

## **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 Programs  
Environmental Impact Studies

### **Consultation directe n°2015/779/n°4**



Crédit photo : Jeuffroy

**Analyse des données d'indice d'abondance  
subaquatique des tortues marines en Guadeloupe  
(incluant ses dépendances et Saint Martin),  
recueillies dans le cadre du programme INASCUBA.**

**Période 2002-2014**

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

<b>Introduction</b>	<b>7</b>
<b>Cartographie des secteurs suivis</b>	<b>8</b>
<i>Structure de la base de données</i>	8
<i>Consolidation des données</i>	8
Hétérogénéité de dénomination des sites	8
Coordonnées géographiques des sites suivis : nécessité de conversion UTM vers Latitude Longitude	8
<b>Cartographie des sites et des secteurs</b>	<b>9</b>
<i>Synthèse des données disponibles</i>	12
Nombre de suivi par secteur et par tranche horaire	12
<b>Statistiques descriptive</b>	<b>13</b>
<i>Nombre moyen d'observations par espèce, par secteur.</i>	13
<i>Indices d'abondance moyens selon les sites suivis</i>	16
Tortues imbriquées	16
Tortues vertes	20
<b>Statistiques analytiques (modèle linéaire généralisé mixte GLMM)</b>	<b>24</b>
<i>Matériels et méthodes</i>	24
<i>Résultats du modèle linéaire généralisé mixte</i>	25
Sélection du meilleur modèle	25
Résultats du meilleur modèle	27
Résultats : évolution des indices d'abondance d' <i>Eretmochelys imbricata</i> selon le modèle	29
Résultats : évolution des indices d'abondance de <i>Chelonia mydas</i> au cours du temps selon le <i>modèle</i>	36
<b>Discussion</b>	<b>43</b>
<i>Evolution des indices d'abondance des tortues imbriquées selon les secteurs et les zones     bénéficiant d'un statut de protection</i>	43
<i>Evolution des indices d'abondance des tortues vertes selon les secteurs et zones bénéficiant d'un     statut de protection</i>	44

<b>Voie d'amélioration du suivi Inascuba</b>	<b>47</b>
<i>Contenu de la base de données</i>	47
<i>Suivi Inascuba</i>	47
<b>Bibliographie</b>	<b>49</b>
<b>Annexes</b>	<b>50</b>

## Table des figures

Figure 1. Carte d'ensemble de l'archipel de Guadeloupe, de ses dépendances et de Saint Martin. Distribution spatiale des sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba et des secteurs.	9
Figure 2. Carte de l'archipel de Guadeloupe. Distribution spatiale des sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba et des secteurs.	10
Figure 3. Carte de l'île de Saint-Martin. Distribution spatiale des sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba et des secteurs.	11
Figure 4. Carte de l'île de Saint-Barthélemy. Distribution spatiale des sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba et des secteurs.	12
Figure 5. Synthèse : nombre de plongées réalisées par secteur et par an (2000-2014)	13
Figure 6. Nombre moyen d'observations de tortues imbriquées par plongée selon les secteurs (2002-2014).	15
Figure 7. Nombre moyen d'observations de tortues vertes par plongée selon les secteurs (2002-2014).	15
Figure 8. Carte d'ensemble de la Guadeloupe, de ses dépendances et de Saint Martin. Indices moyens d'abondance des tortues imbriquées sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.	16
Figure 9. Carte de la Guadeloupe. Indices moyens d'abondance des tortues imbriquées sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.	17
Figure 10. Carte de l'île de Saint-Martin. Indices moyens d'abondance des tortues imbriquées sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.	18
Figure 11. Carte de l'île de Saint-Barthélemy. Indices moyens d'abondance des tortues imbriquées sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.	19
Figure 12. Carte d'ensemble de la Guadeloupe, de ses dépendances et de Saint Martin. Indices moyens d'abondance des tortues vertes sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.	20
Figure 13. Carte de la Guadeloupe. Indices moyens d'abondance des tortues vertes sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.	21
Figure 14. Carte de l'île de Saint-Martin. Indices moyens d'abondance des tortues vertes sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.	22
Figure 15. Carte de l'île de Saint-Barthélemy. Indices moyens d'abondance des tortues vertes sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.	23
Figure 16. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance d' <i>Eretmochelys imbricata</i> sur le secteur 1 (prédiction d'après le meilleur GLMM)	30
Figure 17. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance d' <i>Eretmochelys imbricata</i> sur le secteur 2 (prédiction d'après le meilleur GLMM)	31
Figure 18. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance d' <i>Eretmochelys imbricata</i> sur le secteur 4 (prédiction d'après le meilleur GLMM)	32
Figure 19. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance d' <i>Eretmochelys imbricata</i> sur le secteur 7 (prédiction d'après le meilleur GLMM)	33
Figure 20. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance d' <i>Eretmochelys imbricata</i> sur le secteur 8 (prédiction d'après le meilleur GLMM)	34
Figure 21. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance d' <i>Eretmochelys imbricata</i> sur le secteur 9 (prédiction d'après le meilleur GLMM)	35
Figure 22. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance de <i>Chelonia mydas</i> sur le secteur 1 (prédiction d'après le meilleur GLMM)	37
Figure 23. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance de <i>Chelonia mydas</i> sur le secteur 2 (prédiction d'après le meilleur GLMM)	38
Figure 24. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance de <i>Chelonia mydas</i> sur le secteur 4 (prédiction d'après le meilleur GLMM)	39
Figure 25. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance de <i>Chelonia mydas</i> sur le secteur 7 (prédiction d'après le meilleur GLMM)	40
Figure 26. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance de <i>Chelonia mydas</i> sur le secteur 8 (prédiction d'après le meilleur GLMM)	41
Figure 27. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance de <i>Chelonia mydas</i> sur le secteur 9 (prédiction d'après le meilleur GLMM)	42
Figure 28. Cartes des zones protégées et des projets de protection ou de gestion dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances	46
Figure 29. Zonage du Parc National de Guadeloupe	46

## Table des tableaux

<b>Tableau 1. Nombre de suivis par secteur et selon les tranches horaires</b>	<b>13</b>
<b>Tableau 2. Nombre moyen d'observations de tortues vertes et des tortues imbriquées par plongée selon les secteurs</b>	<b>14</b>
<b>Tableau 3. Tortues imbriquées : comparaison des GLMM et choix du meilleur modèle d'après les AIC (<i>Akaike Information Criteria</i>)</b>	<b>25</b>
<b>Tableau 4. Tortues vertes : comparaison des GLMM et choix du meilleur modèle d'après les AIC (<i>Akaike Information Criteria</i>)</b>	<b>26</b>
<b>Tableau 5. Résultat du GLMM sélectionné pour les tortues imbriquées : significativité des effets des facteurs fixes</b>	<b>27</b>
<b>Tableau 6. Résultat du GLMM sélectionné pour les tortues vertes : significativité des effets des facteurs fixes</b>	<b>28</b>
<b>Tableau 7. Date (numéro de quinzaine) à laquelle la valeur de l'indice d'abondance modélisé des tortues imbriquées est maximale</b>	<b>29</b>

## Introduction

Deux espèces de tortues marines sont principalement observées sur les sites d'alimentation dans les eaux côtières de Guadeloupe : la tortue imbriquée (*Eretmochelys imbricata*) et la tortue verte (*Chelonia mydas*). Depuis 2002, les clubs de plongée de Guadeloupe des données sur les observations de tortues marines sur les sites de plongée de la Guadeloupe et de ses dépendances (y compris Saint-Martin).

Les données d'observation collectées de 2002 à 2014 sont le fruit de l'investissement des clubs de plongée, de l'effort d'observation déployé par les plongeurs et de la coordination de la collecte et de la centralisation des données par l'animateur de réseau. Grâce à ces actions coordonnées (protocole Inascuba) qui représentent un travail considérable, un fichier de données de plus de 40 000 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'indices d'abondance, 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 matière 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 sur les indices d'abondance réalisées par Envirology pour les deux espèces *Eretmochelys imbricata* et *Chelonia mydas* est fournie dans des annexes.

## Cartographie des secteurs suivis

### Structure de la base de données

Le jeu de données se présente sous la forme d'un classeur Excel contenant deux feuilles :

- une feuille « Données InaScuba 2002-2014 » avec pour chaque plongée répertoriée, le nom du site suivi, son secteur, le nombre de tortues vertes, le nombre de tortues imbriquées et le nombre total de tortues marines observées ;
- une feuille « Liste des lieux » répertoriant des noms de lieu et le secteur correspondant, avec pour chaque lieu des coordonnées géographiques intitulés « x » et « y ».

### Consolidation des données

#### Hétérogénéité de dénomination des sites

Nous décomptons :

- 253 noms de lieux pour les sites de suivis dans la feuille « Données InaScuba 2002-2014 »
- 248 noms de lieux pour les sites de suivis dans la feuille « Liste des lieux » dont un « NA »

Quatre sites sont orthographiés différemment dans les deux feuilles (différence lettres minuscules/lettres majuscules) : "An ba vout la", "SB-GROUPERS", "Sec grande tortue" et "Tête à l'Anglais" dans la feuille « Données InaScuba 2002-20014 » sont respectivement orthographiés "An Ba Vout La", "SB-Groupers", "Sec Grande Tortue" et "Tête à l'anglais" dans la feuille « Liste des lieux ».

Par ailleurs, six sites présents dans la feuille « Données InaScuba 2002-2014 » ne sont pas retrouvés dans la feuille « Liste des lieux » : "Ilet Cabrit les Saintes", "MG-Gros cable", "Pointe cabrit", "Pointe colibri", "Pointe lézarde" et "Sources chaudes".

Il existe une ambiguïté sur le secteur auquel appartient le site de suivi « Sec Paté ». Dans la feuille « Données InaScuba 2002-20014 », « Sec Paté » est dans la plupart des cas attribué au Secteur 8 et plus rarement attribué au Secteur 2 (67 lignes). Dans la mesure où le site « Sec Paté » apparaît au secteur 8 dans la feuille « Liste des lieux », nous avons réattribué l'ensemble des données Sec Paté au Secteur 8.

#### Coordonnées géographiques des sites suivis : nécessité de conversion UTM vers Latitude Longitude

Les coordonnées géographiques des sites suivis, fournies dans la feuille « Liste des lieux » se sont révélées être des coordonnées UTM (Universal Transverse Mercator). Pour la cartographie des sites, nous avons converti les coordonnées UTM en coordonnées Latitude / Longitude exprimées en degrés décimaux. Il n'y avait aucune information sur la façon dont étaient codées ces longitudes/latitudes dans les documents joints. On notera que dans les documents fournis pour les suivis des sites de pontes, les longitudes et latitudes étaient indiquées en degrés décimaux. Il serait préférable d'harmoniser ce codage.



## Cartographie des sites et des secteurs

### Cartographie des sites suivis

248 sites ont été suivis, répartis sur 8 secteurs (Figure 1) :

Secteur 1 : Grand Cul-de-Sac Marin

Secteur 2 : Côte sous le vent

Secteur 4 : façade littorale nord-est de Grande Terre

Secteur 5 : façade littorale sud-est de Grande Terre

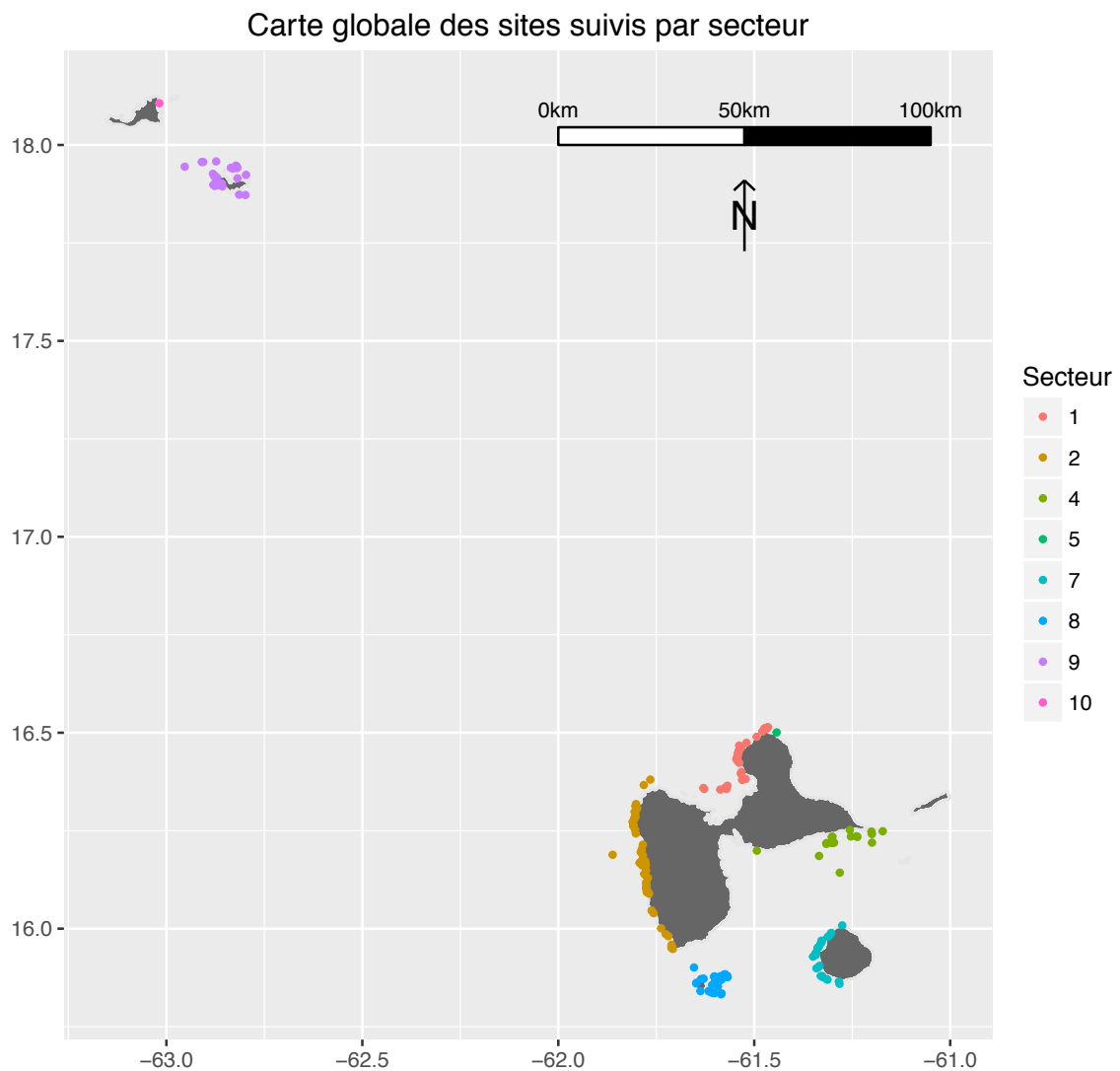
Secteur 7 : Marie Galante

Secteur 8 : Iles des Saintes

Secteur 9 : Saint Barthélemy

Secteur 10 : Saint Martin (Sentier Pinel)

Figure 1. Carte d'ensemble de l'archipel de Guadeloupe, de ses dépendances et de Saint Martin. Distribution spatiale des sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba et des secteurs.



Quatre secteurs n'ont pas été couverts dans le cadre du protocole Inascuba :

- aucun site n'a été suivi dans les secteurs 3 (Petit cul de sac marin) et 6 (Ilets de Petite Terre et la Désirade) sur l'île de la Guadeloupe (Figure 2) ;
- un seul site a été suivi sur l'île de Saint Martin (Secteur 10) : sentier Pinel (Figure 3).

Seuls 204 sites sur les 247 portant un nom ont des coordonnées géographiques complètes permettant leur positionnement sur les cartes.

Figure 2. Carte de l'archipel de Guadeloupe. Distribution spatiale des sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba et des secteurs.

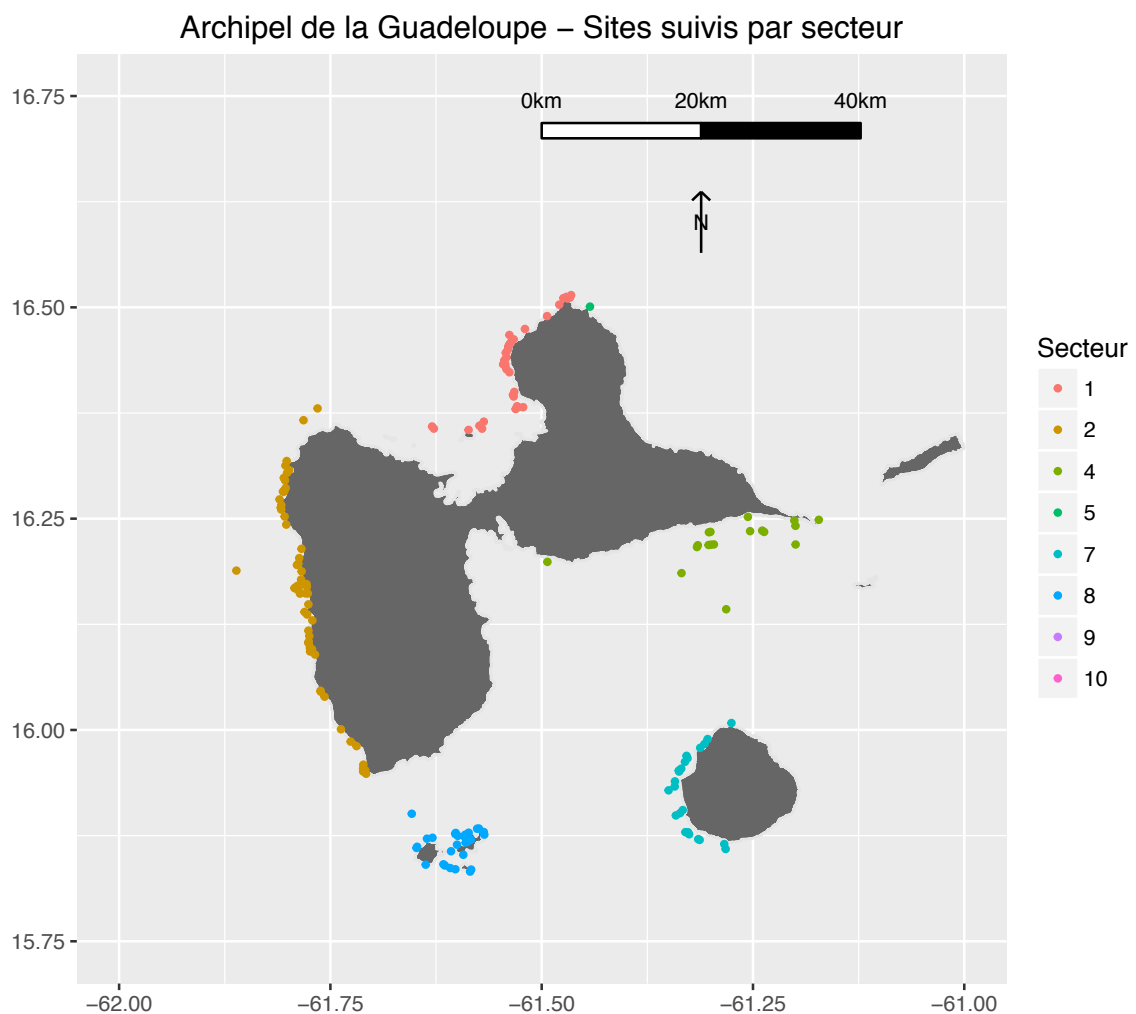


Figure 3. Carte de l'île de Saint-Martin. Distribution spatiale des sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba et des secteurs.

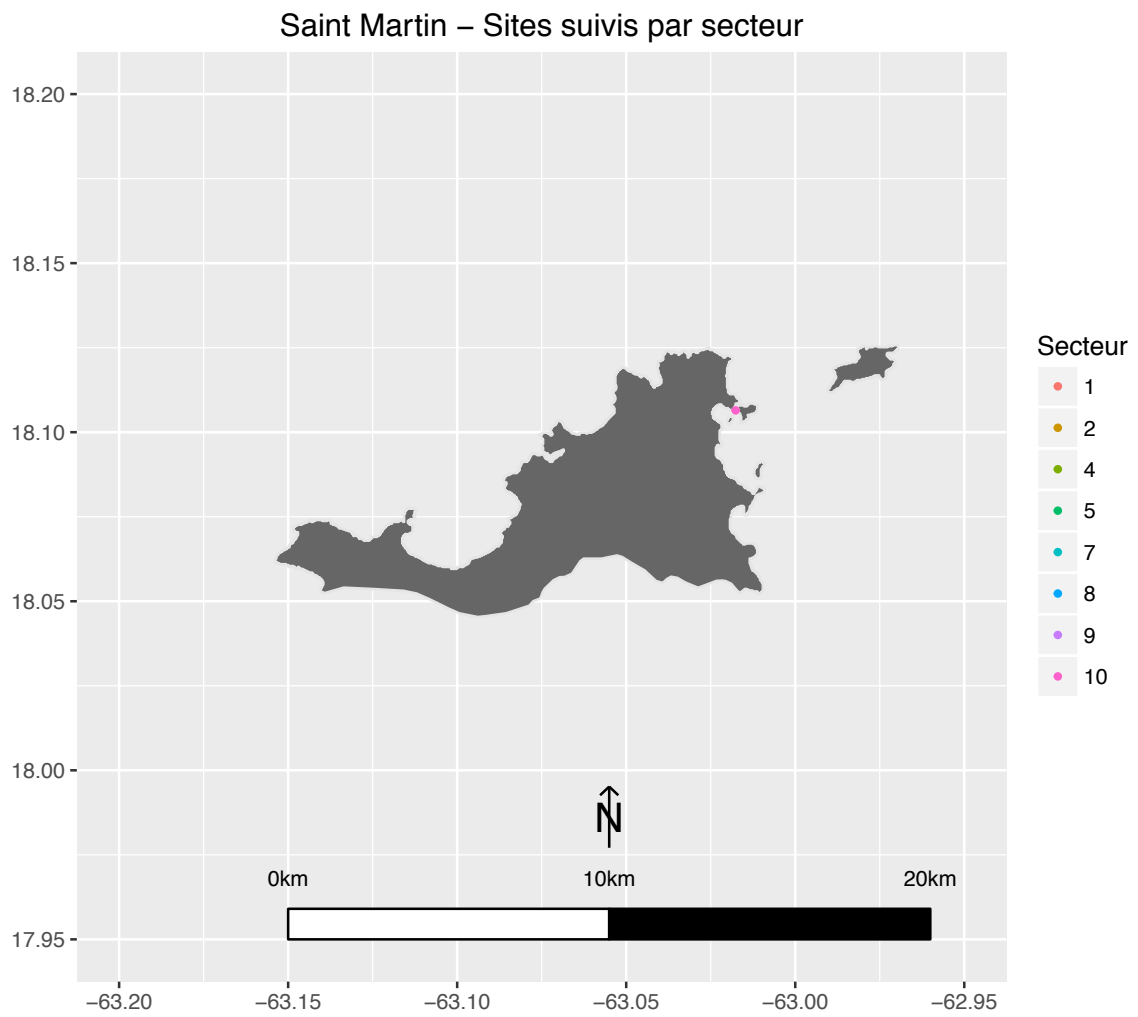
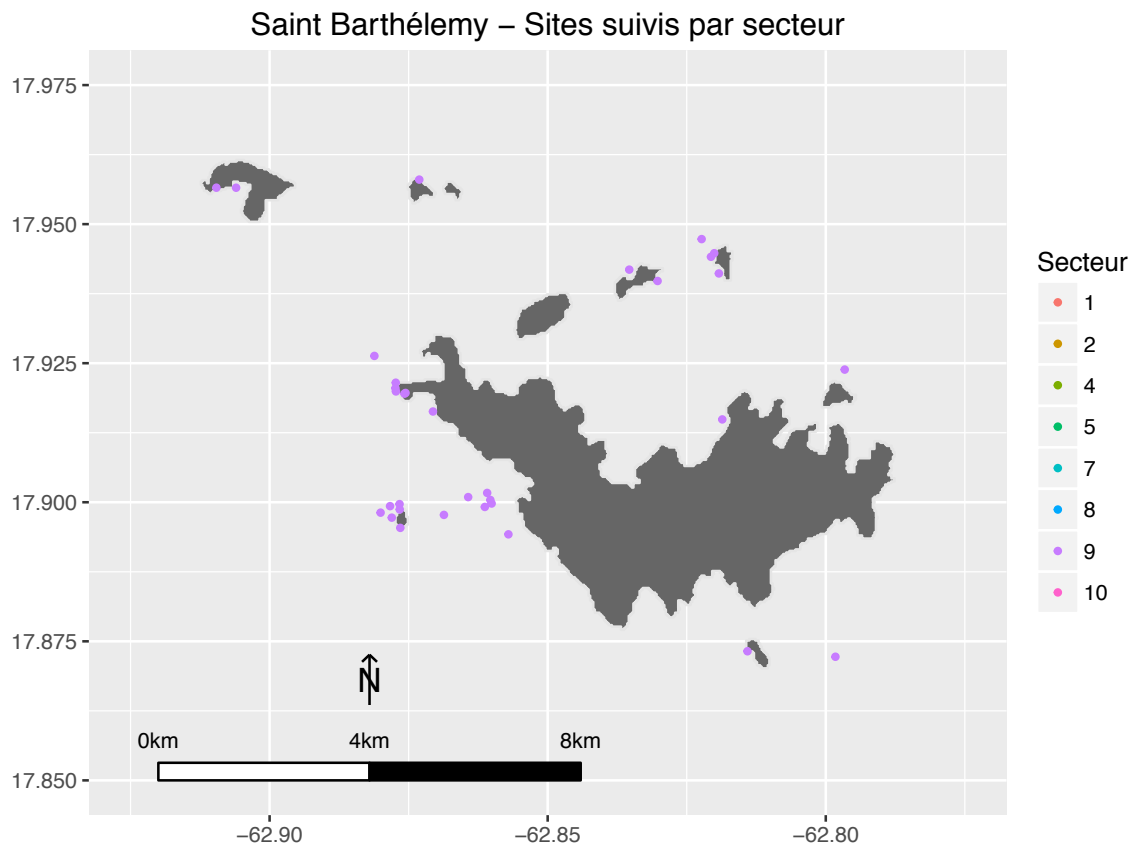


Figure 4. Carte de l'île de Saint-Barthélemy. Distribution spatiale des sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba et des secteurs.



## Synthèse des données disponibles

### Nombre de suivi par secteur et par tranche horaire

La base de données Inascuba regroupe les observations réalisées au cours de 40 121 plongées entre 2002 et 2014 (Figure 5).

Le nombre de suivis varie grandement selon les secteurs (Tableau 1).

Les plongées sont réalisées le matin, l'après midi ou la nuit. La répartition des suivis selon les tranches horaires varie selon les secteurs. En outre, pour un nombre élevé de plongée, la tranche horaire n'est pas précisée.

Tableau 1. Nombre de suivis par secteur et selon les tranches horaires

Secteurs	Nombre de plongées Inascuba	Tranche horaire : AM	Tranche horaire : PM	Tranche horaire : Nuit	Tranche horaire : NA
1	8257	2444	192	21	5600
2	13809	6726	5450	177	1456
4	622	293	288	41	0
5	20	7	3	6	4
7	3141	1783	879	14	465
8	8961	4788	3662	30	481
9	5278	3891	1212	107	68
10	33	0	0	0	33

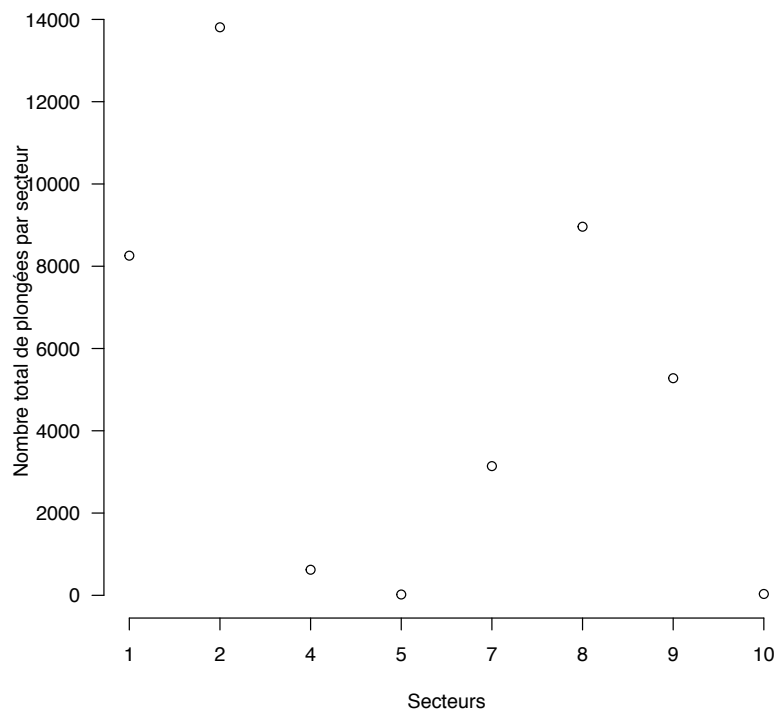


Figure 5. Synthèse : nombre de plongées réalisées par secteur et par an (2000-2014)

## Statistiques descriptive

### Nombre moyen d'observations par espèce, par secteur.

Le nombre d'observations moyen de tortues marines varient selon les secteurs. Pour les tortues imbriquées (Figure 6), le secteur 8 (Les Saintes) se démarque avec un nombre moyen d'observations de tortues imbriquées par plongée supérieur à 1 (1,115). Le nombre moyen d'observations de tortues imbriquées est quasi nul sur les Secteur 1 (Grand Cul-de-Sac

Marin), 4 (façades littorales nord-est de Grande Terre) et 10 (Saint-Martin), qui sont aussi les sites les moins suivis. Pour les secteurs 2 (Île de Guadeloupe, Basse Terre, Côte sous le vent), 7 (Marie-Galante) et 9 (Saint Barthélemy), les nombres moyens d'observation de tortues imbriquées sont intermédiaires (Tableau 2).

Pour les tortues vertes, le nombre moyen d'observations par plongée (Tableau 2 & Figure 7) est près de dix fois inférieur à celui des tortues imbriquées.

Pour les tortues vertes, les secteurs 2 (Côte sous le vent), 7 (Marie Galante) et 9 (Saint Barthélemy) présentent les plus forts indices d'abondance pour les tortues vertes (respectivement 0,073, 0,096 et 0,09 - Tableau 2),

L'indice d'abondance moyen sur le secteur 8 (Iles des Saintes) est plus bas (0,04) (Tableau 1).

Les secteurs 1 (Grand Cul-de-Sac Marin) et 4 (façade littorale nord-est de Grande Terre) sont les sites les moins fréquentés par les tortues vertes.

Sur le secteur 5 (façades littorales sud-est de Grande Terre), moins bien suivi, les intervalles de confiance sont trop larges pour permettre une comparaison avec les autres secteurs.

Sur le secteur 10 (Saint-Martin), malgré l'étendue de l'intervalle de confiance, les indices d'abondance (IC 95% [0,054-0,326]) sont significativement supérieurs à ceux observés sur les secteurs 1, 4 et 8. Ils ne sont pas significativement différents de ceux des secteurs les plus fréquentés : secteurs 2, 7 et 9.

Tableau 2. Nombre moyen d'observations de tortues vertes et des tortues imbriquées par plongée selon les secteurs

Secteurs	Tortues vertes		Tortues imbriquées	
	Nombre moyen	IC 95%	Nombre moyen	IC 95%
1	0,008	0,007- 0,010	0,035	0,031-0,039
2	0,073	0,069-0,078	0,659	0,645-0,672
4	0,006	0,002-0,015	0,002	0-0,007
5	0,05	0,003-0,22	0	0
7	0,096	0,086-0,107	0,57	0,543-0,597
8	0,04	0,036-0,044	1,115	1,093-1,137
9	0,09	0,079-0,095	0,422	0,405-0,440
10	0,15	0,054-0,326	0,030	0,002-0,133

Figure 6. Nombre moyen d'observations de tortues imbriquées par plongée selon les secteurs (2002-2014).

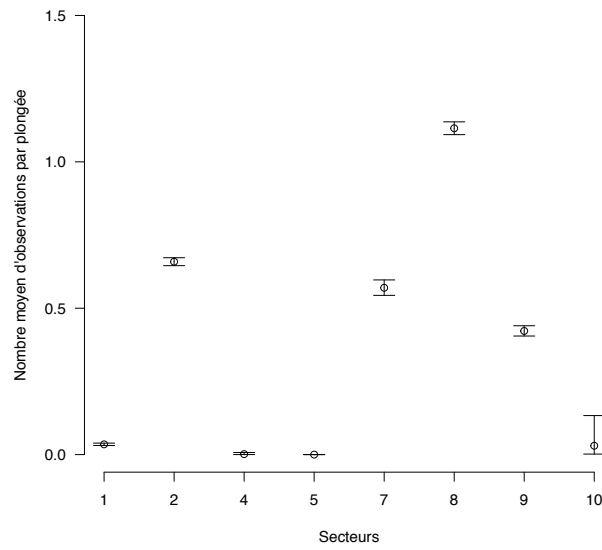
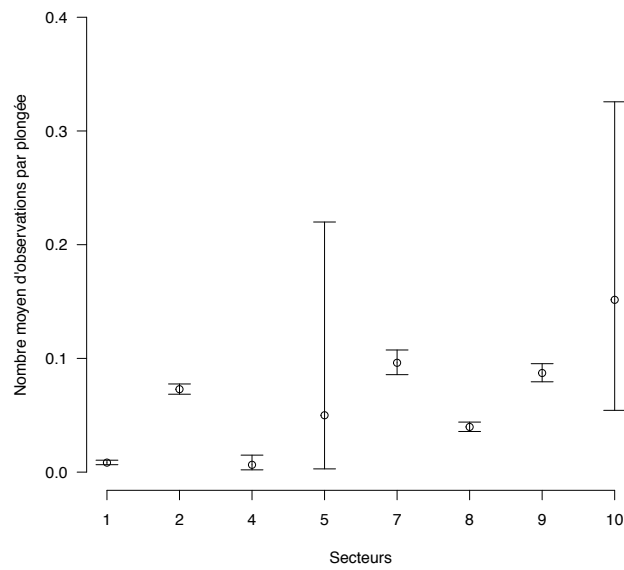


Figure 7. Nombre moyen d'observations de tortues vertes par plongée selon les secteurs (2002-2014).



## Indices d'abondance moyens selon les sites suivis

Les nombres moyens de tortues imbriquées et vertes observées par plongée sont représentés sur les cartes ci-dessous grâce à une échelle colorimétrique. Seuls les sites où l'intervalle de confiance est inférieur ou égale à la valeur moyenne sont représentés.

### Tortues imbriquées

Figure 8. Carte d'ensemble de la Guadeloupe, de ses dépendances et de Saint Martin. Indices moyens d'abondance des tortues imbriquées sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.

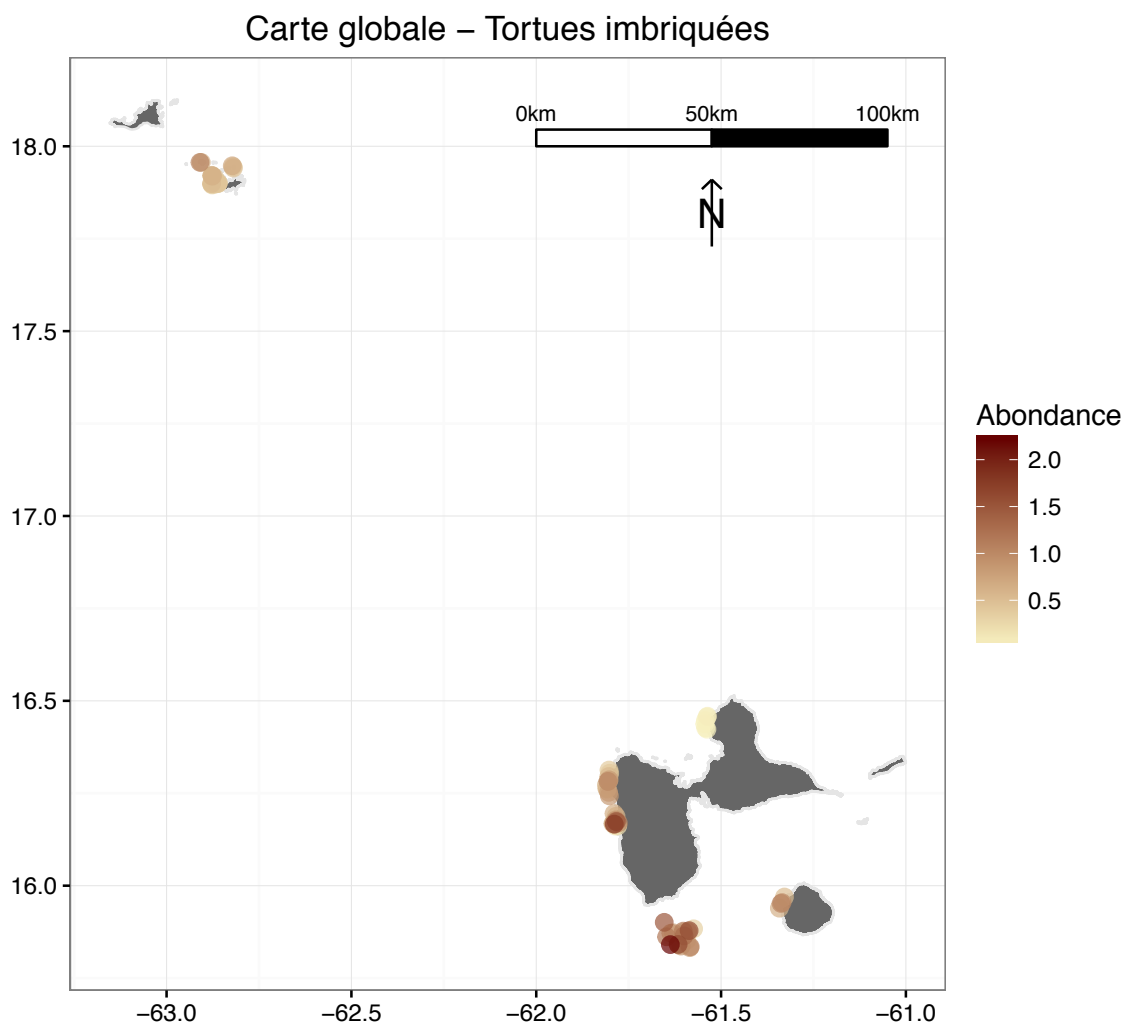




Figure 9. Carte de la Guadeloupe. Indices moyens d'abondance des tortues imbriquées sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.

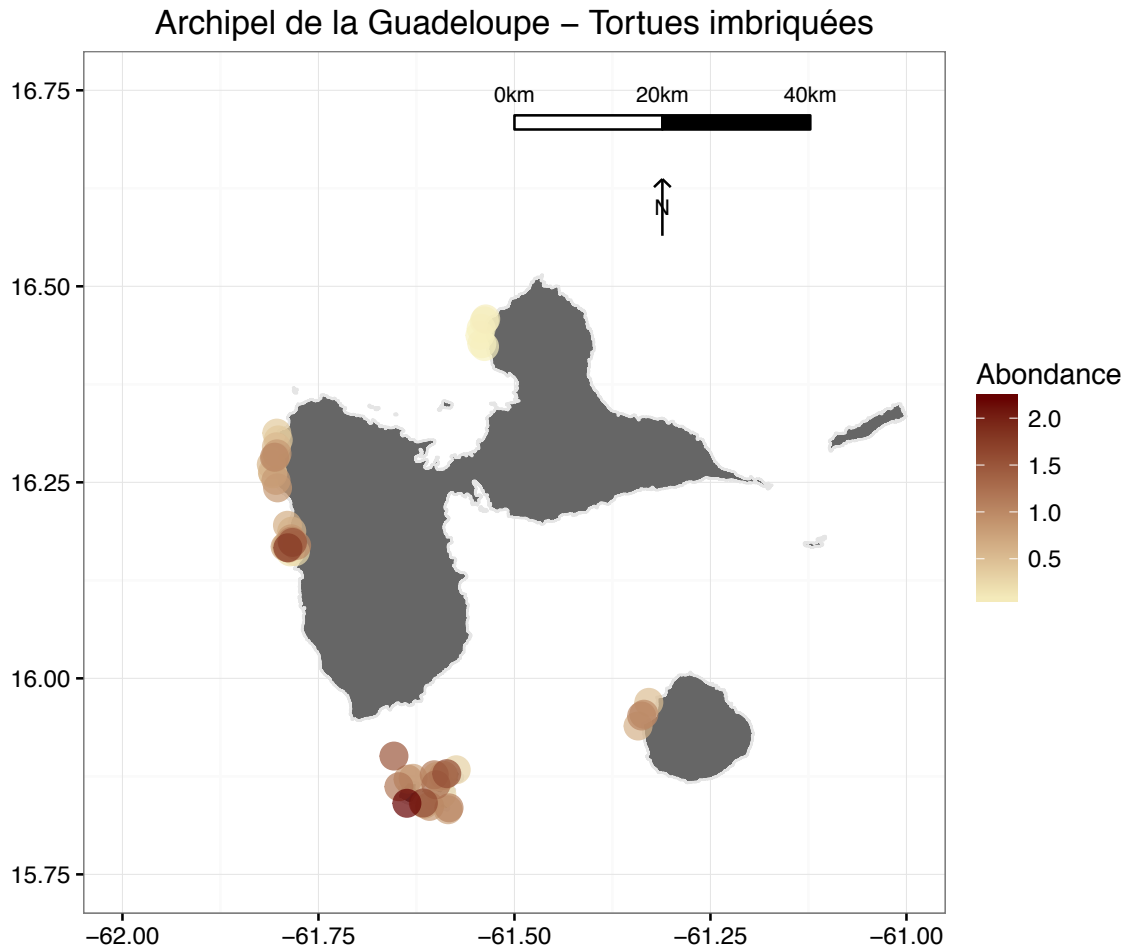


Figure 10. Carte de l'île de Saint-Martin. Indices moyens d'abondance des tortues imbriquées sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.

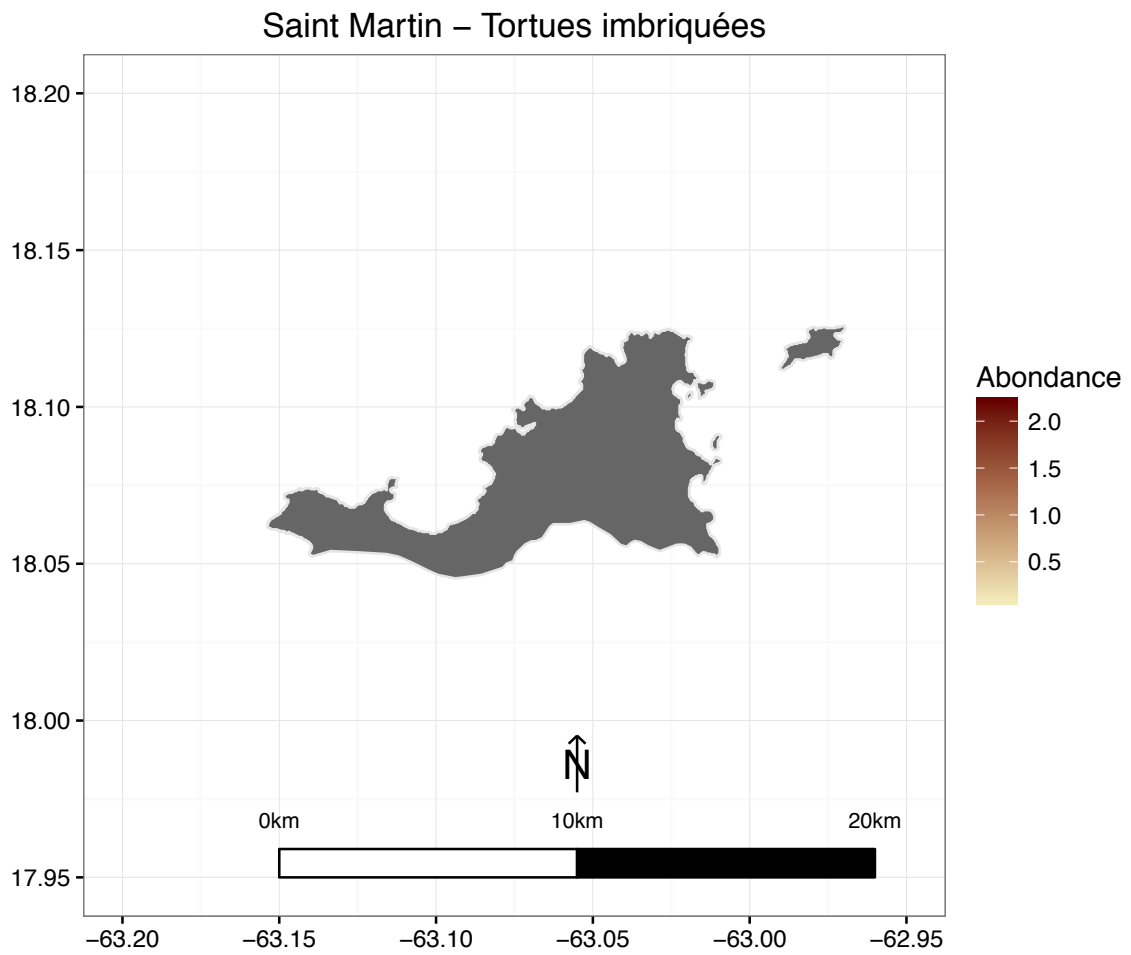
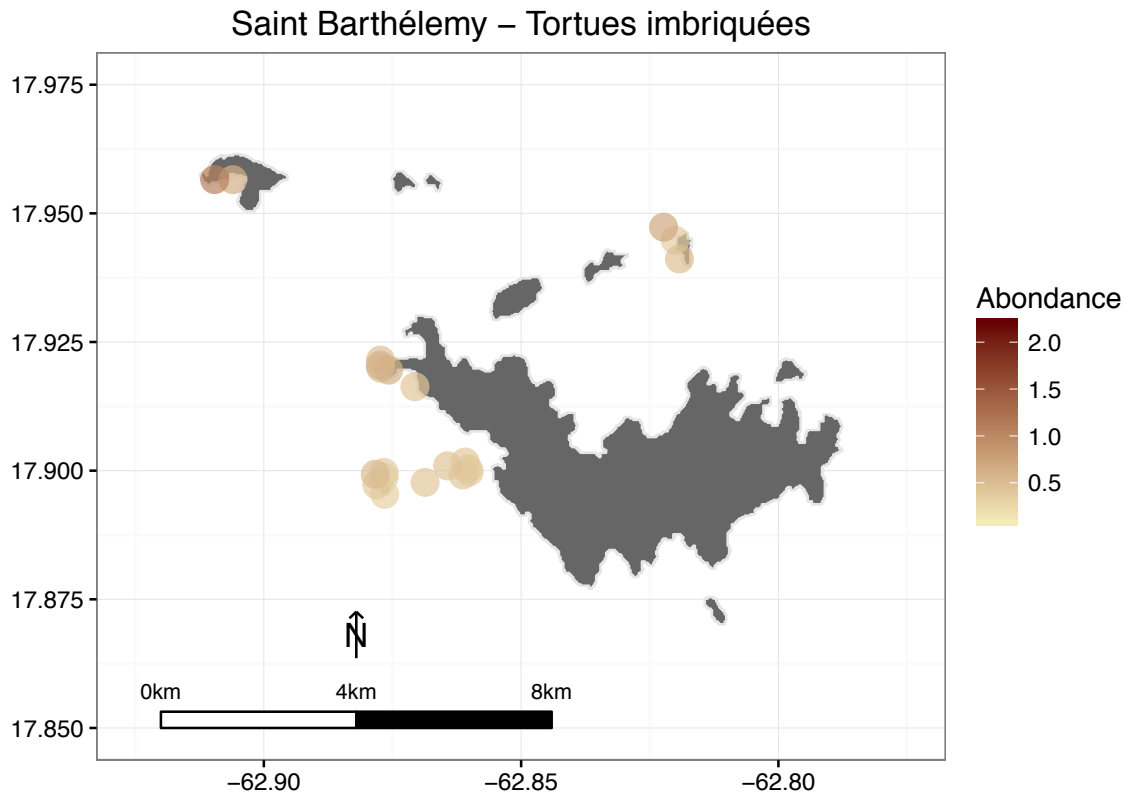


Figure 11. Carte de l'île de Saint-Barthélemy. Indices moyens d'abondance des tortues imbriquées sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.



## Tortues vertes

Figure 12. Carte d'ensemble de la Guadeloupe, de ses dépendances et de Saint Martin. Indices moyens d'abondance des tortues vertes sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.

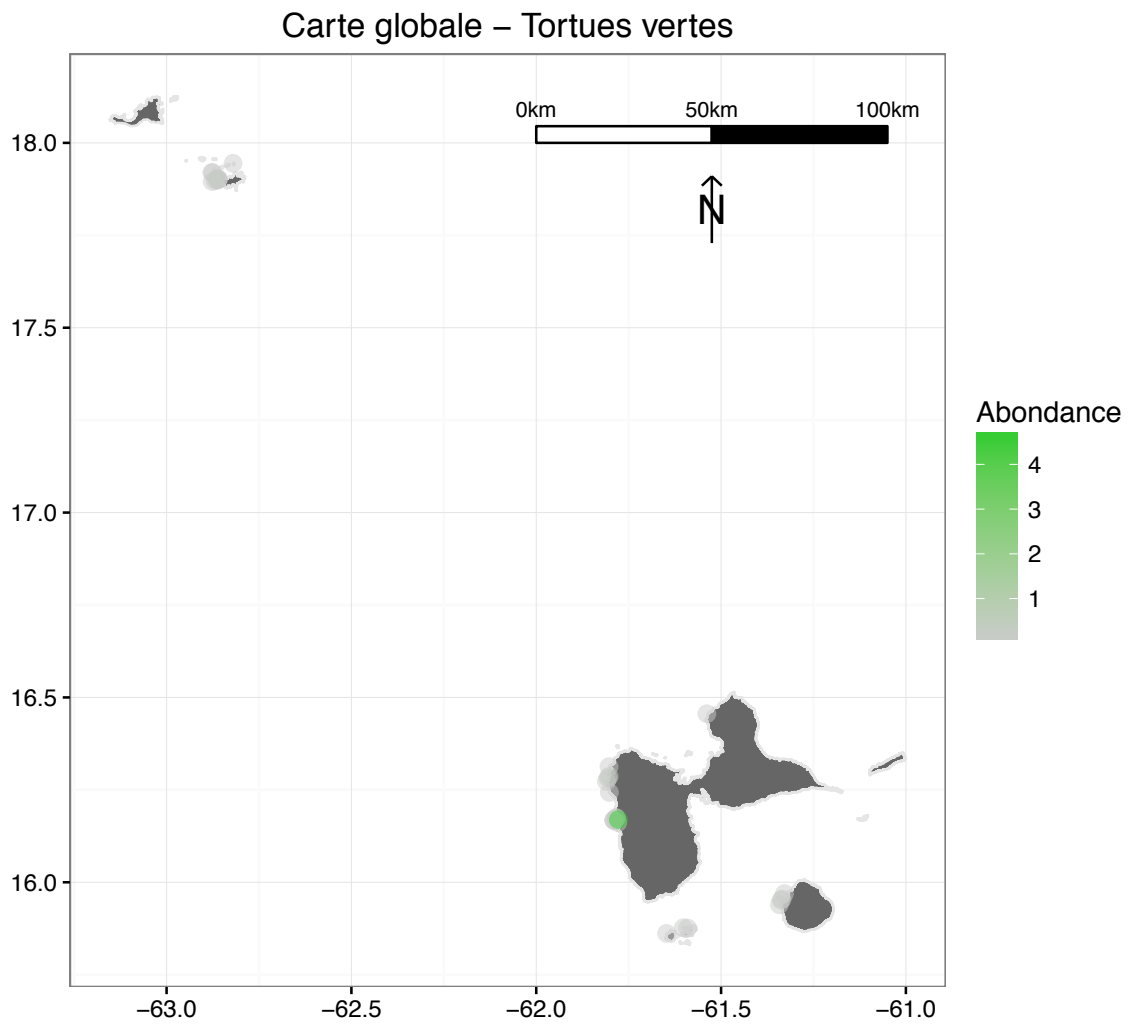


Figure 13. Carte de la Guadeloupe. Indices moyens d'abondance des tortues vertes sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.

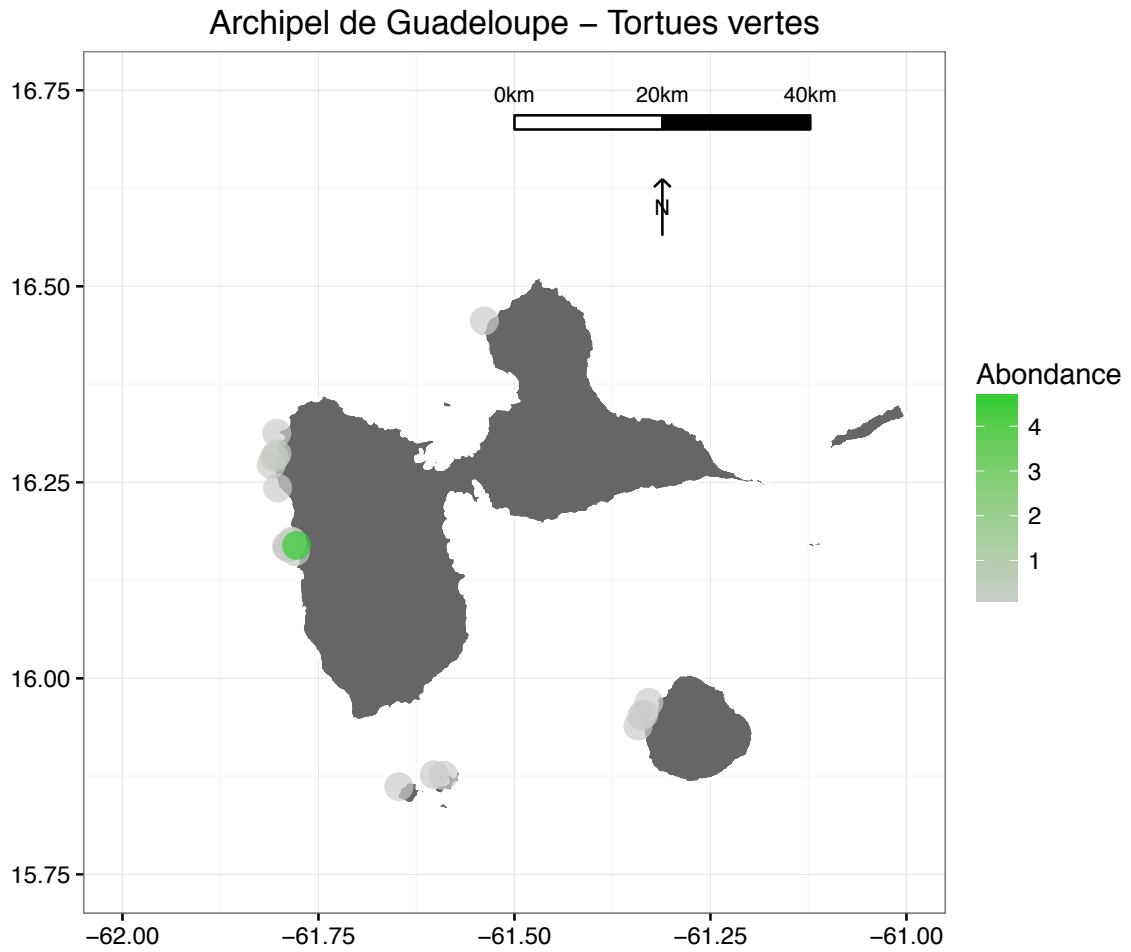
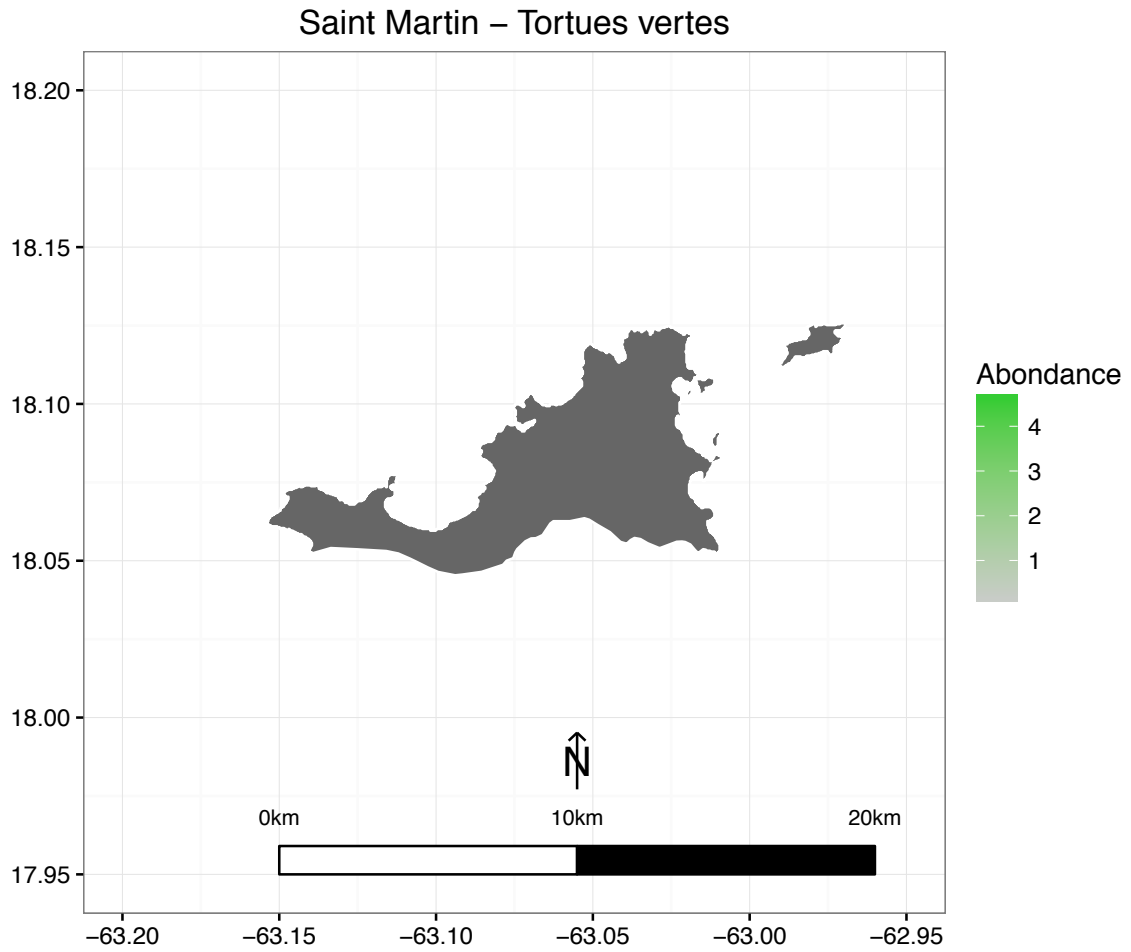


Figure 14. Carte de l'île de Saint-Martin. Indices moyens d'abondance des tortues vertes sur les sites suivis dans le cadre du protocole Inascuba.





## Statistiques analytiques (modèle linéaire généralisé mixte GLMM)

### Matériels et méthodes

La durée des plongées est standardisée en fonction de l'autonomie des bouteilles et des paramètres de sécurité en résultant. En conséquence, dans le cadre de cette analyse, la durée de toutes les plongées est considérée comme étant semblable (par ailleurs nous n'avons pas d'information pour éventuellement ajuster les nombres d'observation en fonction de l'effort d'observation).

Nous disposons, dans la base de données, d'indices d'abondance des tortues marines, pour deux espèces : la tortue imbriquée et la tortue verte. Ces indices, sous la forme d'un nombre d'observations de tortues de chaque espèce par plongée, sont associés à divers facteurs ou variables, qui ont également été collectés :

- Horaire de plongée : matin (AM), Après-midi (PM), Nuit (Nuit) ou ND
- Date de la plongée
- Site de plongée au sein d'un secteur

L'analyse des variations des indices d'abondance d'*Eretmochelys imbricata* et de *Chelonia mydas* a été étudiée à l'aide d'un modèle linéaire généralisé mixte.

Le modèle linéaire est un outil d'analyse statistique qui permet de rechercher une relation entre une variable à expliquer (ou variable réponse, ici le nombre de tortues observées par plongée) et des variables explicatives ou régresseurs.

Le modèle linéaire généralisé permet d'utiliser un modèle linéaire avec une grande variété de variables à expliquer qui peuvent être continues, discrètes, binomiales, multinomiales, catégorielles (ordonnées ou non).

Dans le cas de l'analyse des indices d'abondance des tortues imbriquées et des tortues vertes dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances, une liste des facteurs explicatifs peut être établie en fonction des données disponibles, des connaissances actuelles sur l'écologie des tortues marines néritique et en fonction de la problématique : recherche d'une éventuelle tendance des indices d'abondance :

- Le temps linéaire
- Le temps cyclique, qui permet la recherche d'une éventuelle variation saisonnière, intégré dans le modèle après une transformation de la variable temps linéaire par une transformation pseudo-Fourrier (somme d'un sinus et d'un cosinus et décalage de phase)
- L'horaire d'observation (AM, PM, Nuit) ; les suivis pour lesquels la tranche horaire d'observation n'est pas connue sont omis
- Le secteur d'observation (avec autant de catégories que de secteurs)

Aux effets fixes du modèle linéaire généralisé sont ajoutés des effets aléatoires liés au secteur dans lequel prend place le suivi. En effet, on s'attend à plus d'homogénéité au sein d'un secteur qu'entre secteurs.

Le modèle final est donc un modèle linéaire généralisé mixte intégrant à la fois les effets fixes mentionnés plus haut (les variables explicatives) et les effets aléatoires liés aux secteurs et aux sites suivis au sein d'un secteur (Secteur|Site).



## Résultats du modèle linéaire généralisé mixte

### Sélection du meilleur modèle

#### *Eretmochelys imbricata*

Pour le nombre d'observation de tortues imbriquées par plongée, le meilleur modèle généralisé mixte inclut les variables :

Effets fixes :

- Temps linéaire en interaction avec le secteur
- Temps polynomial du deuxième et du troisième degré
- Temps périodiques obtenu par une transformation pseudo Fourier
- La tranche horaire d'observation

Et un effet aléatoire du site suivi au sein de chaque secteur suivi.

**Tableau 3. Tortues imbriquées : comparaison des GLMM et choix du meilleur modèle d'après les AIC (Akaike Information Criteria)**

<b>Modèles GLMM testés</b>	<b>AIC</b>	<b>P</b>
<i>glmer(formula = Nombre.de.tortues.imbriquées ~ sTime + cTime + Time + TimeSqr + TimeCube + Heure.d.observation + Secteur + (Secteur NomLieu), family = poisson, data = Inascuba)</i>	69 814	0
<i>glmer(formula = Nombre.de.tortues.imbriquées ~ sTime + cTime + Time + Heure.d.observation + Secteur + (Secteur NomLieu), family = poisson, data = Inascuba)</i>	70 243	0
<i>glmer(formula = Nombre.de.tortues.imbriquées ~ sTime + cTime + Secteur * Time + TimeSqr + TimeCube + Heure.d.observation + Secteur + (Secteur NomLieu), family = poisson, data = Inascuba)</i>	68 769	1

#### *Chelonia mydas*

Pour décrire les variations du nombre d'observations de tortues vertes par plongée, le meilleur modèle linéaire mixte généralisé inclut les effets suivants :

Effets fixes :

- variable temps périodique (transformation de pseudo-Fourrier)
- variable temps linéaire en interaction avec le secteur
- la tranche horaire d'observation
- le secteur.

Et un effet aléatoire des sites suivis au sein de chaque secteur.

Tableau 4. Tortues vertes : comparaison des GLMM et choix du meilleur modèle d'après les AIC (Akaike Information Criteria)

Modèles GLMM testés	AIC	P
<i>glmer(formula = Nombre.de.tortues.vertes ~ sTime + cTime + Time + TimeSqr + TimeCube + Heure.d.observation + Secteur + (Secteur   NomLieu), family = poisson, data = Inascuba)</i>	14418.81	0
<i>glmer(formula = Nombre.de.tortues.vertes ~ sTime + cTime + Time + Heure.d.observation + Secteur + (Secteur   NomLieu), family = poisson, data = Inascuba)</i>	14415.29	0
<i>glmer(formula = Nombre.de.tortues.vertes ~ sTime + cTime + Secteur * Time + Heure.d.observation + (Secteur   NomLieu), family = poisson, data = Inascuba)</i>	14362.4	1

## Résultats du meilleur modèle

### *Eretmochelys imbricata*

Tableau 5. Résultat du GLMM sélectionné pour les tortues imbriquées : significativité des effets des facteurs fixes

	Estimate	Std..Error	z.value	Pr...z..	
(Intercept)	-4,716	0,257	-18,363	0,00000	***
sTime	0,030	0,009	3,237	0,00121	**
cTime	0,013	0,010	1,302	0,19307	
Secteur2	2,965	0,265	11,192	0,00000	***
Secteur4	6,980	6,022	1,159	0,24640	
Secteur5	-12,970	26,025	-0,498	0,61823	
Secteur7	1,961	0,337	5,819	0,00000	***
Secteur8	3,879	0,292	13,276	0,00000	***
Secteur9	4,404	0,259	16,992	0,00000	***
Secteur10	-2861,818	11,568	-247,393	0,00000	***
Time	4,324	0,578	7,480	0,00000	***
TimeSqr	-2,022	1,062	-1,905	0,05678	.
TimeCube	-0,640	0,656	-0,975	0,32971	
Heure.d.observationAM	-0,068	0,030	-2,226	0,02599	*
Heure.d.observationNuit	0,011	0,078	0,137	0,89115	
Heure.d.observationPM	-0,093	0,031	-3,002	0,00268	**
Secteur2:Time	-0,638	0,272	-2,342	0,01921	*
Secteur4:Time	-66,284	40,936	-1,619	0,10540	
Secteur5:Time	-1,723	23,398	-0,074	0,94131	
Secteur7:Time	0,144	0,293	0,492	0,62300	
Secteur8:Time	-2,050	0,274	-7,485	0,00000	***
Secteur9:Time	-4,531	0,313	-14,473	0,00000	***
Secteur10:Time	3847,776	15,522	247,889	0,00000	***

Pour les tortues imbriquées, nous observons un fort effet secteur. A l'exception du secteur 4, le modèle détecte un effet hautement significatif ( $p < 0,001$ ) du secteur sur le nombre moyen de tortues vertes observées par plongée : les secteurs 2, 7, 8 et 9 présentent un nombre d'observations de tortues imbriquées par plongée significativement supérieur comparés au secteur 1. Les résultats pour les secteur 5 et 10 ne sont pas interprétables en raison du faible nombre de plongées intégrées dans le modèle pour ces secteurs.

Le modèle détecte également un effet de la tranche horaire d'observation ( $p < 0,1$  pour « PM » et  $p < 0,1$  pour « AM »).

Le modèle révèle en outre des tendances contrastées du nombre d'observations de tortues imbriquées selon les secteurs : par rapport au secteur 1 pris pour référence, l'évolution temporelle du nombre d'observations des tortues imbriquées diffèrent très significativement dans les secteurs 8 et 9 ( $p < 0,001$ ) et de manière faiblement significative dans le secteur 2 ( $p < 0,1$ ). Les secteurs 4 et 7 ne diffèrent pas significativement du secteur 1.

Tableau 6. Résultat du GLMM sélectionné pour les tortues vertes : significativité des effets des facteurs fixes

	Estimate	Std..Error	z.value	Pr...z..	
(Intercept)	-6,784	0,456	-14,867	0,000	***
sTime	-0,001	0,031	-0,024	0,981	
cTime	-0,172	0,032	-5,394	0,000	***
Secteur2	3,553	0,502	7,073	0,000	***
Secteur4	1,470	2,695	0,545	0,585	
Secteur5	236,756	24,804	9,545	0,000	***
Secteur7	3,174	0,625	5,076	0,000	***
Secteur8	2,955	0,560	5,278	0,000	***
Secteur9	4,921	0,502	9,809	0,000	***
Secteur10	-28,332	18,799	-1,507	0,132	
Time	3,413	0,517	6,606	0,000	***
Heure.d.observationAM	-0,380	0,082	-4,652	0,000	***
Heure.d.observationNuit	1,384	0,108	12,872	0,000	***
Heure.d.observationPM	-0,360	0,084	-4,258	0,000	***
Secteur2:Time	-2,605	0,536	-4,861	0,000	***
Secteur4:Time	-9,622	11,565	-0,832	0,405	***
Secteur5:Time	-1736,208	185,016	-9,384	0,000	***
Secteur7:Time	-3,257	0,580	-5,619	0,000	***
Secteur8:Time	-3,112	0,564	-5,516	0,000	***
Secteur9:Time	-4,401	0,604	-7,287	0,000	***
Secteur10:Time	41,564	25,524	1,628	0,103	

Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Pour les tortues vertes, nous observons également un fort effet secteur. A l'exception du secteur 4, le modèle détecte un effet hautement significatif ( $p < 0,001$ ) du secteur sur le nombre moyen de tortues vertes observées par plongée. Les secteurs 2, 7, 8 et 9 présentent un nombre d'observations de tortues vertes par plongée significativement supérieur comparés au secteur 1.

Le modèle détecte également un effet hautement significatif ( $p < 0,001$ ) de la tranche horaire d'observation.

Le modèle révèle en outre des différences significatives de l'évolution du nombre d'observations de tortues vertes au cours du temps selon les secteurs : par rapport au secteur 1 pris pour référence, l'évolution temporelle du nombre d'observations des tortues imbriquées diffèrent très significativement dans les secteurs 2, 7, 8 et 9 ( $p < 0,001$ ). Le secteur 4 ne diffère pas significativement du secteur 1.

Les résultats pour les secteurs 5 et 10 ne sont pas interprétables en raison du faible nombre de plongées intégrées dans le modèle pour ces secteurs.

## Résultats : évolution des indices d'abondance d'*Eretmochelys imbricata* selon le modèle

Sur les secteurs 4 et 5 le nombre de données est insuffisant pour produire une prédiction cohérente. Pour le secteur 10, l'absence d'information sur la tranche horaire d'observation nous a amené à exclure les données de ce secteur pour la modélisation (la variable « heure d'observation » ayant un effet significatif sur le nombre d'observation par plongée).

Sur les secteurs 1, 2 et 8, l'évolution de l'indice d'abondance décrit un plateau avec une première phase de croissance du nombre d'observations, puis une décroissance (Figure 16, Figure 17, Figure 20). Pour ces trois secteurs, si l'allure globale est semblable, les tendances diffèrent néanmoins significativement : le pic est situé à la quinzaine 265 sur le secteur 1, à la quinzaine 239 sur le secteur 2 et à la quinzaine 161 sur le secteur 8 (Tableau 7).

Tableau 7. Date (numéro de quinzaine) à laquelle la valeur de l'indice d'abondance modélisé des tortues imbriquées est maximale

<i>Secteur</i>	<i>Quinzaine où le maximum de l'indice d'abondance EI est atteint</i>
1	265
2	239
4	
5	
7	
8	161
9	30
10	

La tendance est ensuite décroissante sur l'ensemble de ces secteurs jusqu'à la fin de la période d'étude.

Pour le secteur 7, une tendance en plateau est également produite mais l'intervalle de confiance rend son interprétation hasardeuse (Figure 19). Le secteur 7 ne diffère pas significativement du secteur 1 (Tableau 5).

Sur le secteur 9, le nombre d'observations de tortues imbriquées par plongée est décroissant dès la quinzaine 30, au tout début de la période d'étude (Figure 21).

Figure 16. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance d'*Eretmochelys imbricata* sur le secteur 1 (prédiction d'après le meilleur GLMM)

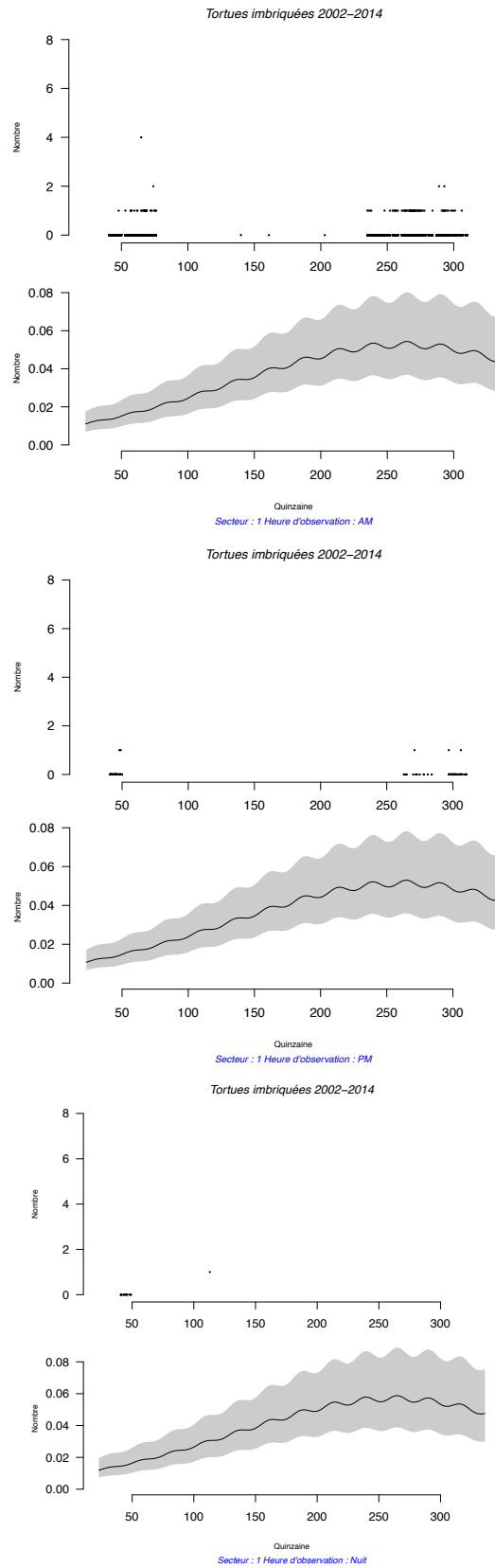


Figure 17. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance d'*Eretmochelys imbricata* sur le secteur 2 (prédiction d'après le meilleur GLMM)

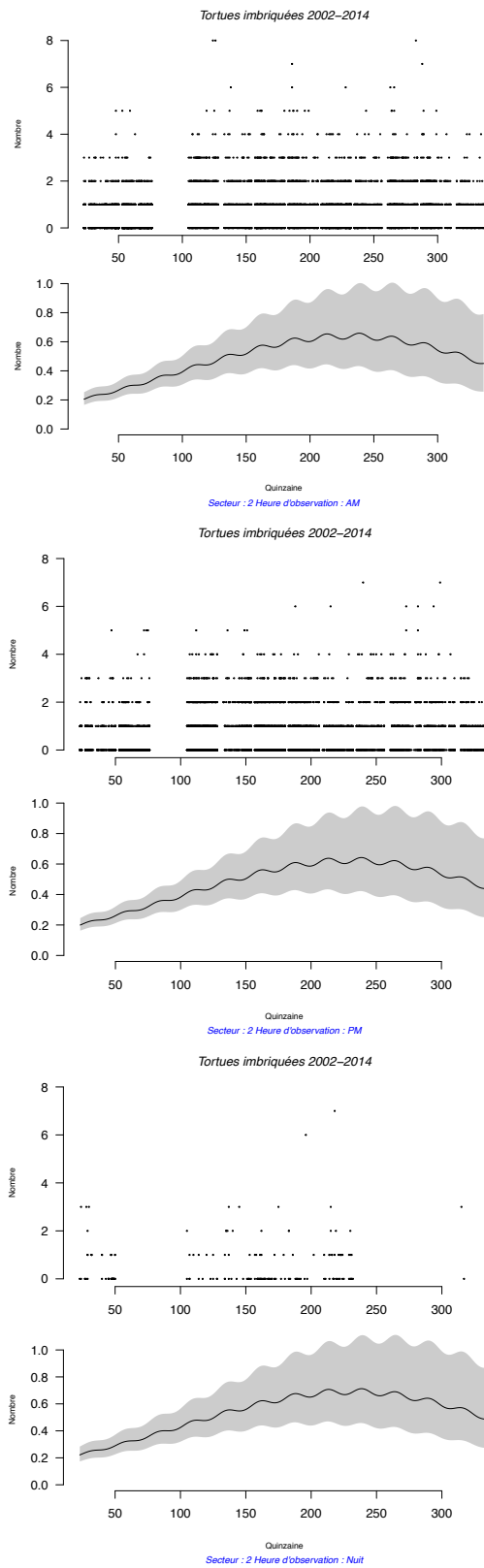


Figure 18. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance d'*Eretmochelys imbricata* sur le secteur 4 (prédiction d'après le meilleur GLMM)

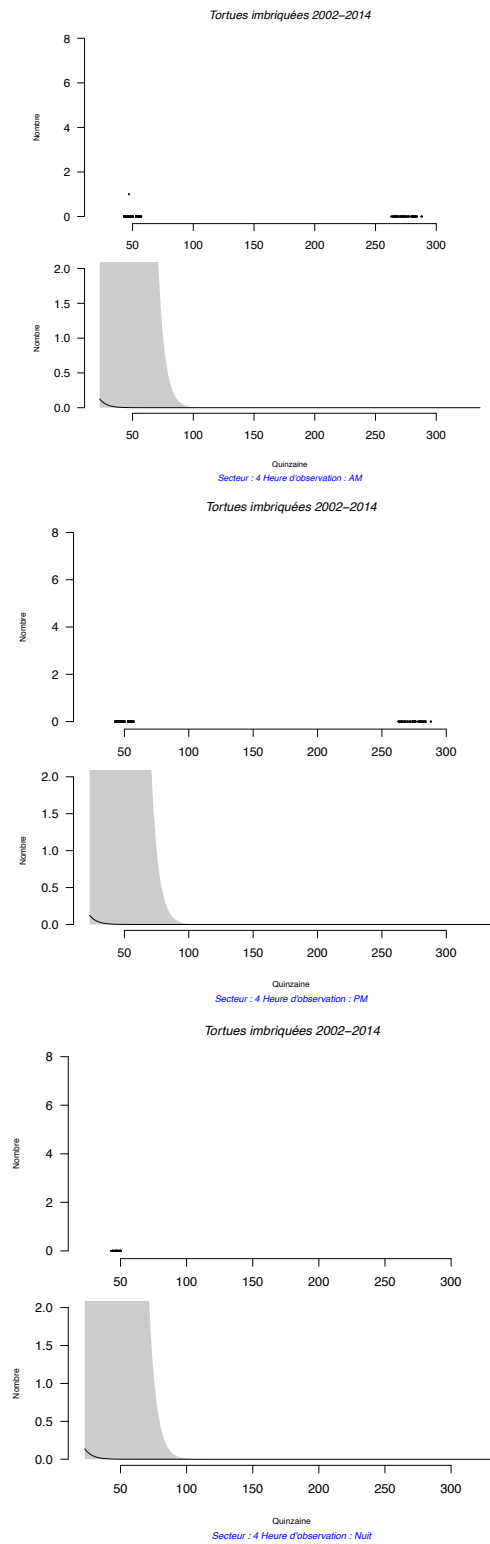




Figure 19. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance d'*Eretmochelys imbricata* sur le secteur 7 (prédiction d'après le meilleur GLMM)

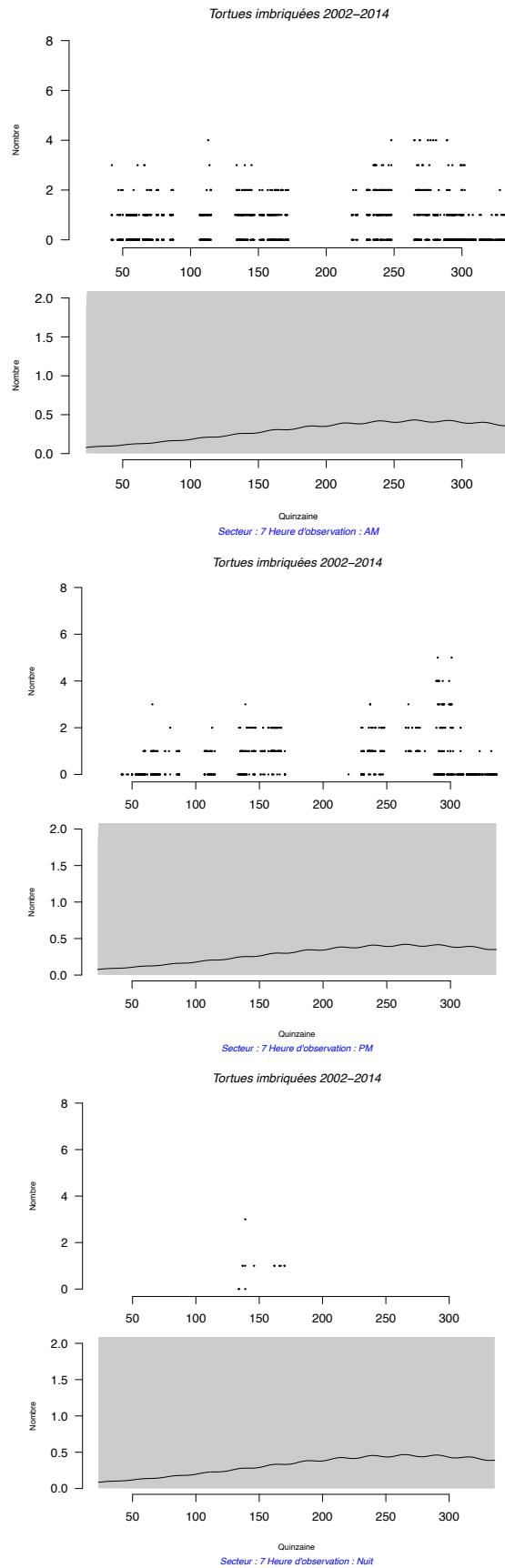


Figure 20. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance d'Eretmochelys imbricata sur le secteur 8 (prédiction d'après le meilleur GLMM)

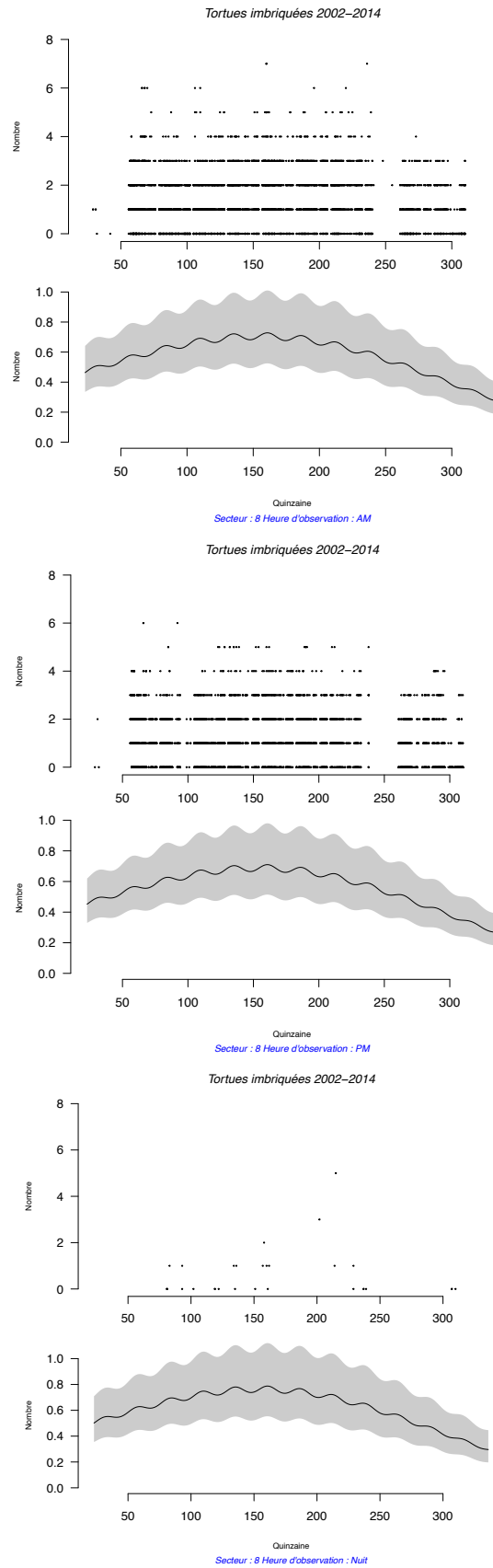
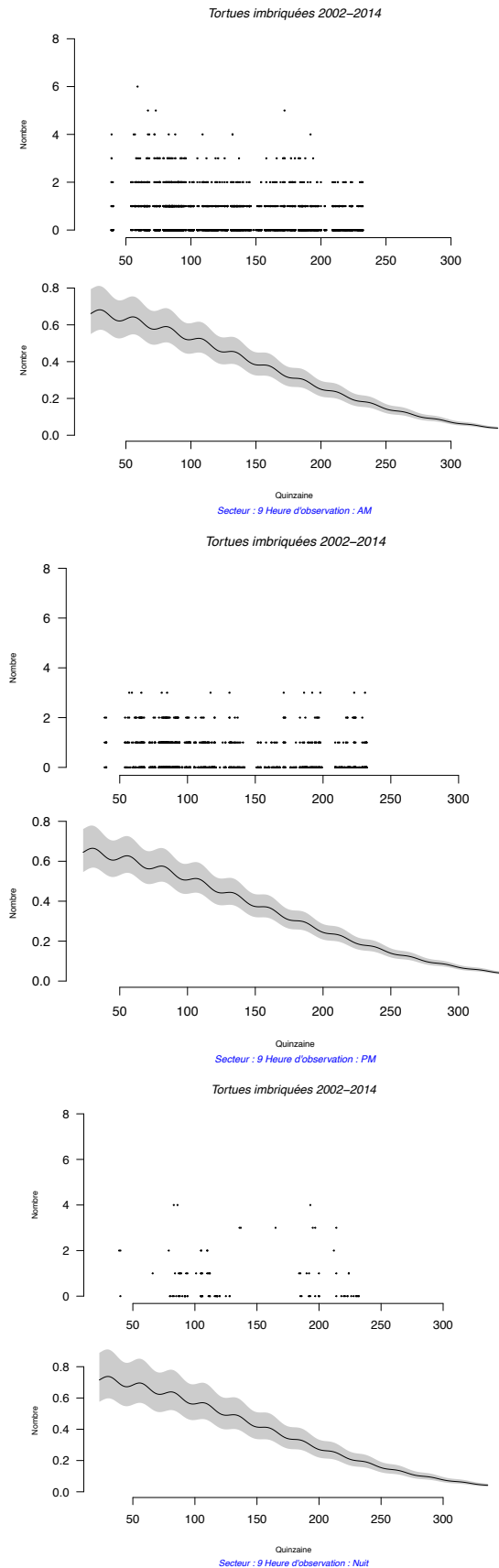


Figure 21. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance d'Eretmochelys imbricata sur le secteur 9 (prédiction d'après le meilleur GLMM)



## Résultats : évolution des indices d'abondance de *Chelonia mydas* au cours du temps selon le modèle

Pour les tortues vertes, l'évolution des indices d'abondance des tortues vertes est croissante sur les secteurs 1, 2 et 8 (Figure 22, Figure 23, Figure 26). Les pentes diffèrent cependant significativement sur ces trois secteurs : la croissance est plus marquée sur le secteur 1, que le secteur 2. La plus faible croissance est observée sur le secteur 8. Le secteur 9 (Figure 27) se distingue fortement des autres secteurs : la tendance des observations de tortues vertes y est nettement décroissante.

Sur les secteurs 4 et 5, le nombre de données était insuffisant pour produire une prédiction cohérente. Pour le secteur 10, l'absence d'information sur la tranche horaire d'observation nous a amené à exclure les données de ce secteur pour la modélisation (la variable « heure d'observation » ayant un effet significatif sur le nombre d'observation par plongée). Pour le secteur 7, le modèle n'est pas parvenu à ajuster une courbe sur les observations.

Figure 22. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance de *Chelonia mydas* sur le secteur 1 (prédiction d'après le meilleur GLMM)

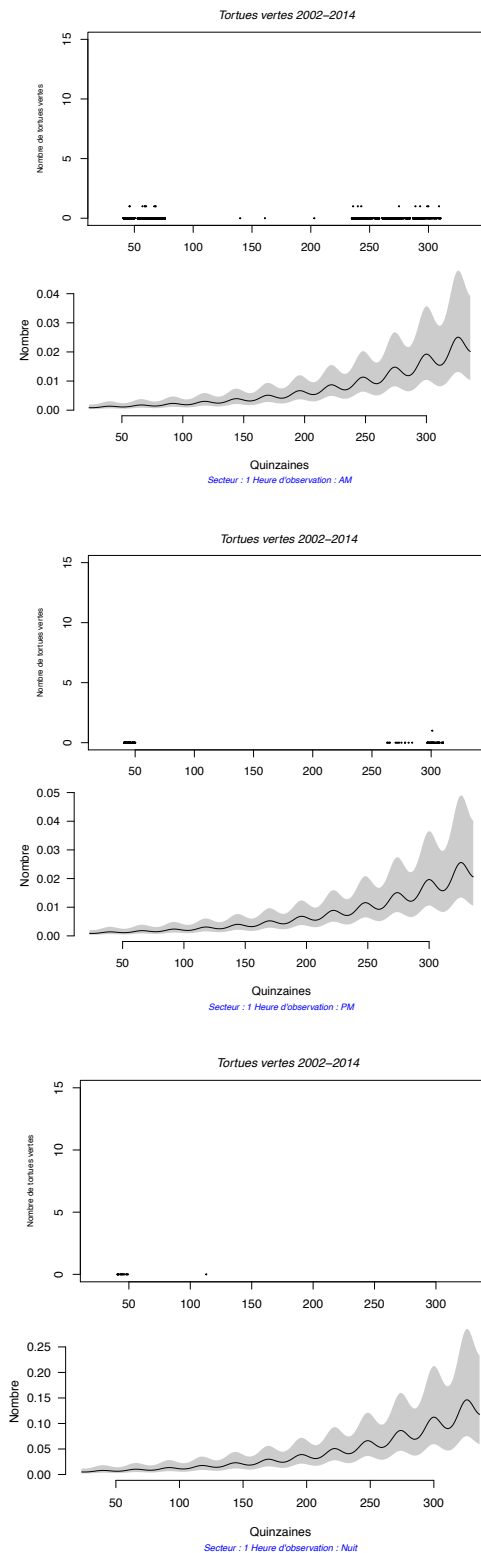


Figure 23. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance de *Chelonia mydas* sur le secteur 2 (prédiction d'après le meilleur GLMM)

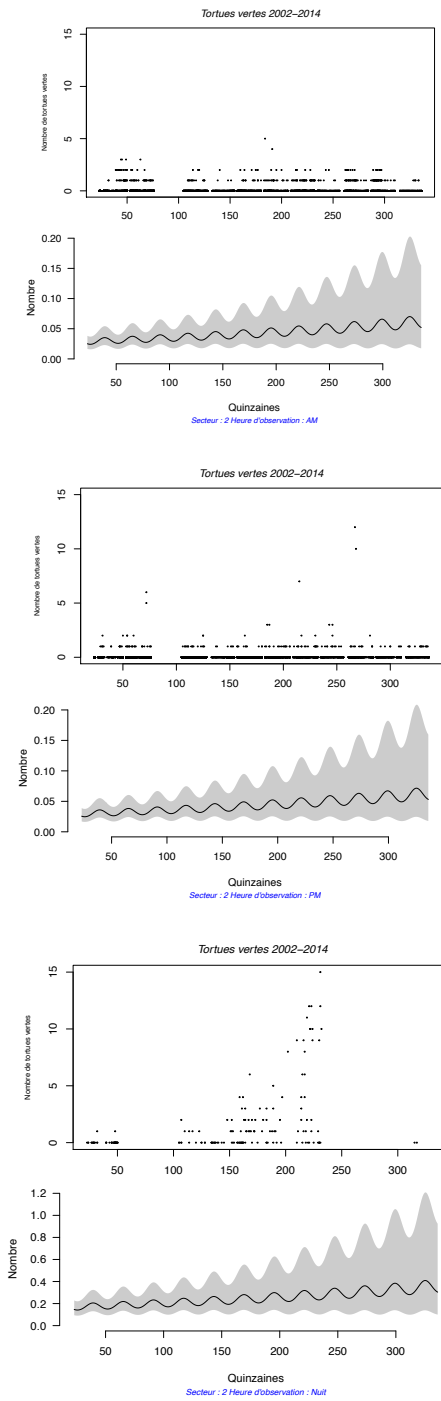


Figure 24. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance de *Chelonia mydas* sur le secteur 4 (prédiction d'après le meilleur GLMM)

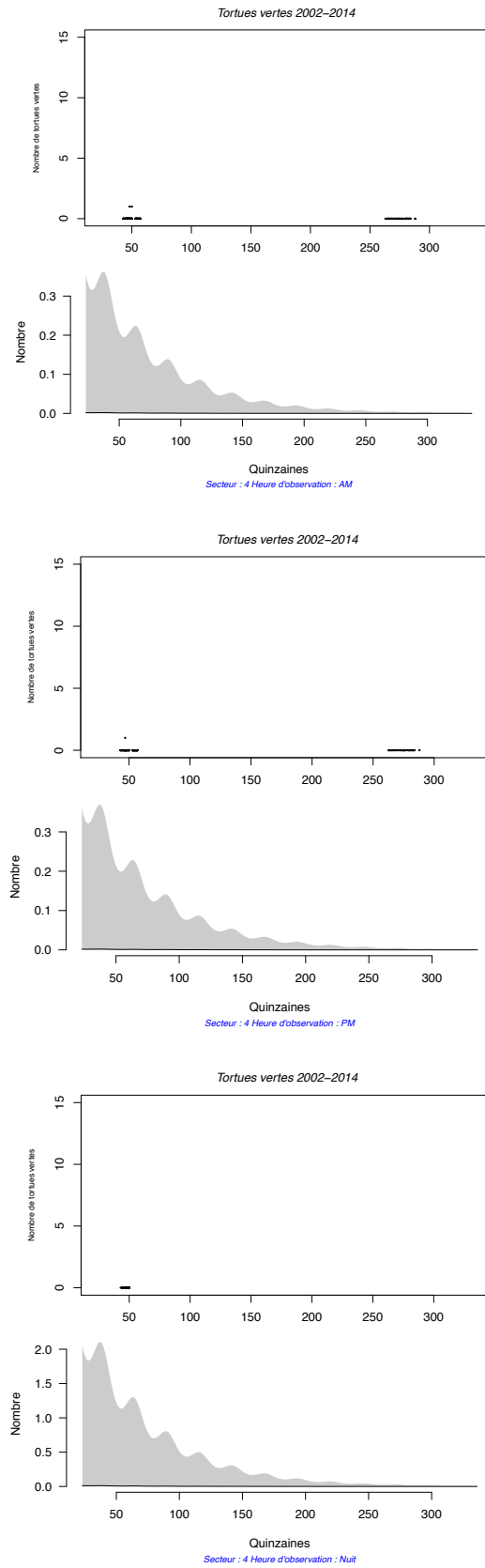


Figure 25. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance de *Chelonia mydas* sur le secteur 7 (prédiction d'après le meilleur GLMM)

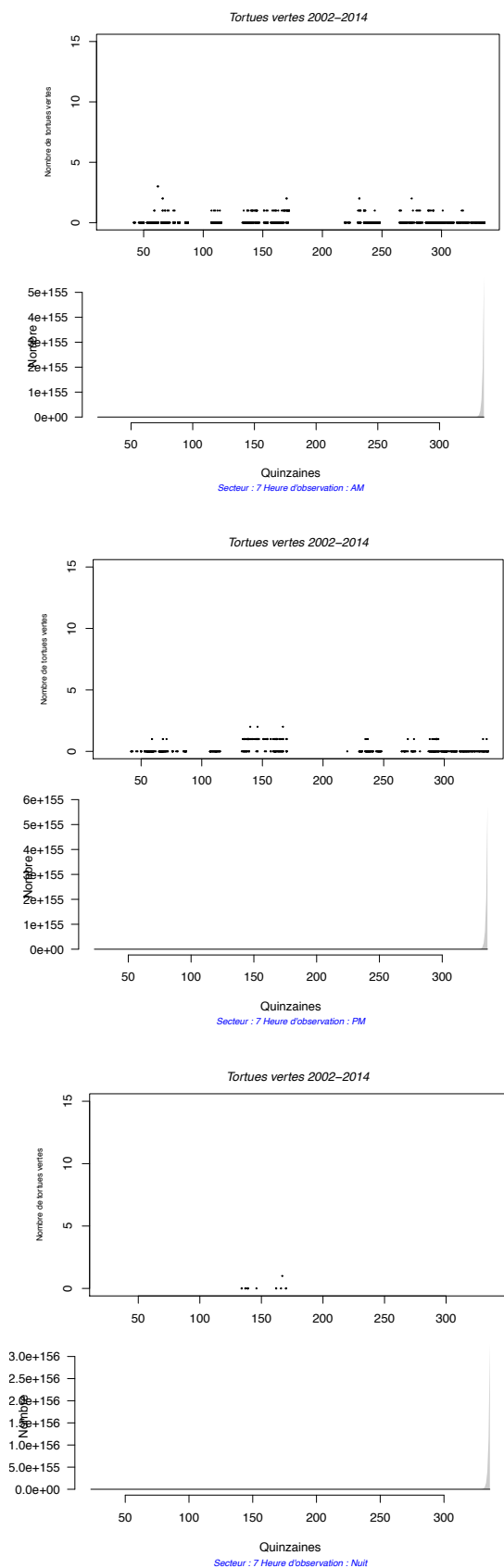




Figure 26. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance de *Chelonia mydas* sur le secteur 8 (prédiction d'après le meilleur GLMM)

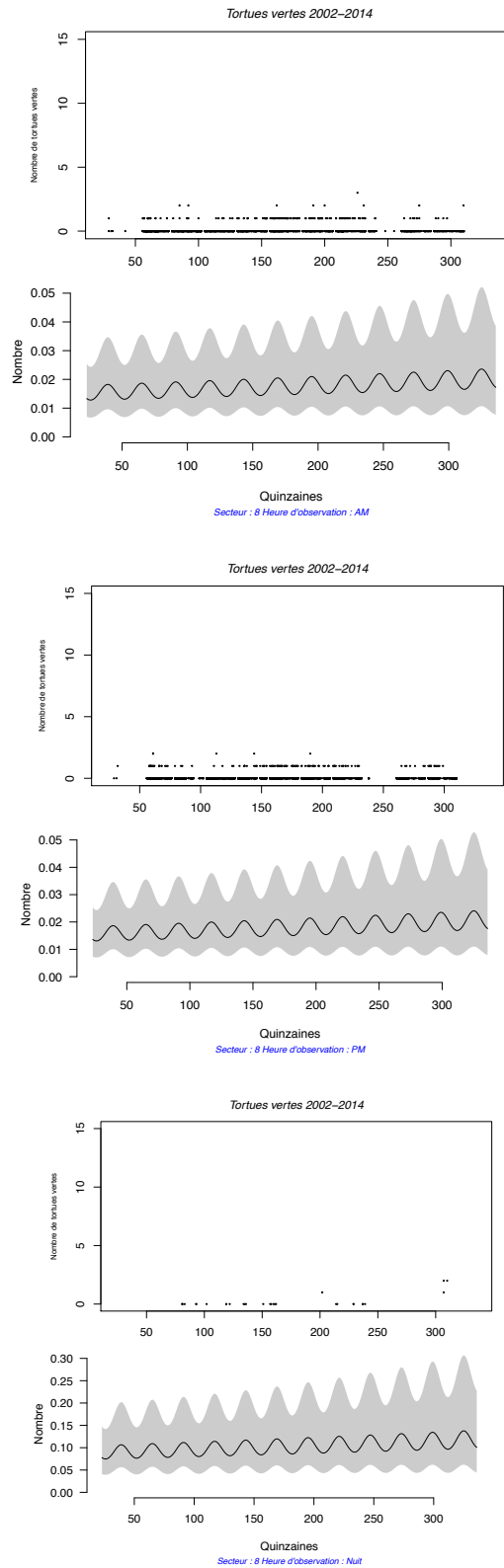
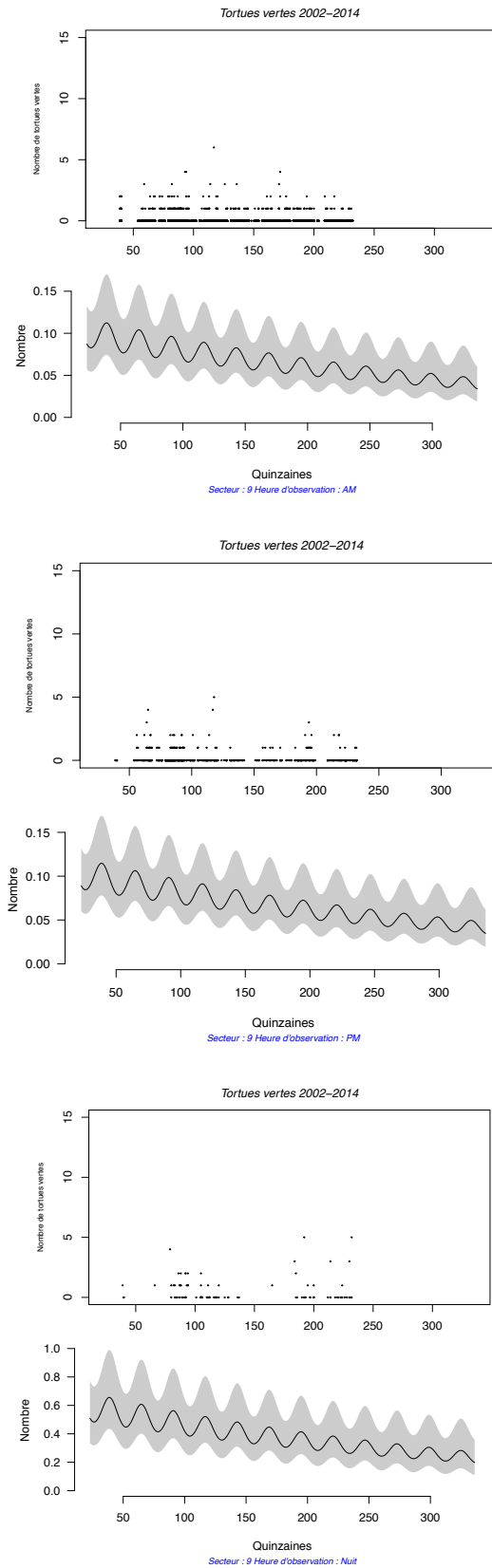


Figure 27. Représentation graphique de l'évolution des indices d'abondance de *Chelonia mydas* sur le secteur 9 (prédiction d'après le meilleur GLMM)



## Discussion

### Evolution des indices d'abondance des tortues imbriquées selon les secteurs et les zones bénéficiant d'un statut de protection

Pour les tortues imbriquées, en valeur moyenne sur l'ensemble de la période d'étude, le nombre d'observations est le plus élevé sur le secteur 8 (Les Saintes), un secteur sans statut de protection particulier, et sur le secteur 2 (Île de Guadeloupe, Basse Terre, Côte sous le vent), un secteur majoritairement inclus dans l'aire maritime adjacente au Parc National de Guadeloupe (Figure 6 & Tableau 2). Sur ces deux secteurs, le modèle ajuste une tendance croissante au début de la période d'étude qui s'inverse ensuite. La tendance devient décroissante après un maximum à la quinzaine 161 aux Saintes et plus tard, à la quinzaine 239 sur le secteur 2.

Le nombre moyen d'observations est intermédiaire sur le secteur 1 (Grand Cul-de-Sac Marin), inclus dans le Parc National de Guadeloupe et le secteur 7 (Marie-Galante), sans statut de protection particulier. Sur ces deux secteurs, les indices d'abondances suivent également une évolution en cloche : sur le secteur 1, la courbe atteint un maximum à la quinzaine 265 puis devient décroissante. La courbe de l'indice d'abondance modélisé sur le secteur 7 n'est pas interprétable en raison de l'étendue de l'intervalle de confiance des indices d'abondance.

La tendance globale est donc en cloche et la tendance récente est donc nettement décroissante, quel que soit le statut de protection. Cependant, la date à laquelle la tendance s'inverse pour devenir décroissante est d'autant plus tardive que le statut de protection est élevé, ce qui pourrait suggérer que la protection retarde le renversement de tendance.

La tendance sur le secteur 9 (Saint Barthélemy), sans statut de protection particulier, se distingue nettement de celles de autres secteurs. A Saint-Barthélemy, où le nombre d'observations de tortues imbriquées est en moyenne faible sur l'ensemble de la période d'étude, la courbe des indices d'abondance montre une tendance fortement décroissante depuis le début de l'étude en 2002 (maximum ajusté à la quinzaine 30 puis décroissance constante sur l'ensemble de la période d'étude).

Ces tendances peuvent être confrontées à d'autres tendances obtenues sur d'autres sites d'alimentation dans la région : d'après Conant et al (2013) le nombre d'adultes, de sub-adultes 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). La tendance observée sur les sites d'alimentation de la Guadeloupe, de ses dépendances et de Saint Martin est donc différente.

Par ailleurs, un récent rapport montre que les activités de ponte des tortues imbriquées sont stables dans l'archipel de Guadeloupe sur la période 2000-2014 (Girard, 2015). A l'échelle régionale, l'évolution des populations nidifiantes est contrastée : certaines populations adultes de tortues imbriquées sont en augmentation : à Puerto-Rico (Mona Island), sur les îles Vierges Américaines et à la Barbade ; d'autres 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).

Dans le cadre du protocole Inascuba, nous n'avons pas accès aux informations concernant le stade de maturité des individus observés, il n'est donc pas possible de détecter d'éventuelle tendances différenciées selon les stades de vie.

### Evolution des indices d'abondance des tortues vertes selon les secteurs et zones bénéficiant d'un statut de protection

Deux des secteurs où les indices d'abondances des tortues vertes sont élevés : les secteurs 2 et 10 sont des zones protégées : la majeure partie du secteur 2 (Côte sous le vent) est incluse dans l'aire maritime adjacente au Parc National de Guadeloupe et le secteur 10 (1 site unique) est inclus dans la Réserve Naturelle de Saint Martin.

Le nombre d'observations de tortues vertes est également élevé sur le secteur 7 à Marie-Galante, une île qui ne bénéficie pas de statut de protection particulier à ce jour. Le modèle n'a pu détecter une tendance sur cette zone.

La tendance des indices d'abondance des tortues vertes est croissante sur le secteur 1 (Grand Cul-de-Sac Marin), inclus dans le Parc National de Guadeloupe, le secteur 2 (Côte sous le vent), majoritairement inclus dans l'aire maritime adjacent du Parc National de Guadeloupe et le secteur 8 (Les Saintes, sans statut de protection particulier).

La tendance des indices d'abondance des tortues vertes est fortement décroissante sur le secteur 9, Saint Barthélemy, sans statut de protection particulier.

Il n'existe donc pas de corrélation évidente entre statut de protection et évolution des indices d'abondance des tortues vertes.

Le secteur 9, Saint Barthélémy, connaît une situation préoccupante. Pendant la période suivie, le nombre global des observations est décroissant aussi bien pour les tortues vertes que les imbriquées. Pour les deux espèces, les courbes de tendance diffèrent significativement de celle observées sur les autres secteurs.

Les tendances des indices d'abondance des tortues vertes observées dans l'archipel de la Guadeloupe, ses dépendances et Saint Martin peuvent être confrontées aux tendances des populations de tortues vertes dans la région. L'essentiel des informations de tendance disponibles concernent cependant uniquement les populations adultes, évaluée d'après les activités de ponte : en Guadeloupe, la tendance des pontes que nous avons sur près de quinze ans de suivi est négative (Girard A. 2015). Cette tendance est conforme à la tendance mondiale globale : le nombre moyen de femelles nidifiantes a diminué de 48 à 67% au cours des trois dernières générations d'après les résultats de suivis sur 32 sites de référence (Seminoff, 2007). Toutefois, les tendances récentes rapportées pour les populations de tortues vertes dans l'Atlantique Ouest sont globalement croissantes (Seminoff et al. 2007), notamment 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. Les sites d'alimentation côtiers accueillant des assemblages de tortues vertes juvéniles, sub-adultes et adultes sont fréquemment fortement exposés aux captures accidentelles (Lagueux et al., 2014 ; Girard et al., 2013 ; Jardim et al. 2015), ce qui

peut aboutir à une diminution des densités de tortues vertes sur les aires d'alimentation côtier (Lagueux et al., 2014). La Guadeloupe semble échapper à cette règle : les indices d'abondance des tortues vertes dans les eaux côtières sont globalement en augmentation. Malgré la baisse des activités de ponte des tortues vertes constatée à la Guadeloupe sur la période 2002-2014 (Girard, 2015), l'augmentation des populations sur les sites d'alimentation peut laisser présager une reconstitution des stocks immatures qui pourrait avoir une répercussion sur les activités de ponte dans l'avenir, si les efforts de conservation sont maintenus.

Dans le cadre du protocole Inascuba, nous n'avons cependant pas accès aux informations concernant le stade de maturité des individus observés, il n'est donc pas possible de détecter d'éventuelles tendances différenciées selon les stades de vie.

Figure 28. Cartes des zones protégées et des projets de protection ou de gestion dans l'archipel de Guadeloupe et ses dépendances

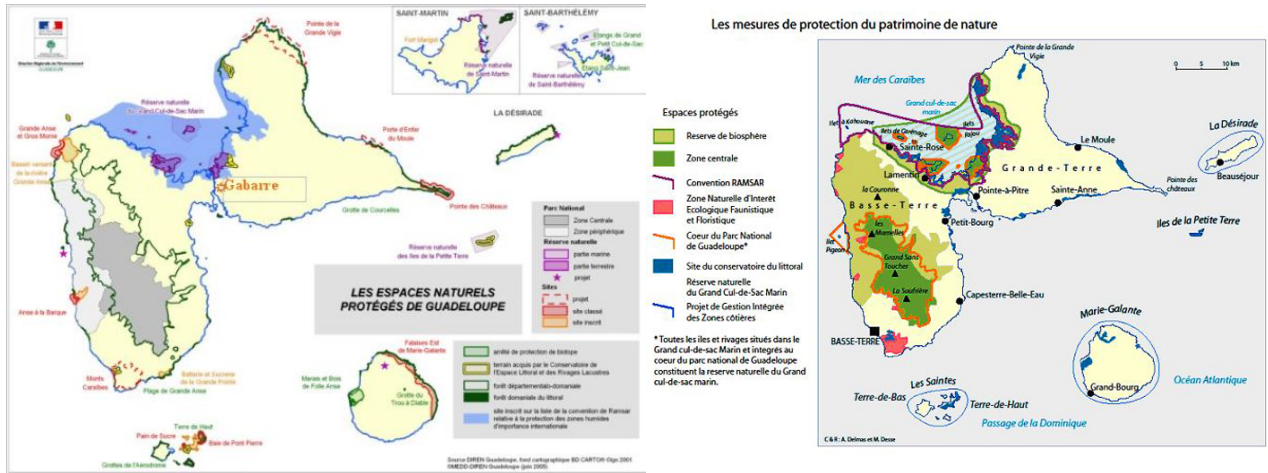


Figure 29. Zonage du Parc National de Guadeloupe



## Voie d'amélioration du suivi Inascuba

### Contenu de la base de données

En ce qui concerne les coordonnées géographiques des sites suivis, les coordonnées de Latitude et de Longitude ne sont pas renseignées pour 43 sites (204 sites sur 247 sont complètement géo-localisés). Pour limiter le risque de confusion, il est aussi utile de préciser dans la base de données le système de coordonnées utilisé pour le référencement géographique des sites (en l'occurrence le système UTM, il convient également de préciser la zone UTM, 20N pour la Guadeloupe).

Le modèle a révélé l'effet des tranches horaires d'observation sur les indices d'abondances observées. La présence d'un grand nombre d'observations pour lesquelles les tranches horaires ne sont pas renseignées occasionne une forte perte d'information. Par exemple, le secteur 10, Saint Martin a été complètement exclu de la modélisation des tendances car aucune des observations sur ce site ne comportait d'information sur l'heure d'observation.

Sur le secteur 1, la tranche horaire n'était pas précisée pour plus de la moitié des observations. Au total, 8107 observations (sur un totale de 40 121, 20%) ont été exclues de la modélisation faute d'information sur la tranche horaire (Tableau 1).

Il existe par ailleurs dans la base de données une hétérogénéité des noms et certains sites présents dans la feuille « Données InaScuba 2002-2014 » ne sont pas retrouvés dans la feuille « Liste des lieux ». Nous avons également relevé une ambiguïté sur le secteur auquel appartient le site de suivi « Sec Paté » : attribué au Secteur 8 dans la plupart des cas et plus rarement attribué au Secteur 2. Ces incohérences sont détaillées dans le chapitre « Consolidation des données ».

### Suivi Inascuba

Le suivi Inascuba permet de détecter des tendances des indices d'abondance. L'interruption du suivi est donc regrettable car il constitue un outil de science collaborative produisant un indicateur très utile pour suivre l'évolution des populations et évaluer l'efficacité des plans de restaurations et plans nationaux d'action.

Il serait intéressant de maintenir une collaboration avec les clubs de plongées quitte à réduire le nombre de plongées incluses dans le protocole. Le raisonnement guidant l'échantillonnage des plongées à inclure dans le suivi est primordial : l'essentiel réside dans le maintien d'une couverture géographique large et d'une bonne distribution des suivis au cours du temps, et en couvrant équitablement les différentes tranches horaires (AM, PM, Nuit).

Par exemple, le suivi à Saint Martin n'a pas été à même de produire des tendances des indices d'abondance pour 3 raisons :

- le suivi a été limité dans le temps : les plongées disponibles dans la base de données à Saint Martin ne concernent que 2011 ;
- le suivi se cantonne au Site Sentier Pinel, il n'est donc pas représentatif du secteur dans son ensemble ;
- les informations collectées ne contiennent pas la tranche horaire d'observation.

Chercher à renseigner a posteriori les tranches horaires sur le secteur 10 Saint Martin, ne permettra donc pas d'y rechercher une éventuelle tendance, le suivi étant très limité dans le temps et géographiquement. Le même effort de plongées à Saint Martin aurait pu apporter de l'information s'il avait été distribué sur plusieurs années, équitablement sur les tranches horaires (et en renseignant cette information dans la base de données).

Sur certains secteurs, notamment Saint Barthélemy, le suivi s'est interrompu mi 2010 (quinzaine 24 de 2010). Cet arrêt du suivi est d'autant plus regrettable que la modélisation produit une tendance nettement décroissante des indices d'abondance sur ce secteur. Nous manquons cruelle de suivis récents à Saint Barthélemy pour statuer sur ce secteur.

Nous recommandons de poursuivre les suivis sur l'ensemble des secteurs et de reprendre rapidement le suivi sur le secteur 9 (Saint Barthélemy) car nous manquons de visibilité dans une situation particulièrement préoccupante et une évolution différenciée par rapport aux autres secteurs.

Nous recommandons de relancer les collaborations avec les clubs de plongées. Nous ne connaissons cependant pas les raisons de l'arrêt des suivis, notamment la raison de l'arrêt précoce des suivis Inascuba à Saint Barthélemy au cours de l'année 2010.

Les suivis Inascuba à pérenniser ou à remettre en place pourraient être plus espacés, l'essentiel étant de bien répartir les suivis dans le temps, dans l'espace et sur l'ensemble des tranches horaires.

La restitution des résultats de l'étude auprès de clubs de plongée pourrait être un bon moyen de relancer la motivation en vue de nouvelle collaboration.

Le suivi pourra être élargi aux secteurs non représentés jusqu'à présent, notamment secteur 6, Petite Terre et la Désirade, et Secteur 3 (Petit cul de sac marin).

Le Protocole Inascuba pourrait être complété, sur les secteurs où sa mise en œuvre n'est pas possible, par des campagnes de collecte active de données par d'autres voies que celle des clubs de plongée (transect sous marins, protocole de capture-marquage-recapture, etc.).



## Bibliographie

Akaike, H. (1973). Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. International Symposium on Information Theory, Akademia Kiadi, Budapest, Hungary.

Akaike, H. (1974). "A new look at the statistical model identification." IEEE Transactions on Automatic Control 19: 716-723.

Burnham, K. P. A., D. R. (), (2002). Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach (2nd ed.), Springer-Verlag.

Conant, T., et al. (2013). Hawksbill Sea Turtle ESA Five-Year Review National Marine Fishery Service - U. S. Fish and Wildlife Service: 89.

Girard, A. (2015). Analyse des données d'activités de pontes des tortues marines en Guadeloupe (incluant ses dépendances et Saint Martin). Période 2004-2014 . E. SARL. Paris, ONCFS - Cellule Technique Antilles françaises - Programme Tortues Marines Guadeloupe: 44.

Girard, A. and N. Breheret (2013). "The Renatura sea turtle conservation program in Congo." Munibe Monographs. Nature Series 1: 65-69.

Gros, P. (1997). "Practical linear regression modelling. Basic principles. Validation methods." Oceanis 23(3): 359-515.

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.

Jardim, A., et al. (2015). "Demography and foraging ecology of *Chelonia mydas* on tropical shallow reefs in Bahia, Brazil." Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom.

Lagueux CJ, Campbell CL, Strindberg S (2014) Artisanal Green Turtle, *Chelonia mydas*, Fishery of Caribbean Nicaragua: I. Catch Rates and Trends, 1991-2011. PLoS ONE 9(4): e94667. doi:10.1371/journal.pone.0094667

Seminoff, J., et al. (2007). Green Sea Turtle ESA Five-Year Review National Marine Fishery Service - U. S. Fish and Wildlife Service: 102.

## Annexes

Analyses détaillées réalisées sous R. (PDF joint)