journaliers, il est dommage de ne pas avoir accès à la donnée brute journalière. Le regroupement des données sur un intervalle de dates représente une perte notable d'information. Des nouvelles méthodes sont en cours de développement pour analyser ce type de données.

Nous listons ci-après les secteurs et plages concernés :

- Le secteur « Les Saintes TDH » où les pontes sont dénombrées sur différentes plages du secteur sur les mêmes intervalles. S'il s'agit du résultat d'un protocole particulier (par exemple comptage une fois par mois), le protocole de patrouille est à revoir. S'il s'agit du regroupement *a posteriori* des données de comptage de traces sommées sur un mois alors que les patrouilles sont plus fréquentes, il conviendra à l'avenir d'insérer dans la base les données de comptage quotidienne pour corriger cette perte massive d'information.
- Secteur « Petite terre » plage Terre de Bas. Le protocole ou l'intégration des données dans la base est à revoir, en fonction de l'origine de ces informations par intervalle : patrouille tous les dix jours ou regroupement des données *a posteriori*.
- Secteur Bouillante plages Anse de Sable et Galet rouge : comptage global entre 14/05/2006 et 14/09/2006 (4 mois). Il s'agit là certainement d'un regroupement *a posteriori* qui aboutit à une perte massive d'information. Ces données ne sont pas exploitables pour l'ajustement du modèle.
- De même sur le Secteur Bouillante plage Malendure, les comptages sont globalisés sur une période de près de 3 mois du 14/06/2006 au 07/09/2006.
- Sur le Secteur « Morne à l'eau Plage », plage « Ile Fajou », les données de comptage de traces ont été regroupées du 29/04/2006 à 30/09/2006.

Une autre cause de perte massive d'information, qui nuit à l'ajustement du modèle (Girondot, 2010), est lié au fait que les patrouilles de comptage effectivement réalisées mais n'ayant donné lieu à aucune observation d'activité de ponte ou de montée ne sont pas systématiquement recensées dans la base de données. Nous insistons sur le fait que l'intégration de toutes les patrouilles, donc celles ayant donné lieu à une observation comme celles où aucune montée n'a été observée, avec une ligne dans la base de donnée pour chacune d'entre elles, indiquant *a minima* la plage/commune/secteur (appellation univoque) concernée et la date de la patrouille, soit effective dans la base de données.

Une feuille synthétisant l'effort global de patrouille sur la saison tel que fourni dans la feuille « Efforts de patrouille » n'est pas exploitable pour l'ajustement du modèle de courbe saisonnière des pontes. Le modèle requiert la connaissance précise de l'ensemble des dates de patrouille avec pour chacune d'elle le nombre de montées de tortues observées, détaillé pour chaque espèce.

Nous préconisons donc d'ajouter une ligne par patrouille CT lorsque aucune observation n'a été enregistrée, en indiquant, dans les colonnes correspondant aux nombres de montées par espèce, de véritable zéro signifiant que malgré l'effort de patrouille habituel sur la plage concernée, aucune montée n'a été observée pour ces espèces.

Démarche qualité

L'hétérogénéité de la qualité des données selon les secteurs suggère qu'il serait utile de réaliser une restitution des résultats de l'analyse des données présentées dans ce rapport auprès de l'ensemble des projets de terrain impliqués dans la collecte de données. Cette restitution permettrait de démontrer aux coordinateurs de projet et aux équipes de terrain l'exploitation qui est faite des données collectées et l'importance d'une collecte conforme aux recommandations.

Il arrive qu'après une phase de formation, les données soient dans un premier collectées de manière satisfaisante puis qu'avec le temps, la rigueur se relâche, aboutissant à une dérive progressive des pratiques par rapport aux recommandations initiales. Il peut alors être judicieux d'organiser des réunions régulières d'échange et de suivi-évaluation, par exemple une fois par an. Ces réunions de suivi permettraient des ajustements pour améliorer et maintenir la qualité de la collecte de données, tout en prenant au mieux en compte les contraintes liées aux réalités du terrain. Cette approche s'apparente à une démarche d'assurance qualité. A titre d'exemple, la roue de Deming est un moyen mnémotechnique qui permet de repérer avec simplicité les étapes à suivre pour améliorer la qualité dans une organisation (Shewhart, 1939 ; Shewhart, 1980). La méthode comporte quatre étapes, chacune entraînant l'autre, et vise à établir un cercle vertueux. Sa mise en place doit permettre d'améliorer sans cesse la qualité d'un produit, d'une œuvre, d'un service, etc.

1. Plan : Préparer, planifier (ce que l'on va réaliser) ;
2. Do : Développer, réaliser, mettre en œuvre (le plus souvent, on commence par une phase de test) ;
3. Check : Contrôler, vérifier ;
4. Act (ou Adjust): Agir, ajuster, réagir.

Cette méthode est notamment mise à profit dans la norme qualité ISO 9001. Elle pourrait être mise en œuvre dans le cadre du plan de sauvegarde des tortues marines en Guadeloupe.

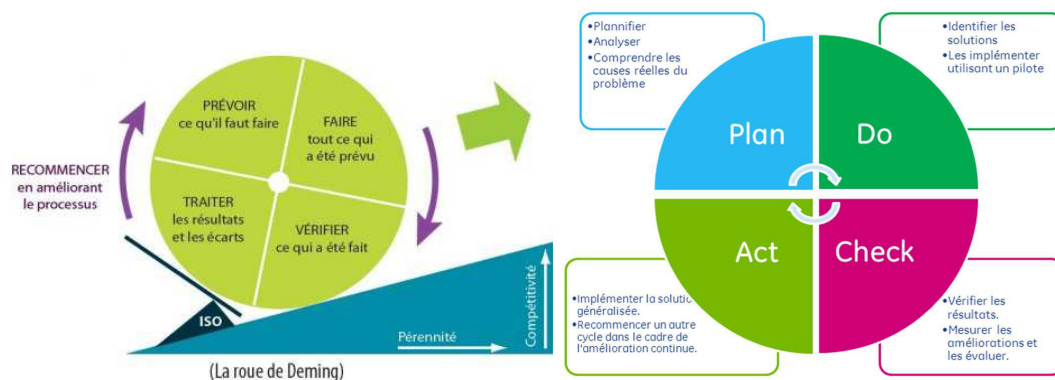


Figure 24. La roue de Deming et le processus d'amélioration permanente

Possibilité d'adaptation du protocole

A l'avenir, le protocole de collecte pourra être adapté en fonction des contraintes de terrain et des contraintes budgétaires, en respectant toutefois certains principes énumérés ci-après :

- Il est nécessaire de suivre un maximum de site de ponte en parallèle, distribués sur l'ensemble de l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances ; il n'est pas possible d'utiliser des plages index car si les tortues marines abandonnent un site de ponte ou si un site est détruit, tout l'historique de suivi serait perdu.
- En revanche, sur les sites de suivi, le monitoring des activités de ponte peut être partiel au cours de la saison de ponte.
- Sur les sites suivis partiellement pendant la saison de ponte, la fréquence des patrouilles doit être élevée en début et en fin de saison de ponte : les patrouilles peuvent être plus espacées deux mois autour du pic de ponte. Les recommandations du SWOT (SWOT, 2011), propose par exemple un protocole qui prévoit 3 patrouilles par semaine en début et en fin de saison, et 2 patrouilles par semaine pendant les deux mois autour du pic. La méthode de modélisation est très robuste face au changement de stratégie d'échantillonnage tant que la fréquence des patrouilles reste supérieure à 20% des nuits (Figure 25).
- il est en outre important de débiter les patrouilles suffisamment tôt et de les poursuivre suffisamment tard dans la saison afin de détecter le début et la fin de la saison d'activité de ponte (SWOT, 2011).
- En ce qui concerne l'établissement des tendances, les comptages de traces sont essentiels. Les suivis nocturnes à la recherche des tortues femelles en ponte n'apportent en revanche pas d'informations exploitables pour le suivi des activités de ponte et de leurs tendances.
- Les patrouilles sans observation (véritables zéros) doivent être enregistrées précisément dans la base de données « Suivi » avec une ligne pour chacune d'elle en précisant *a minima* la date et le nom univoque du site de patrouille (plage/commune/secteur). Il est indispensable de pouvoir faire la différence entre une valeur zéro qui signifie l'absence de patrouille et un zéro qui signifie qu'une patrouille a été réalisée mais qu'aucune trace de montée n'a été observée.

Stratégie d'échantillonnage des dates de suivi	Qualité de l'ajustement du modèle
	+++
	++
	++
	++
	++
	+
	-
	-
	-

Figure 25. Représentation schématique de différentes stratégies d'échantillonnage pour le suivi des pontes. Les traits horizontaux noirs représentent 5 plages de pontes sur lesquels des patrouilles de suivi (barres verticales colorées) sont réalisées au cours de l'année.

Conclusion

Sur la période 2000-2014, les résultats de tendance des activités de ponte sont contrastés selon les espèces de tortues marines. La tendance est quasi stable pour les tortues imbriquées, elle est légèrement croissante pour les tortues luth, et décroissante pour les tortues vertes. Les facteurs qui sous-tendent ces tendances restent inaccessibles pour plusieurs raisons. Tout d'abord, les pontes des trois espèces de tortues marines en Guadeloupe prennent place dans un contexte de dynamique des population plus large, régional et à l'échelle de l'Océan Atlantique puisque les tortues marines fréquentent des sites parfois très éloignés en fonction de leurs stades de vie. De même, les menaces capables d'orienter ces tendances peuvent agir localement au niveau des sites de ponte ou sur d'autres stades de vie, notamment lors des trajets migratoires et sur les sites d'Alimentation. Ensuite, il existe des mécanismes biologiques liés aux cycles de vie des tortues marines susceptibles de produire de forte fluctuations des activités de ponte d'année en année sans pour autant traduire des variations de la taille de la population nidifiante. Il a ainsi été montré que la détection d'une tendance de 10% nécessite un suivi des activités de ponte sur 20 ans consécutifs au moins.

C'est pourquoi il est essentiel de poursuivre les suivis en maintenant l'effort de suivi sur l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances, tout en améliorant l'homogénéité des données et, notamment, en enregistrant avec précision toutes les patrouilles ne donnant lieu à aucune observation de ponte. Le suivi des tortues marines est une activité difficile, qui nécessite le recours à des méthodes de travail non intensives afin d'être capable de les mettre en œuvre sur le long terme. Le comptage des traces de montées de tortues marines reste la mesure la plus simple à utiliser comme indicateur de tendance de l'activité de ponte.

Bibliographie

- Board., S. S. A. (2011). The State of the World's Sea Turtles (SWOT) minimum data standards for nesting beach monitoring.
- Briane, J.-P., et al. (2007). "The Inverse Problem applied to the Observed Clutch Frequency of Leatherbacks from Yalimapo beach, French Guiana." *Chelonian Conservation and Biology* 6(1): 63-69.
- Conant, T., et al. (2013). Hawksbill Sea Turtle ESA Five-Year Review National Marine Fishery Service - U. S. Fish and Wildlife Service: 89.
- Conant, T., et al. (2013). Leatherback Sea Turtle ESA Five-Year Review National Marine Fishery Service - U. S. Fish and Wildlife Service: 89.
- Delcroix, E., Bédel, S., Santelli, G., & Girondot, M. (2013). Monitoring design for quantification of marine turtle nesting with limited human effort: a test case in the Guadeloupe Archipelago. *Oryx*, 48(1), 95-105.
- Girondot, M. (2010). Editorial: The zero counts. *Marine Turtle Newsletter* 129, 5-6.
- Girondot, M., et al. (2006). "Phenology of marine turtle nesting revealed by a statistical model of the nesting season." *BMC Ecology* 6: 11.
- Girondot, M., et al. (2002). Suivi des populations de tortues marines sur l'ensemble des plages de la réserve nationale de l'Amana. Analyse des données de comptage et de marquage, année 2002. Rapport à la Direction Régionale de l'Environnement de Guyane. Orsay, France, Laboratoire Ecologie, Systématique et Evolution. Université Paris Sud et CNRS: 30.
- Godgenger, M.-C., et al. (2009). "Nesting estimation and analysis of threats for Leatherback (*Dermochelys coriacea*) and Olive Ridley (*Lepidochelys olivacea*) marine turtles nesting in Congo." *Oryx* 43(4): 556-563.
- Gratiot, N., et al. (2006). "Estimation of a turtle nesting season from incomplete data: Statistical adjustment of a sinusoidal function. ." *Animal Conservation* 9: 95-102.
- Hilborn, R. and M. Mangel (1997). *The ecological detective. Confronting models with data.* Princeton, New Jersey, Princeton University Press.
- Houmeau, V., et al. (2008). Influence du facteur alimentaire sur l'abondance des tortues imbriquées (*Eretmochelys imbricata*) dans l'archipel guadeloupéen. Congrès annuelle de la société herpétologique de France. La Rochelle, France.
- Russo, M. and M. Girondot (2008). How long to monitor marine turtles populations to conclude for a trend? Report for SWOT organization. Paris, France, Laboratoire Ecologie, Systématique et Evolution, Université Paris Sud, CNRS et AgroParisTech: 99.
- Seminoff, J., et al. (2007). Green Sea Turtle ESA Five-Year Review National Marine Fishery Service - U. S. Fish and Wildlife Service: 102.
- Shewhart W. A. (1980). *Economic Control of Quality of Manufactured Product / 50th Anniversary Commemorative Issue*, American Society for Quality.

Shewhart W. A. (1939). *Statistical Method from the Viewpoint of Quality Control*, Dover, New York.

Annexes

Annexe 1. Analyse exhaustive des données de ponte des tortues luth dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances

Annexe 2. Analyse exhaustive des données de ponte des tortues imbriquées dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances

Annexe 3. Analyse exhaustive des données de ponte des tortues vertes dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances