



Études de la végétation littorale de l'île de la Grande Glorieuse (îles Éparses, canal du Mozambique) et de l'influence de paramètres environnementaux sur le choix du site de ponte par les tortues vertes (*Chelonia mydas*)



Betty Dufour
Master 2 Biodiversité et ÉcoSystèmes Tropicaux
Année 2013-2014
Université de la Réunion
Sous la direction de Luc Gigord et Jean Hivert
Conservatoire Botanique National de Mascarin

Études de la végétation littorale de l'île de la Grande Glorieuse (îles
Éparses, canal du Mozambique) et de l'influence de paramètres
environnementaux sur le choix du site de ponte par les tortues vertes
(*Chelonia mydas*)

Rédaction et cartographie

B. DUFOUR^{a,b}

Collecte des données

J. HIVERT^b, B. DUFOUR^{a,b}, T. GALLIX^{a,c}

Direction de l'étude

L. GIGORD^b, J. HIVERT^b

a : UR, b : CBM, c : CEDTM Kélonia

Logo & Sigles :

CBM : Conservatoire Botanique National de Mascarin et Centre Permanent d'Initiative pour l'Environnement (CBN-CPIE de Mascarin)

CEDTM Kélonia : Centre d'Etude et de Découverte des Tortues Marine, Kélonia

DEAL : Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DLEM : Détachement de la Légion Etrangère de Mayotte

FAZSOI : Forces Armées en Zone Sud de l'Océan Indien

Taaf : Terres australes et antarctiques françaises

TEMEUM : TERres et MERs UltraMarines

UR : Université de la Réunion

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier Jean Hivert, Luc Gigord et le Conservatoire Botanique de Mascarin pour m'avoir offert cette opportunité de participer à une étude aussi novatrice que passionnante, et cette immense chance de découvrir les Glorieuses.

Un grand merci tout particulier à Jean qui me soutient depuis maintenant deux ans et avec qui j'ai eu la chance de partager cette expérience incroyable. Merci pour ta gentillesse, ta patience, ta confiance et ton investissement dans mon travail. Ces 48 jours de terrains ont été passionnants grâce à toi et resteront un souvenir inoubliable.

Merci aussi à Thomas Gallix, mon binôme attiré, pour son soutien et sa bonne humeur. Même si on a réussi l'exploit de ne pas se croiser si souvent que ça sur ces 7 km² de sable, les rondes de nuits sur la plage étaient un vrai plaisir et je suis contente d'avoir pu partager cette aventure avec toi !

Merci à tous les gars du détachement militaire qui nous ont accompagné. Grâce à votre bienveillance à mon égard, je n'ai pas une seule fois regretté d'être la seule fille de l'île, et ce séjour a été un vrai plaisir du début à la fin.

Merci également à Laurence Humeau pour son aide et son soutien moral dans la phase moins palpitante d'analyse des données. Et merci à toute l'équipe du CBNM pour son accueil chaleureux.

Je tiens aussi à remercier les Taaf pour m'avoir fait confiance et pour leur travail de l'ombre dans l'organisation de la mission, le CEDTM Kélonia pour ce partenariat très enrichissant, et les partenaires de cette étude pour leur appui logistique et/ou financier : TEMEUM, le DLEM et les FAZSOI.

Enfin un grand merci à mes « minions » préférés : Mayon, Anne-Cécile et Choupinette qui savent toujours trouver des moyens de me changer les idées quand il y en a vraiment besoin !



Sommaire

1.	Introduction	2
1.1.	La végétation littorale.....	2
1.2.	Interaction flore / faune	3
1.3.	Les espèces végétales exotiques envahissantes	4
1.4.	Présentation de l'étude.....	5
1.4.1.1.	Problématiques	6
2.	Matériel & Méthode	6
2.1.	Relevé des données.....	6
2.1.1.	Données floristiques	6
2.1.2.	Données abiotiques.....	7
2.1.3.	Données tortues	8
2.2.	Analyses statistiques.....	8
2.2.1.	Composition floristique du littoral de la Grande Glorieuse.....	8
2.2.1.1.	Espèces indigènes	8
2.2.1.2.	Espèces exotiques	9
2.2.2.	Facteurs influençant le choix du site de ponte par les tortues vertes	10
3.	Résultats	10
3.1.	Composition floristique du littoral de la Grande Glorieuse.....	10
3.1.1.	Description de la flore littorale à l'échelle de l'île	10
3.1.2.	Espèces indigènes	11
3.1.2.1.	Composition de l'avant front (zone 3.1).....	11
3.1.2.2.	Composition du front de végétation (zone 3.2)	12
3.1.3.	Espèces exotiques	13
3.1.3.1.	Présence des taxons exotiques sur le littoral.....	13
3.1.3.2.	Présence des taxons exotiques en ad-littoral.....	14
3.2.	Facteurs influençant le choix du site de ponte par les tortues vertes	14
4.	Discussion.....	15
4.1.	Flore littorale des Glorieuses	15
4.1.1.	Remarques générales sur la flore littorale de la Grande Glorieuse.....	15
4.1.2.	Profil d'érosion asymétrique	16
4.1.3.	Composition de la flore littorale en espèces indigènes.....	17
4.1.4.	Cas des deux taxons exotiques	20
4.2.	Choix du site de ponte par les tortues vertes	21
4.3.	Perspectives d'amélioration.....	23
5.	Conclusion.....	24
6.	Références Bibliographiques.....	26
7.	Annexes	33

1. Introduction

1.1. La végétation littorale

Le terme de végétation littorale regroupe des types d'habitats très variés (Bensettiti et al., 2004) selon le type de végétation (herbacée, arbustive, arborée), le type d'étendue d'eau à proximité et leur hydrodynamisme (océan, mer, lac, fleuve, rivière), et le type de substrat (falaise, sable, rochers, terre, etc.). Dans le cadre de cette étude, le terme de végétation littorale fera référence aux différents types de végétations présents sur des plages coralliennes à proximité d'un océan.

Les plages océaniques sont caractérisées par une salinité et un pH élevés, peu de nutriments et un substrat instable et poreux (Chapman, 1964 ; Evans et Hardy, 1970 ; Maun, 1994). De par leur position à l'interface terre-mer, elles représentent une zone de tampon entre ces deux milieux très différents. Elles sont le lieu d'échanges de matière et d'énergie intenses et permanents entre l'océan et la terre, qui définissent non seulement le substrat de la plage mais aussi la vie qui pourra s'y installer (Packham et Willis, 1997).

À l'état naturel, la végétation de ces écosystèmes particuliers est composée d'espèces indigènes très adaptées aux conditions difficiles qui règnent dans ce milieu. Leur répartition étant contrôlée par différents facteurs environnementaux (vents, consistance du substrat, éloignement à l'océan... Duffaud 1998), la végétation littorale se décompose en bandes de végétation parallèles au trait de côte (Amir, 1987) avec une alternance d'espèces au fur et à mesure de sa stabilisation graduelle de l'océan à la terre (Packham and Willis, 1997). Elle participe à la stabilisation du substrat meuble et aide à réduire l'érosion des plages notamment lors des tempêtes (Danielsen et al., 2005).

Cependant, ce type de végétation reste très peu étudié, malgré les nombreux services écosystémiques qu'il rend. De nos jours, les plages sont des écosystèmes hautement menacés nécessitant la mise en place de plan de conservation (Brown et McLachlan, 2002 ; Schlacher et al., 2006, 2007 ; Defeo et al., 2009). La végétation de ces plages est elle-même soumise à un grand nombre de menaces, les plus importantes étant les impacts anthropiques directs telles la déforestation pour l'utilisation du bois ou l'installation d'habitations et ceux indirects tels l'introduction d'espèces exotiques qui deviennent parfois envahissantes.

1.2. Interaction flore / faune

Comme la plupart des systèmes de végétation, la végétation littorale représente un habitat pour de nombreuses espèces animales qui y trouvent une protection contre les prédateurs, une source d'alimentation et un abri pour la reproduction – notamment pour les animaux marins nichant sur terre comme les oiseaux marins et les tortues marines. Ces dernières ont effectivement tendance à venir pondre dans ou à la limite de la végétation des plages où les jeunes émergent (Hughes, 1989 ; Bustard, 1968 ; Soafiavy, 2000 ; Horrocks et Scott, 1991 ; Scofield, 1996) car celle-ci leur apporte une protection contre le piétinement des nids, contre la chaleur et contre les pollutions lumineuses et sonores émanant des zones anthropisées alentours.

Des études sur différentes espèces de tortues marines ont montré que la localisation du nid d'une tortue n'est pas due au hasard mais résulte d'un choix de la femelle (Hays et Speakman, 1993 ; Karavas et al., 2005 ; Martin et al., 1989 ; Mellanby et al., 1998). Les femelles choisissent un site de ponte en fonction non seulement de leurs capacités physiques et énergétiques à monter sur la plage pour pondre, mais aussi des conditions environnementales du site optimales pour la survie de sa progéniture. La sélection du site de ponte résulte en une incubation des œufs dans un milieu à basse salinité, à haute humidité, à température relativement stable pour maintenir un sex-ratio équilibré, bien ventilé pour permettre les diffusions de gaz et de chaleur nécessaires au développement et à la survie des embryons, et qui n'est pas inondé par l'océan pendant le développement des œufs (Ackerman, 1980 ; Maloney et al., 1990 ; Miller, 1985 ; Mortimer 1982, 1990).

Le rôle direct de la végétation sur la sélection du site de ponte a fait l'objet de peu d'études, cependant des hypothèses existent quant à son effet attracteur. On peut retenir notamment l'hypothèse de la plume olfactive (Luschi et al., 2003), odeur caractéristique de l'île dégagée par la végétation et qui joue un rôle d'empreinte sur les nouveaux nés et qui attire la tortue devenue adulte. Carr et Carr (1972) expliquent que cette théorie fonctionne pour une reconnaissance à moyenne distance mais qu'une fois proche des abords de la plage, il semble peu probable que l'olfaction joue un rôle quelconque puisque l'odeur d'une plage change très vite consécutivement au renouvellement des plantes et du sable.

De nombreux autres paramètres abiotiques pourraient également jouer un rôle dans la reconnaissance du lieu de naissance – les tortues présentant un comportement de *homing*, elles reviennent toujours se reproduire sur le territoire où elles sont nées (Bourjea et al., 2007; Bowen et al., 1992; Moritz et al., 2002; Mortimer & Portier, 1989) – et dans le choix d'un site optimal pour la survie des embryons. On peut citer notamment la granulométrie de la plage (Crain et al., 1995 ; Mortimer, 1982, 1990) et sa largeur (Kikukawa et al., 1998). Il semblerait qu'il existe également des facteurs ayant

un effet répulsif, comme par exemple la lumière des villes (Witherington, 1992 ; Ehrhart et al., 1996) ou la présence de végétations exotiques (Schmelz et Mezich, 1988).

Hays et Speakman (1993) expliquent dans leur étude que les nids peuvent parfois être agglomérés sur les plages où le succès reproducteur est optimal – comme dans l'étude de Horrocks et Scott, 1991 sur les tortues imbriquées aux Barbades – mais uniquement si les conditions environnementales sont suffisamment stables pour être prévisibles – ce n'est par exemple pas le cas en Guyane et aux îles Vierges où les études de Mrosovsky (1983) et Eckert (1987) n'ont pas pu mettre en évidence des conditions préférentielles pour la ponte des tortues luth.

1.3. Les espèces végétales exotiques envahissantes

Les espèces invasives sont connues pour contribuer significativement à la perte de la biodiversité dans les îles océaniques (Macdonald et al., 1991 ; Macdonald, 2010 ; Kueffer et Lavergne, 2004 ; Soubeyran, 2008). En effet, les espèces végétales exotiques envahissantes peuvent remplacer rapidement les espèces indigènes, et empêcher leur régénération notamment, grâce à leur cycle de reproduction bref dans le temps et leurs importantes capacités de dispersion.

Un exemple flagrant d'espèce exotique ayant un très fort impact sur la végétation littorale des îles de l'Océan Indien est le Filao (*Casuarina equisetifolia*– Casuarinaceae). De nombreux cas d'invasion par cette espèce sont connus à travers le monde (Meyer, 2005 ; Hivert et al., 2013) *C. equisetifolia* a une croissance rapide, atteint rapidement une maturité sexuelle, produit de très nombreuses semences qui se dispersent par les vents et les océans et qui montrent des taux de germination élevés, il a donc un potentiel d'invasion très fort. Une fois installé, l'ombre dense produite par son feuillage réduit la lumière autour de l'individu, et donc la température du sol ainsi que la composition chimique du sol et son hydrologie (in Hivert et al., 2013). De plus, son feuillage s'accumule au sol en formant une couche épaisse qui a une valeur alimentaire réduite pour la faune et réduit leur habitat (Chaudhari et al., 2009 ; Selvam, 2006). Cette paille filao entraîne également l'acidification et donc l'appauvrissement du sol et relâche des composés chimiques inhibant la croissance des autres plantes (Schmid et al., 2008). Le Filao a donc tendance à exclure la végétation indigène (Nelson, 1994 ; Hivert et al., 2013) et l'habitat tend vers une formation végétale mono spécifique qui ne remplit pas les nombreux rôles de habitat primaire. Par exemple, *C. equisetifolia* présente un système racinaire important et superficiel qui favorise l'érosion des plages et le rend vulnérable et susceptible d'être déraciné en cas de forts vents. Il est intéressant de noter que pendant de nombreuses années le filao était réputé au contraire pour stabiliser le substrat des plages et que c'est l'une des principales raisons de son introduction sur de nombreuses îles océaniques.

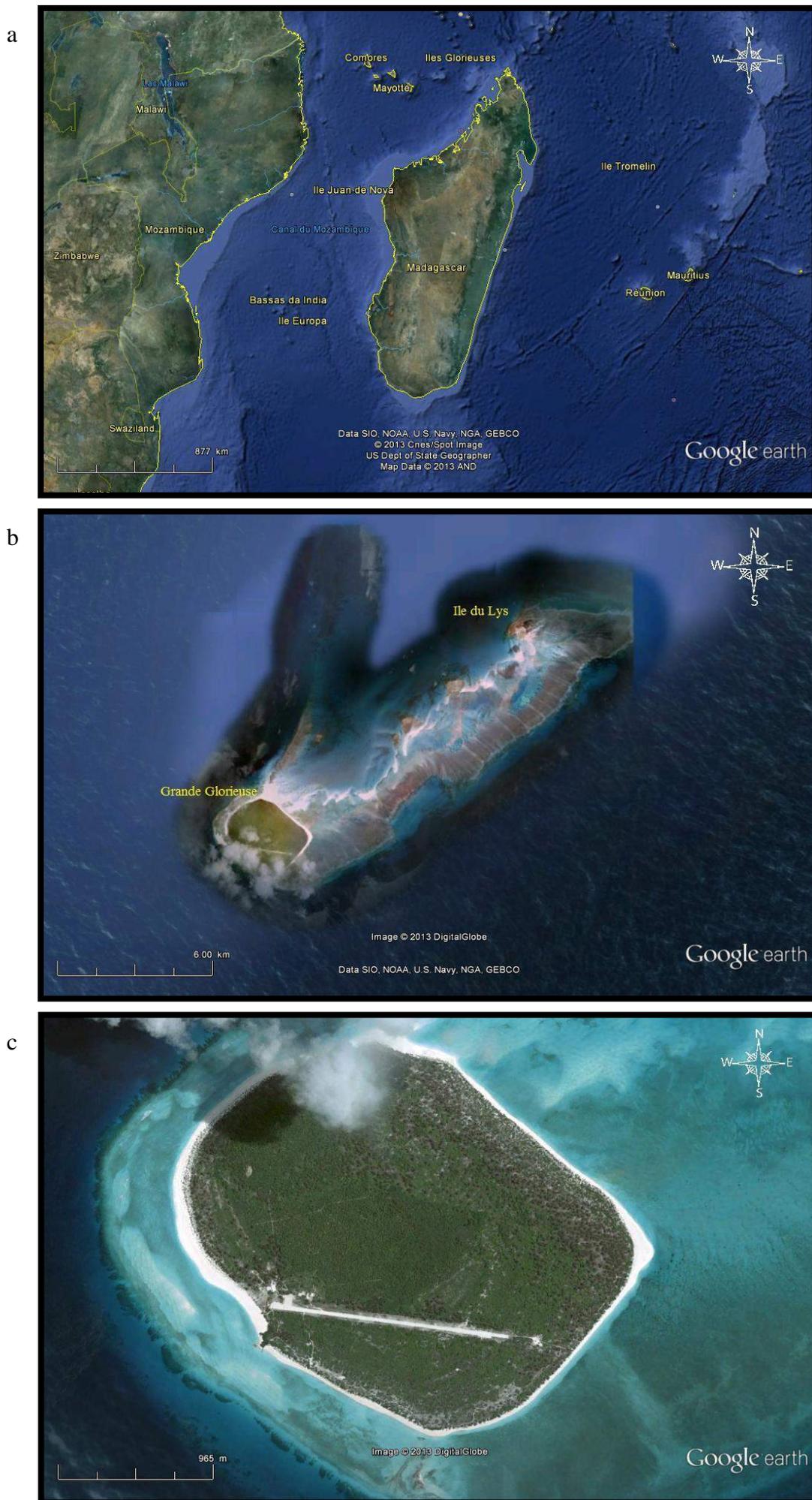


Figure 1. Cartes de localisation de l'île de la Grande Glorieuse dans l'Ouest de l'Océan Indien (a) et dans l'archipel des Glorieuses (b) et carte de la Grande Glorieuse (c)

Autre exemple, le filao semble largement interférer avec la ponte des tortues marines en gênant à la fois la progression des tortues adultes sur la plage, le creusage du trou de ponte et plus tard l'émergence des juvéniles. Il peut également avoir un impact indirect sur la reproduction de la tortue s'il s'avérait que la végétation indigène qu'il remplace joue effectivement un rôle d'attraction et de protection pour la tortue et sa descendance (Chaudhari et al., 2009 ; [Global Invasive Species Database](#)).

1.4. Présentation de l'étude

L'étude menée ici a eu lieu sur l'île de la Grande Glorieuse (Figure 1). Appartenant à l'archipel des Glorieuses avec l'île du Lys, l'îlot aux Crabes et l'île aux Roches Vertes, cette petite île madréporique d'environ 7 km² fait partie des îles Éparses et elle est sous la juridiction des Taaf. Le complexe récifal de 43 000 km² qui l'entoure présente un grand intérêt patrimonial car abritant de nombreuses espèces protégées dont les tortues vertes (*Chelonia mydas*) (Ciccione et al., 2005), et a été classé Parc Naturel Marin en février 20012 (Taaf et AAMP, 2012).

Cette île, habitée et exploitée pendant près de 75 ans, est aujourd'hui uniquement occupée par des détachements militaires y séjournant durant des rotations d'une quarantaine de jours. Elle n'est donc plus habitée de façon permanente, mais garde les séquelles de l'époque où elle était exploitée. En effet, une grande partie de la forêt intérieure indigène a été détruite afin notamment d'installer une cocoteraie dans la cuvette centrale ainsi que d'autres cultures vivrières aujourd'hui disparues mais constituant des zones de friches hétérogènes (Cadet, 1984 ; Bouillet, 2005). Ces perturbations ont contribué à la modification des écosystèmes et à l'installation de nouvelles espèces exotiques (Gargominy, 2003 ; Bouillet, 2005 ; Hivert et al., 2012) dont le Filao et le Cocotier (*Cocos nucifera*) qui présentent aujourd'hui un véritable potentiel d'invasion et donc une menace pour la flore indigène (Fretey, 1995). Cependant, certaines formations végétales semblent présenter un excellent état de conservation (Bouillet 2005 ; Hivert et al., 2012) et ses systèmes dunaires intérieurs sont d'un grand intérêt patrimonial à l'échelle de l'Océan Indien (Bouillet 2005).

Étant de nos jours très peu soumise à l'influence humaine, composée à la fois de végétations naturelles et perturbées, aux plages largement fréquentées par les tortues et de dimension réduite, l'île de la Grande Glorieuse semblait être le lieu idéal pour étudier la composition et la structuration de la végétation littorale et son interaction avec le choix du site de ponte des tortues marines (essentiellement les tortues vertes).

Cette étude multidisciplinaire a été co-organisée par le CBM et le CEDTM-Kélonia. Le CBM intervient sur cet archipel depuis 2004 où il a mené 4 missions de terrain dont une de longue durée. Les

premiers et uniques relevés phytosociologiques ont été effectués par Vincent Boulet (2005) dans le but de réaliser le premier inventaire exhaustif de la flore vasculaire terrestre et de proposer une typologie des systèmes de végétation naturels et semi naturels. Les missions ultérieures ont été consacrées à des thématiques liés à la connaissance, à la conservation et à la gestion de la flore (Hivert et al 2011 ; Hivert & al 2013). Le CEDTM Kélonia, de son côté, participe au programme de suivi des tortues marines aux îles Eparses depuis 1975 (Lauret-stepler et al., 2007). Le comptage des traces de tortues est effectué tous les matins sur l'ensemble de l'île par le gendarme en poste, depuis 2001.

Cette mission de terrain effectuée début 2014 a mobilisé trois personnes : Jean Hivert et Betty Dufour pour le CBM et Thomas Gallix pour le CEDTM Kélonia. Elle a bénéficié du soutien logistique et financier des Taaf, du soutien logistique du DLEM et des FAZSOI. et d'une bourse de financement TEMEUM.

1.4.1.1. Problématiques

Les questions auxquelles l'étude tentera de répondre sont les suivantes :

Comment se compose et se structure la végétation strictement littorale de l'île de la Grande Glorieuse ? Est-elle homogène sur tout le pourtour de l'île ? Existe-t-il des associations entre certaines espèces végétales ? Comment cette répartition et structuration peuvent-elles être expliquées ? Quelle est la répartition des espèces végétales exotiques sur le littoral et ont-elles un impact sur la végétation indigène?

Quels facteurs peuvent influencer la tortue verte dans son choix du site de ponte ? Est-ce que la végétation et les paramètres abiotiques jouent un rôle important ?

2. Matériel & Méthode

2.1. Relevé des données

L'ensemble des données traitées dans ce rapport (flore et tortues) ont été relevées lors d'une mission de terrain de 48 jours sur l'île de la Grande Glorieuse, du 22 Janvier au 10 Mars 2014.

2.1.1. Données floristiques

L'étude a porté sur l'ensemble de la flore vasculaire terrestre (indigène et exotique), en prenant en compte uniquement les individus installés durablement : les adultes (individus reproducteurs), et les



Figure 2. Représentation de l'ensemble des transects littoraux réalisés sur l'île de la Grande Glorieuse.

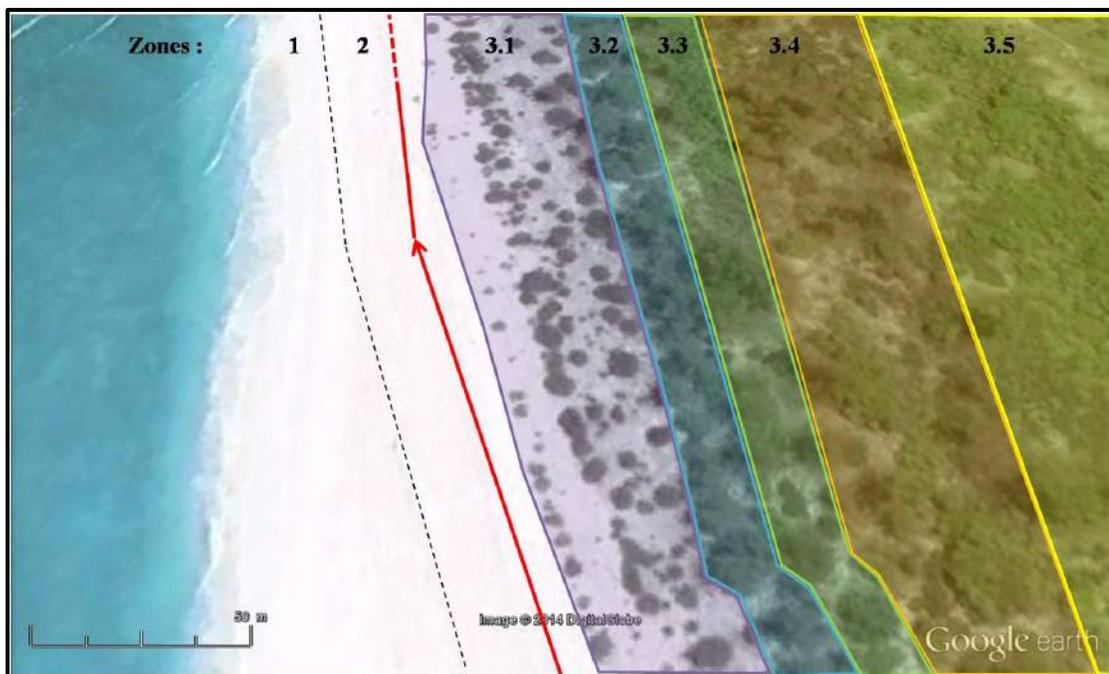


Figure 3. Représentation des différentes zones de végétation identifiées (texte en noir) et de la méthode ayant servi à positionner les transects littoraux sur le littoral de l'île de la Grande Glorieuse (en rouge).

juvéniles et grandes plantules (regroupés sous la catégorie des individus non reproducteurs). Les espèces à courte durée de vie comme la plupart des herbacées n'ont pas été prises en compte.

Afin d'avoir une vue d'ensemble de la végétation littorale de l'île, la méthode des transects linéaires est apparue comme étant la plus appropriée, comme suggéré par [Sutherland \(2006\)](#), car très satisfaisante en terme de rapport qualité et quantité de données / temps consacré. L'ensemble du littoral de l'île, soit 7747 mètres (Figure 2), a ainsi fait l'objet de relevés grâce à des transects littoraux jointifs de 100 mètres de long, tracés parallèlement au front de végétation (Figure 3). Le long de ces transect tous les individus isolés ou groupes d'individus appartenant au même taxon ont été relevés. Il a été noté pour chaque individu ou groupe, le nom du taxon, le nombre d'individu et, afin de connaître le recouvrement propre à chacun, les distances au début du transect de début (dist. début) et de fin (dist. fin) de l'individu ou groupe selon une précision de 0,5 mètre (Figure 4). Des informations complémentaires sur la phénologie de la reproduction (végétatif ou en fleur et/ou en fruit), le stade de développement (reproducteur (adulte) ou non reproducteur (juvénile et plantule)) et l'état sanitaire (vivant ou mort et bon état ou abimé) ont également été relevées (Annexe 1).

La végétation a été relevée en différenciant cinq zones selon leur distance par rapport à l'océan, les caractéristiques principales qui ont permis de différencier ces zones sont résumées dans le Tableau 1. Le type de données relevées est différent selon les zones : sur l'avant front (Figure 3, « zone 3.1 ») et le front de végétation (Figure 3, « zone 3.2 »), la végétation a été relevée de manière fine et exhaustive selon la méthode décrite plus haut. Dans la zone d'arrière front (Figure 3, « zone 3.3 ») seules les espèces exotiques (Filao et Cocotier) ont été relevées de manière exhaustive. Enfin, en adlittoral (Figure 3, « zone 3.4 et 3.5 ») un relevé de type présence/absence a été effectué pour les deux espèces exotiques.

2.1.2. Données abiotiques

Au début de chaque transect, le profil de plage a également été relevé en distinguant au maximum trois zones dont les caractéristiques principales qui ont permis de les différencier sont résumées dans le Tableau 1. Les données relevées varient en fonction de la zone : pour la zone de plage (Figure 3, « zone 1 ») la pente a été estimée, et pour la zone de talus dunaire (Figure 3, « zone 2 »), lorsqu'elle était présente, la pente, la hauteur maximale et la largeur ont été mesurées. La largeur de l'avant front (zone 3.1) a également fait l'objet d'une mesure. L'ensemble des pentes ont été caractérisées selon les classes suivantes : 0-15° / 15-30° / 30-45° / 45-60° / 60-75° / 75-90°. L'orientation de l'océan a été relevée à l'aide d'une boussole à 360° en se plaçant dos à la végétation et perpendiculairement au trait de côte. Les recouvrements d'entités telles que le beach rock, le platier corallien et les objets déposés sur la plage

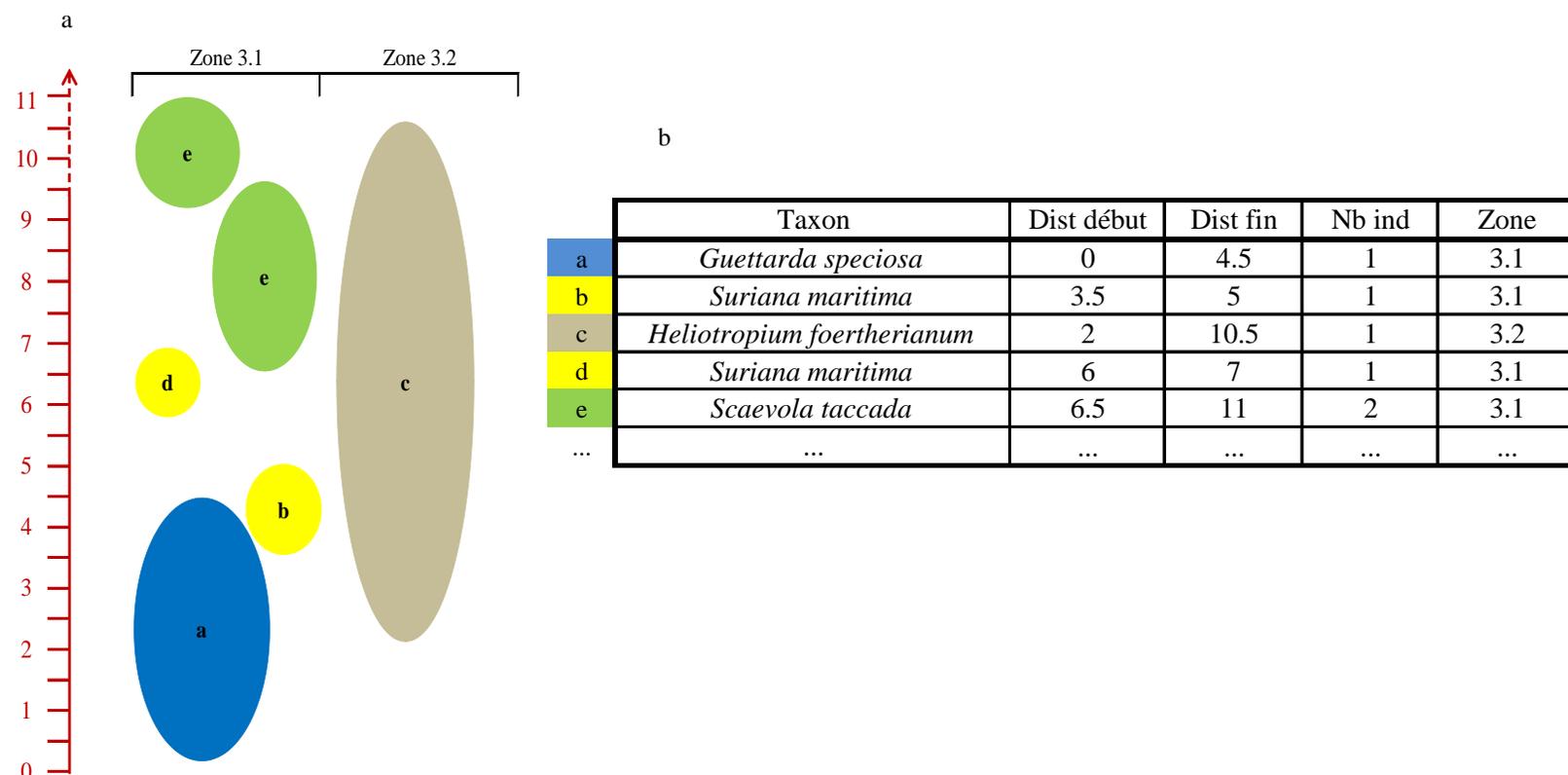


Figure 4. Méthode de mesure des recouvrements avec représentation de la méthode d'échantillonnage par transect (a) et extrait du tableau de relevé associé (b). Le transect est représenté en rouge avec une graduation en mètres et chaque forme de couleur représente un individu. Le chiffre écrit dedans correspond à l'individu isolé relevé séparément ou à un groupe d'individus de même taxon, jointif les uns des autres et fait référence à une ligne du tableau. Des informations complémentaires et non représentées ici ont été relevé pour chaque individu ou groupe d'individu (phénologie de la reproduction, état sanitaire, stade de développement...).

Tableau 1. Récapitulatif des différentes zones de plage et de végétation identifiées (Fig. 3), de leurs caractéristiques (largeur, présence, type de végétation) et des paramètres floristiques ou abiotiques qui y ont été relevés.

Zone	Nom	Largeur	Toujours présente	Type de végétation	Paramètres floristiques relevés	Paramètres abiotiques relevés
1	plage	variable	oui	absente	-	pente
2	talus	variable	non	absente	-	pente, largeur et hauteur maximale
3.1	avant front	très variable (des premiers végétaux au front)	non	éparse, ne représentant pas une barrière physique pour les tortues	relevé exhaustif de la flore vasculaire	largeur
3.2	front de végétation	5 mètres	oui	dense, formant un front impénétrable sur lequel les tortues viennent buter	relevé exhaustif de la flore vasculaire	-
3.3	arrière front	5 mètres	oui	plus ou moins dense, difficilement perceptible depuis le trait de côte	relevé uniquement des taxons exotiques	-
3.4	adlittoral immédiat	≈ 10 mètres	oui	plus ou moins dense, difficilement perceptible depuis le trait de côte	présence/absence des taxons exotiques	-
3.5	adlittoral éloigné	≈ 10 mètres	oui	plus ou moins dense, difficilement perceptible depuis le trait de côte	présence/absence des taxons exotiques	-

par l'océan (bois flottés de dimensions importantes) ont été mesurés selon la même méthode que celle utilisée pour la flore.

2.1.3. Données tortues

Les données concernant la fréquentation de la plage par les tortues femelles en reproduction ont été relevées par Thomas Gallix, lors des rondes effectuées tous les matins avec le gendarme en poste. Pour chaque nouvelle trace observée, des points GPS ont été pris tout le long de cette trace (selon une fréquence d'environ 2 mètres), ainsi que les coordonnées X et Y au niveau des trous de ponte, des trous initiés mais avortés ou des demi-tours avant toute tentative de ponte. En projetant les points GPS sur une carte à l'aide du logiciel Qgis ([Quantum GIS Development Team, 2013](#)), il a ensuite été possible de visualiser toutes ces données sur une carte et de les associer chacune au transect de végétation correspondant.

2.2. Analyses statistiques

2.2.1. Composition floristique du littoral de la Grande Glorieuse

Les taxons indigènes et exotiques sont traités séparément car l'abondance de ces deux types d'espèces n'a pas été calculée de la même façon. En effet, les espèces indigènes étant très adaptées aux conditions de vie sur le littoral présentent une allure buissonnante et elles sont généralement ensablées à la base rendant difficile le comptage précis du nombre d'individus. Il était donc plus judicieux d'évaluer l'abondance de ces taxons indigènes d'après leur recouvrement, comme le suggèrent [Karavas et al. \(2005\)](#). Au contraire, les deux espèces exotiques observées (le Filao et le Cocotier) sont des arbres hauts au tronc bien marqué et dont les individus sont bien distincts. Elles ont par conséquent, pu être dénombrées avec précision tandis que leur recouvrement est plus difficile à calculer puisque leur houppier est de forme variable et qu'il culmine à quelques mètres de haut, il n'a donc pas de sens en termes de recouvrement végétal ayant une influence directe sur la ponte des tortues. Les analyses effectuées sont donc différentes entre ces deux groupes de taxons.

2.2.1.1. Espèces indigènes

Pour les taxons indigènes, le taux de recouvrement a donc été utilisé comme mesure de l'abondance du taxon. Il est important de noter que la largeur des zones étant variable, notamment pour la zone 3.1, les recouvrements évoqués sont uniquement linéaires sur les 100 mètres du transect et ne prennent pas

Encadré 1 : Aide pour la compréhension des résultats des Classifications Ascendantes Hiérarchiques (CAH)

Les résultats d'une CAH sont représentés graphiquement par un dendrogramme (Figure 5a), c'est-à-dire un arbre hiérarchique regroupant les individus (ici les 78 transect) par la similarité des valeurs qu'ils prennent (ici taux de recouvrement) pour les différentes variables étudiées (ici chaque taxon). On va ensuite chercher à couper l'arbre afin d'obtenir des groupes (ou classes) d'individus similaires et chaque groupe sera caractérisé par sa composition spécifique.

Choisir le nombre de classes

Le choix du nombre de classes dépend de la précision souhaitée. Il est possible de déterminer des niveaux de troncature de l'arbre plus logiques en prenant en compte la difficulté de regrouper des individus pour passer d'un nombre de classes n à un nombre de classe $n-1$ (Chessel et al., 2004). Pour cela, la technique utilisée ici se base sur les hauteurs du dendrogramme où deux classes sont fusionnées ensemble. Ces hauteurs sont classées par ordre décroissant et représentées sur un barplot (Figure 5b). La hauteur du premier bâton représente la difficulté de rassembler les individus séparés en deux classes en une seule.

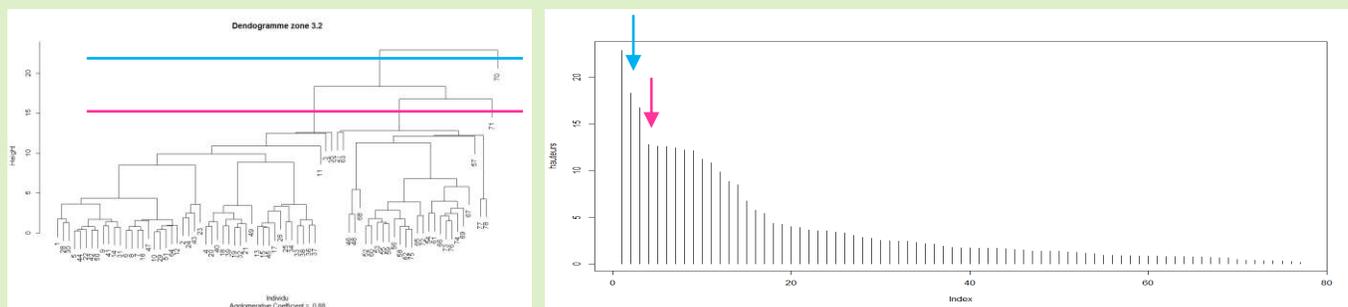


Figure 5. a (à gauche) dendrogramme construit à partir des données de la zone 3.2 (78 transect et 19 taxons) ; b (à droite) barplot des hauteurs de fusion des classes correspondant au dendrogramme.

Ainsi, les niveaux de troncature les plus logiques seront au niveau des « décrochés » dans la décroissance c'est-à-dire là où la difficulté à réduire le nombre de classe sera vraiment plus importante. Ici, il est possible d'identifier deux décrochés : le premier (en bleu) nous indique de faire deux classes, et le deuxième (en rose) nous indique d'en faire quatre (voir coupures sur dendrogramme Figure 5a). C'est à ce moment que le choix dépend de la précision voulue, ici il a été choisi de faire quatre groupes plutôt que deux car cela correspondait d'avantage à la réalité biologique.

Caractérisation des classes

Les classes sont ensuite décrites en fonction des variables dont la moyenne pour le groupe est significativement différente de la moyenne pour l'ensemble des transects. Ces variables descriptives sont regroupées dans un tableau (Tableau 2). Lorsque la valeur test est positive (lignes en gras), ces variables ont une moyenne plus importante dans le groupe que sur l'ensemble des transect et à l'inverse quand la valeur test est négative, la moyenne du groupe est inférieure à la moyenne de tous les transect. Ici, le groupe 1 formé par la classification comprend donc 52 transect qui sont caractérisés par un taux de recouvrement plus important des taxons scatac, helfoe et surmar et par un taux de recouvrement moins important des taxons guespe, corsub, casfil et soptom.

Tableau 2. Extrait du tableau listant les variables caractéristiques du groupe 1 selon la classification en quatre groupes réalisée sur les données de la zone 3.2 (78 transect et 19 taxons)

Groupe	Taxons caractéristiques du groupe	Valeur test	Moyenne du groupe	Moyenne de tous les transect	Ecart-type du groupe	Ecart-type de tous les transect	P.value	Nombre de transect dans le groupe
1	scatac	4.959	59.800	49.746	21.824	25.160	7.10E-07	52
	helfoe	4.534	30.219	21.825	23.566	22.976	5.80E-06	
	surmar	3.243	17.900	13.883	16.469	15.367	1.18E-03	
	soptom	-1.970	0.000	0.081	0.000	0.509	4.88E-02	
	casfil	-2.259	3.380	5.189	8.635	9.938	2.39E-02	
	corsub	-7.180	1.062	12.773	3.219	20.240	6.95E-13	
	guespe	-7.526	0.676	14.739	3.756	23.188	5.23E-14	

en compte de notion de surface. Ce taux a été calculé pour chaque taxon i par transect pour les zones de plages 3.1 et 3.2, selon la formule suivante :

$$Taux\ Rec_{taxon\ i} = \frac{\sum_j^0 Rec_{groupe\ j}}{Rec_{veg}}$$

Avec :

$Rec_{groupe\ j}$: Le recouvrement en mètres de chaque groupe j d'individus du taxon i , calculé selon la formule $Rec_{groupe\ j} = dist\ fin_{groupe\ j} - dist\ début_{groupe\ j}$

Rec_{veg} : Le recouvrement total de la végétation sur les 100 mètres de transect calculé selon la formule $Rec_{veg} = 100 - Rec_{vides}$, les vides ayant été mesurés de la même manière qu'un taxon.

La composition floristique des différents transects a pu être comparée en faisant ressortir les taxons majoritairement présents quelque soit le recouvrement végétal total du transect. Les transect ont été comparés et classés par similarité de composition floristique pour les zones de végétation 3.1 et 3.2 séparément. Des groupes de transect similaires ont été formés par la méthode de Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) consolidée par la méthode des K-means et le calcul des distances euclidiennes a été faite selon la méthode de Ward (Ward, 1963). L'ensemble de la classification a été réalisée grâce au package FactoMineR (Husson et al., 2013) du logiciel R v2.15.1 (R Core Team, 2012) en suivant la méthodologie d'analyse et d'interprétation proposée par les auteurs du package (Cormillon et al., 2012). Pour une meilleure compréhension des résultats de CAH, se référer à l'encadré « Aide pour la compréhension des résultats des Classifications Ascendantes Hiérarchiques (CAH) » (Encadré 1).

2.2.1.2. Espèces exotiques

Les deux espèces exotiques relevées *Casuarina equisetifolia* et *Cocos nucifera*, ont fait l'objet d'un autre traitement basé sur le nombre d'individus au sein des zones 3.1, 3.2 et 3.3 et de leur présence/absence dans les zones 3.4 et 3.5 de manière à identifier leur dynamique de propagation et d'invasion sur le pourtour de l'île depuis la bande littorale jusqu'à l'adlittoral proche.

Tout d'abord, le nombre d'individu a été calculé par transect et par zone de plage puis détaillé selon le stade de développement (individus reproducteurs ou non). Ces deux informations ont été représentées sur des cartes à l'aide du logiciel Qgis v2.0 (Quantum GIS Development Team, 2013).

Ensuite, l'influence du Filao sur le recouvrement végétal, a été étudiée en mettant en corrélation les effectifs de Filao et le recouvrement végétal total au sein de l'avant front (zone 3.1) et du front de végétation (zone 3.2) séparément, à l'aide de tests non paramétriques de Spearman (données non normales) effectués avec le logiciel R v2.1.15 (R Core Team, 2012).

Tableaux 3. Récapitulatif des variables à expliquer (variables tortues) et des variables explicatives (variables floristiques et abiotiques) qui seront soumises à des tests de corrélation.

Variables sur les tortues	Variables floristiques	Variables abiotiques
Nombre de traces observées	Recouvrement végétal de l'avant front, toutes espèces confondues	Orientation de l'océan
Nombre de pontes effectives	Recouvrement végétal du front, toutes espèces confondues	Pente de la plage
Nombre moyen de trous creusés par trace (pondu ou non)	Effectifs de filao dans l'avant front	Pente du talus
	Effectifs de filao dans le front	Largeur du talus
	Effectifs de filao dans l'arrière front	Largeur de l'avant front
	Groupes obtenus par la CAH pour l'avant front	Hauteur du talus
	Groupes obtenus par la CAH pour le front	Recouvrement en beach rock
		Recouvrement en platier corallien
		Recouvrement en bois flottés, toutes zones confondues

Tableaux 4. Tableau récapitulatif des taxons rencontrés sur le littoral de l'île de la Grande Glorieuse, ainsi que leur code taxon associé, leur famille, leur statut aux Glorieuses et leur type biologique. Photos de chaque taxon disponibles en Annexe 2.

Code taxon	Nom scientifique	Famille	Statut aux Glorieuses	Type biologique
calino	<i>Calophyllum inophyllum</i> L.	Clusiaceae	Indigène	Arbre
casequ	<i>Casuarina equisetifolia</i> L.	Casuarinaceae	Exotique envahissante	Arbre
casfil	<i>Cassytha filiformis</i> L.	Lauraceae	Indigène	Liane
cocnuc	<i>Cocos nucifera</i> L.	Arecaceae	Exotique envahissante	Arbre
colasi	<i>Colubrina asiatica</i> (L.) Brongn.	Rhamnaceae	Indigène	Arbuste
corsub	<i>Cordia subcordata</i> Lam.	Boraginaceae	Indigène	Arbre
danais_sp	<i>Danais</i> sp. 1	Rubiaceae	Indigène (supposé)	Liane
ficgre	<i>Ficus grevei</i> Baillon	Moraceae	Indigène	Arbre
guespe	<i>Guettarda speciosa</i> L.	Rubiaceae	Indigène	Arbre
helfoe	<i>Heliotropium foertherianum</i> Diane et Hilger	Boraginaceae	Indigène	Arbuste
hernym	<i>Hernandia nymphaeifolia</i> (Presl) Kubitzki	Hernandiaceae	Indigène	Arbre
ipopos	<i>Ipomoea pes-caprae</i> (L.) R. Br. subsp. <i>brasiliensis</i> (L.) Ooststr.	Convolvulaceae	Indigène	Herbe
ipovio	<i>Ipomoea violacea</i> L.	Convolvulaceae	Indigène	Liane
morcit	<i>Morinda citrifolia</i> L.	Rubiaceae	Indigène (supposé)	Arbre
pemaci	<i>Pemphis acidula</i> J.R. Forst. et G. Forst.	Lythraceae	Indigène	Arbuste
pisgra	<i>Pisonia grandis</i> R. Br.	Nyctaginaceae	Indigène	Arbre
scatac	<i>Scaevola taccada</i> (Gaertn.) Roxb.	Goodeniaceae	Indigène	Arbuste
soptom	<i>Sophora tomentosa</i> L. subsp. <i>tomentosa</i>	Fabaceae	Indigène	Arbuste
surmar	<i>Suriana maritima</i> L.	Surianaceae	Indigène	Arbuste
tercat	<i>Terminalia catappa</i> L.	Combretaceae	Indigène	Arbre
vigmar	<i>Vigna marina</i> (Burm.) Merr.	Fabaceae	Indigène	Herbe

Enfin, l'information de présence/absence des deux taxons en ad-littoral a également été représentée sur une carte.

2.2.2. Facteurs influençant le choix du site de ponte par les tortues vertes

Afin d'étudier l'influence que peuvent avoir la flore et les paramètres abiotiques sur le choix du site de ponte par les tortues vertes, les variables à expliquer concernant la fréquentation des plages par les tortues ont été mises en corrélation avec les variables explicatives les plus pertinentes liées à la flore et aux paramètres abiotiques. Les données n'étant pas normales, des tests de corrélations non paramétriques (méthode de Spearman) ont été réalisés pour les variables explicatives quantitatives et des ANOVA ont été faites sur les variables explicatives qualitatives (classes de pentes). Les différentes variables retenues sont récapitulées dans le Tableau 3.

3. Résultats

3.1. Composition floristique du littoral de la Grande Glorieuse

Les 21 taxons relevés au cours de l'étude sont listés dans le Tableau 4, avec le détail de leur code taxon, leur famille, leur statut d'indigénat, et leur type biologique (illustrations en Annexe 2). Sur ces 21 taxons, 19 sont indigènes (ou supposés tels) et deux sont exotiques et considérés comme envahissants sur les Glorieuses, soit un ratio de 90,5% d'indigène. Il est à noter que 10 taxons soit près de la moitié sont des arbres, six sont des arbustes, trois des lianes et deux des herbes. Enfin, si les 21 taxons sont présents dans la zone 3.2 (front de végétation), seuls 13 d'entre eux le sont également dans la zone 3.1 (avant front).

3.1.1. Description de la flore littorale à l'échelle de l'île

De façon purement descriptive, sur l'ensemble de la végétation littorale, les cinq espèces les plus présentes en terme de recouvrement absolu (exprimé en mètre sur les 100 mètres du transect) sont : *S. taccada*, *S. maritima*, *H. foertherianum*, *C. subcordata* et *G. speciosa* (recouvrement total > 1000 mètres, tous transect confondus, pour les zones 3.1 et 3.2 confondues, Annexe 3). La répartition de ces cinq taxons sur le pourtour de l'île n'est cependant pas homogène (Figure 6) puisque les individus de *C. subcordata* et *G. speciosa* sont prépondérants dans la région Sud – Sud Est de l'île tandis que le reste du littoral est dominé par les trois autres taxons. Sur cette dernière portion, *S. taccada* est le taxon le plus recouvrant, hormis sur quelques transects au Nord Est où *H. foertherianum* le surpasse, tandis que *S. maritima* est présent selon des recouvrements intermédiaires. D'après cette première carte, il semblerait

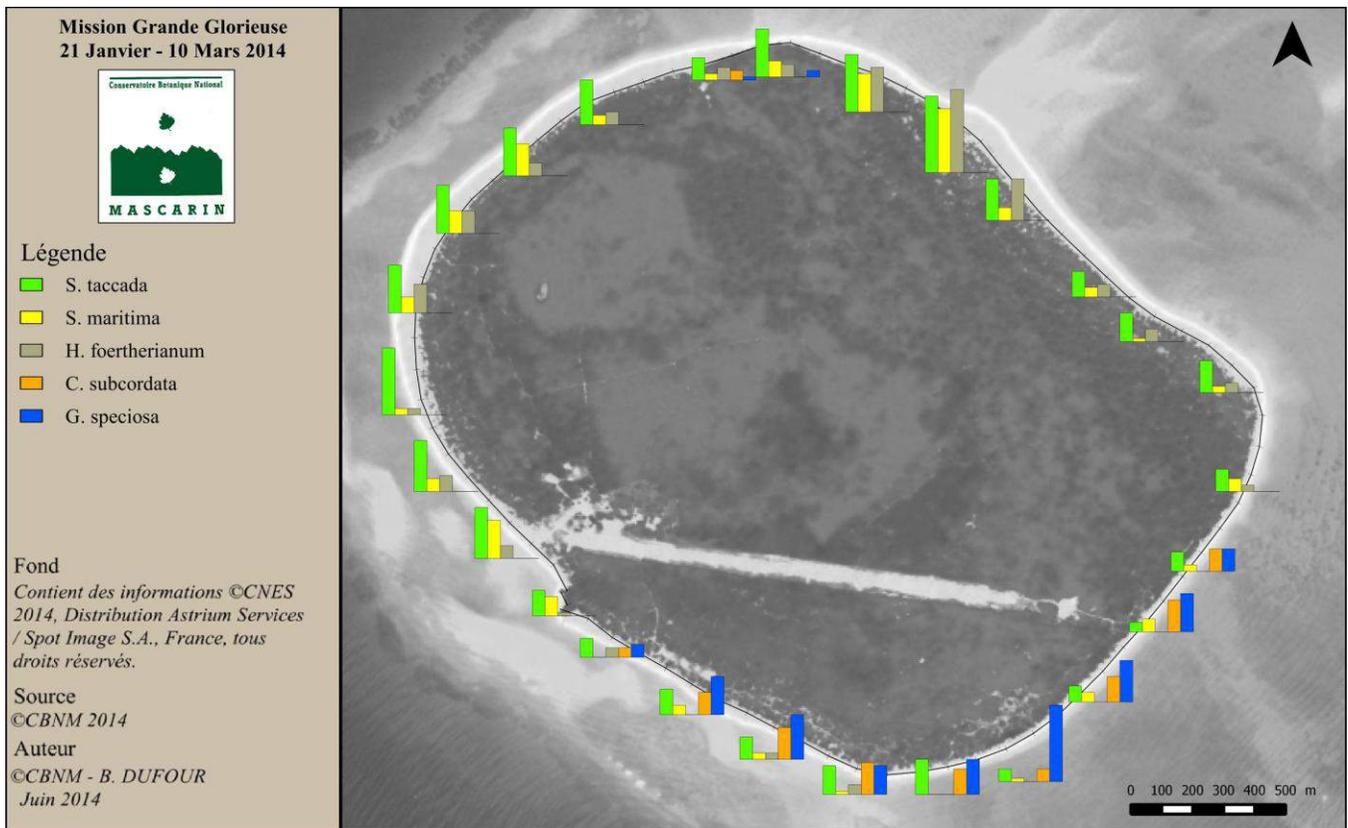


Figure 6. Carte globale de la répartition des 5 taxons les plus présents pour les zones 3.1 et 3.2 confondues (en terme de recouvrement, Annexe 2) sur le littoral de l'île de la Grande Glorieuse. Chaque histogramme correspond au recouvrement des espèces sur 300 mètres (3 transects jointifs de 100 mètres chacun), plus la barre est haute plus le recouvrement est important. Pour le détail des données utilisées, voir Annexe 4.

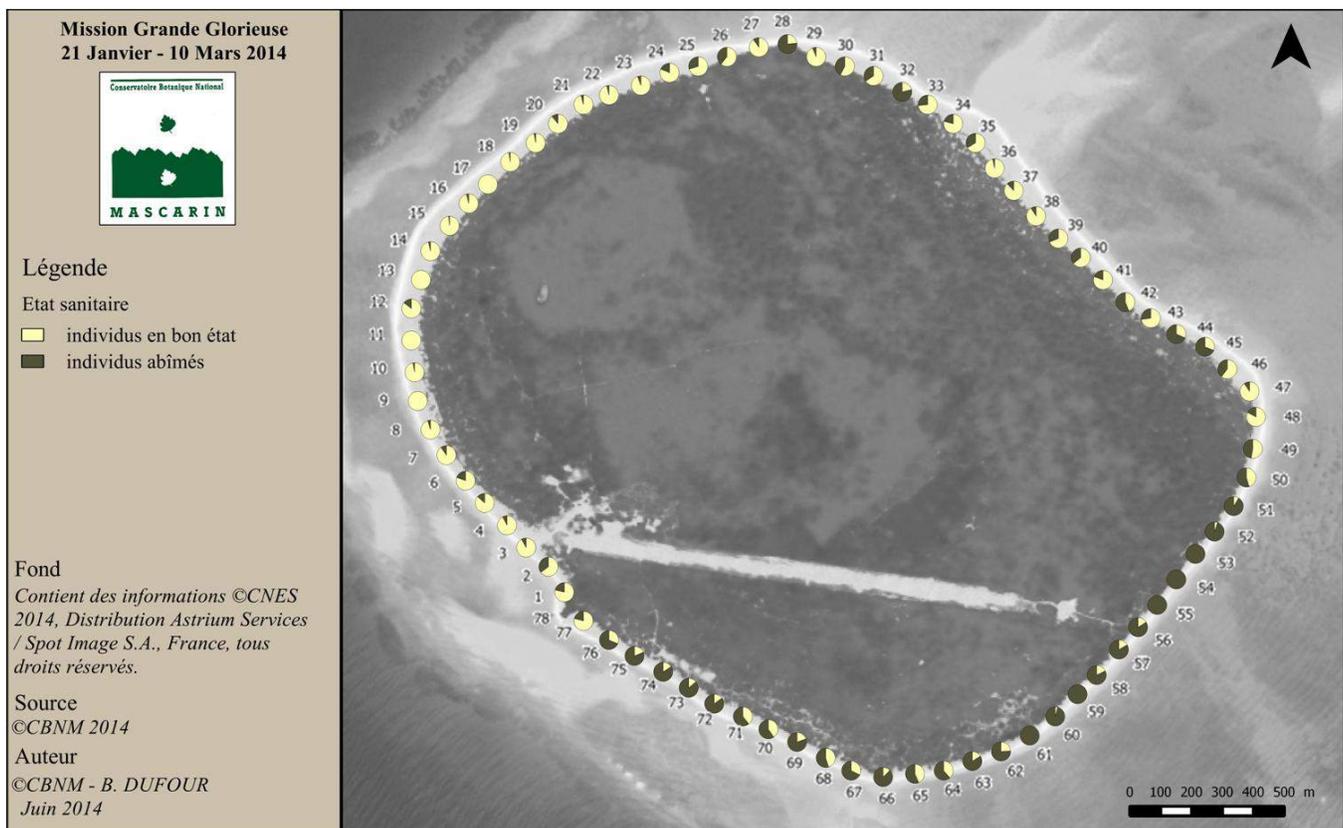


Figure 7. Carte représentant l'état sanitaire de la végétation littorale de l'île de la Grande Glorieuse, tous taxons confondus, par transect de 100 mètres de long pour les zones 3.1 et 3.2 regroupées. Pour le détail des données utilisées, voir Annexe 4.

donc que deux associations végétales se dessinent avec d'une part *S. taccada*, *S. maritima* et *H. foertherianum* et d'autre part *G. speciosa* et *C. subcordata*. Il est à noter le cas particulier de la pointe Nord où les 5 taxons sont représentés dans des proportions plus ou moins équivalentes.

On constate que l'état sanitaire de la végétation littorale, toutes espèces confondues n'est pas homogène non plus (Figure 7) puisque dans toute la zone Sud – Sud Est la plupart des individus sont abîmés, ainsi que sur la pointe Nord et une bonne partie de la plage Nord Est. Au contraire dans toute la zone Ouest - Nord Ouest la végétation littorale est principalement composée d'individus en bon état. Cette opposition entre le Nord Ouest d'une part et l'Est et le Sud d'autre part, se retrouve également au niveau des stades de développements, toutes espèces confondues (Figure 8), indice révélateur de la capacité de reproduction et de régénération de la flore (capacités respectives des adultes à produire des semences fonctionnelles et de la descendance à s'installer et à se maintenir). En effet, les individus non reproducteurs (juvéniles et grandes plantules) bien que peu nombreux de manière générale, semblent être plutôt concentrés sur la plage Ouest, des transects 1 à 25, tandis que le reste de l'île est principalement composé d'individus reproducteurs ne semblant pas capables de se régénérer.

3.1.2. Espèces indigènes

Sur les 21 taxons recensés sur l'ensemble du littoral, les 19 taxons considérés indigènes ont fait l'objet d'analyses portant sur leur répartition au sein des différents transect. Le taux de recouvrement relatif de chaque taxon (recouvrement du taxon / recouvrement végétal total) a été analysé pour les zones 3.1 (avant front) et 3.2 (front de végétation) prises séparément.

3.1.2.1. Composition de l'avant front (zone 3.1)

Les taxons rares (dont le taux de recouvrement moyen sur l'ensemble des transect est inférieur à 1%) ont été retirés des données avant de faire la classification hiérarchique ascendante des transect car ils avaient tendance à complexifier les résultats. Elle a donc porté, pour la zone 3.1, sur les 8 taxons restants et sur les 71 transects présentant une zone 3.1. Il a été choisi d'après les résultats de la CAH (Figure 9a) de séparer les transect en 5 groupes (Figure 9b et 9c). Cette classification met en évidence une opposition entre les taxons caractéristiques des groupes 1 et 5. En effet, sur les transects du groupe 1, les taxons scatac et helfoe sont surreprésentés tandis que les taxons corsub et guespe sont sous-représentés et au contraire sur les transects du groupe 5, les taxons corsub et guespe sont surreprésentés alors que le taxon scatac est sous représenté (Figure 9b). De plus, les transect du groupe 1, composés principalement des taxons scatac et helfoe, sont situés dans l'Ouest, le Nord Est et l'Est alors que les

Mission Grande Glorieuse
21 Janvier - 10 Mars 2014



Légende

Stades de développement

-  individus reproducteurs
-  individus non reproducteurs

Fond

Contient des informations ©CNES
2014, Distribution Astrium Services
/ Spot Image S.A., France, tous
droits réservés.

Source

©CBNM 2014

Auteur

©CBNM - B. DUFOUR
Juin 2014



Figure 8. Carte de représentant la répartition des stades de développement de la végétation littorale de l'île de la Grande Glorieuse, tous taxons confondus, par transect de 100 mètres de long, pour les zones 3.1 et 3.2 confondues. Pour le détail des données utilisées, voir Annexe 4.

transect des groupes 2 et 5, présentant majoritairement les taxons guespe et corsub sont plutôt concentrés dans la zone Sud – Sud Est, ce qui semble correspondre aux observations préliminaires faites à partir de la Figure 6. Enfin, les groupes 3 et 4 permettent de faire respectivement ressortir les transects sur lesquels les taxons ipopes et vigmar sont plus abondants que sur le reste des transects.

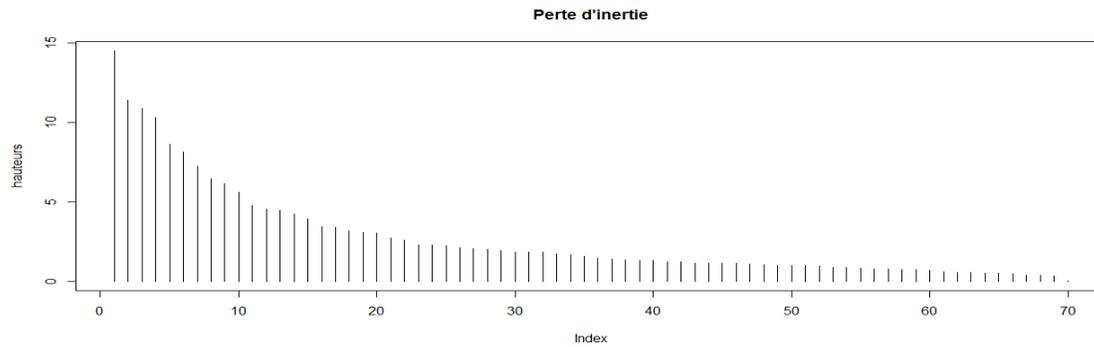
3.1.2.2. Composition du front de végétation (zone 3.2)

3.1.2.2.1. CAH comprenant toutes les espèces

La CAH réalisée pour la zone 3.2 a d'abord porté sur les 19 taxons indigènes et les 78 transects. Au vu des résultats de la CAH (Figure 10a) il a été choisi de séparer les transects en quatre groupes. Les groupes 3 et 4 font respectivement ressortir les deux transects 70 et 71 sur lesquels la plupart des taxons très rares (pour lesquels seuls un ou deux individus ont été observés sur le littoral) sont concentrés (Figure 10b). Les autres transects sont répartis entre les groupes 1 et 2 qui opposent à nouveau les taxons scatac, helfoe et surmar aux taxons guespe et corsub (Figure 10b). Tous les transects appartenant au groupe 2 sont composés principalement des taxons guespe et corsub, tandis que les taxons surmar, helfoe et scatac sont sous représentés. Ils sont situés dans la zone Sud – Sud Est (Figure 10 c). Au contraire, les transects appartenant au groupe 1 sur lesquels les taxons scatac, surmar et helfoe sont surreprésentés et les taxons guespe et corsub sont sous-représentés, sont situés dans l'Ouest, le Nord et l'Est (Figure 10c).

3.1.2.2.2. CAH comprenant seulement les espèces principales

Au cours de cette analyse, les taxons rares (dont le taux de recouvrement moyen sur l'ensemble des transect est inférieur à 1%) ont été retirés des données et la classification a été réitérée sur les 8 taxons restants et les 78 transects. Les résultats donnaient la possibilité de séparer les transect en 2 ou 8 groupes (Figure 11a). La classification en deux groupes indique les mêmes groupes que les deux premiers de la classification pratiquée sur toutes les espèces (Figure 10) et classe les transect 70 et 71 dans le deuxième groupe. Il a donc été choisi de séparer les transect en 8 groupes afin d'obtenir une classification plus fine. Il est alors possible d'observer que les groupes 1, 4, 6 et 7 appuient à nouveau l'opposition entre les taxons scatac, surmar, helfoe et corsub, guespe (Figure 11b). Les autres groupes font ressortir des taxons peu présents sur l'ensemble du littoral mais concentrés à certains endroits comme casfil pour le groupe 2 (transects 2, 23, 24 et 43), vigmar pour le groupe 5 (transects 46, 48 et 68) et pemaci pour le groupe 8 (transects 77 et 78 ; Figure 11b). Il est intéressant de noter que la zone Sud – Sud Est est principalement composée de transect appartenant aux groupes 6 ou 7 pour lesquels les taxons guespe et corsub sont



Groupe	Taxons caractéristiques du groupe	v.test	moyenne du groupe	moyenne de tous les transect	écart type du groupe	écart type de tous les transect	p.value	Nombre de transect dans le groupe
1	scatac	2.942	42.854	34.791	25.905	26.047	3.26E-03	40
	helfoe	2.728	16.005	10.520	21.063	19.107	6.36E-03	
	vigmar	-2.726	2.681	7.994	6.590	18.527	6.42E-03	
	casfil	-3.425	2.168	6.822	5.586	12.914	6.15E-04	
	corsub	-3.692	0.854	5.732	3.187	12.560	2.23E-04	
2	guespe	-4.234	2.355	13.455	9.515	24.916	2.30E-05	11
	casfil	7.020	32.127	6.822	12.685	12.914	2.21817E-12	
3	guespe	5.346	50.639	13.455	34.916	24.916	8.98515E-08	3
4	ipopes	8.072	42.075	1.813	11.120	8.765	6.90285E-16	7
5	vigmar	7.093	55.485	7.994	21.126	18.527	1.31501E-12	10
	corsub	7.342	32.956	5.732	12.999	12.560	2.09708E-13	
	guespe	2.305	30.407	13.455	14.916	24.916	0.02117946	
	scatac	-2.787	13.358	34.791	11.297	26.047	0.005312414	

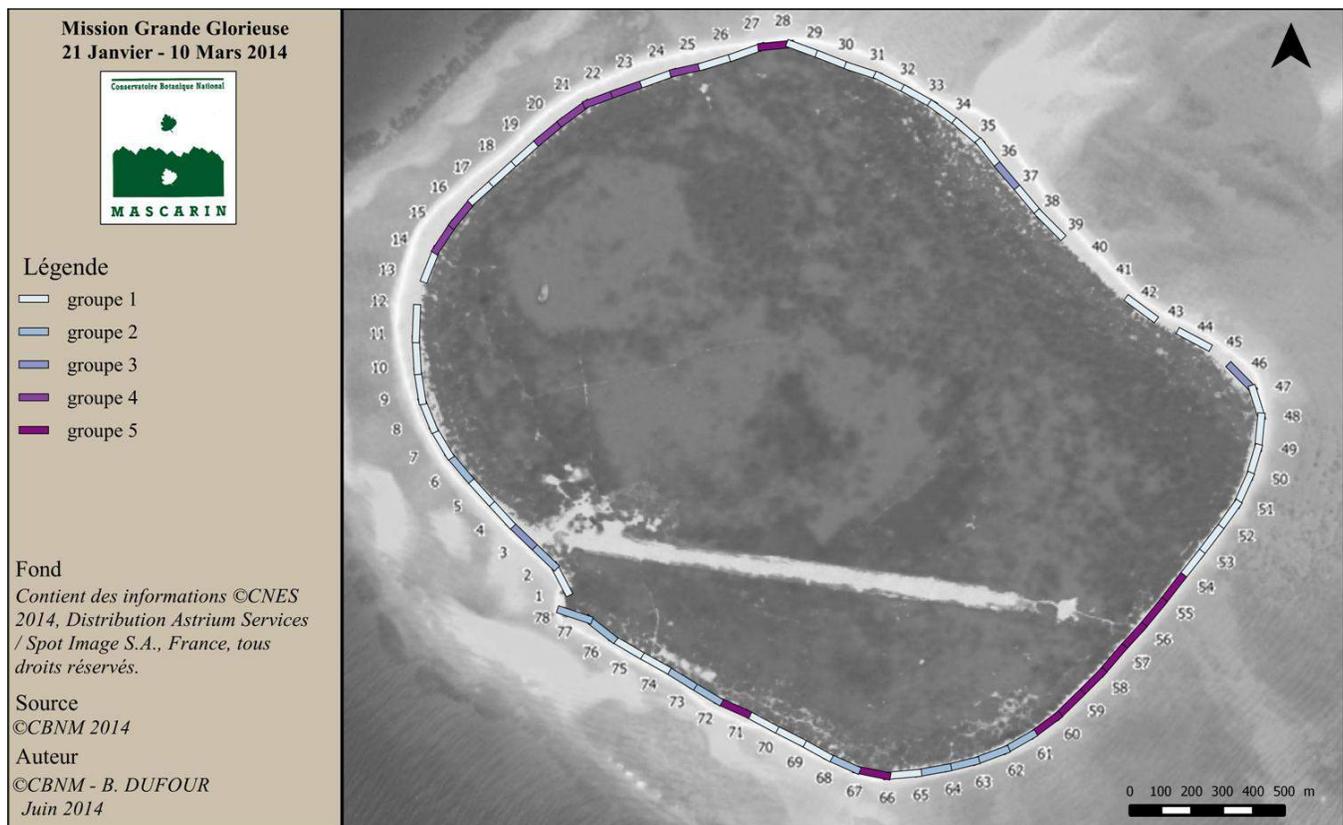


Figure 9. Résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique pratiquée sur 8 taxons indigènes et 71 transects pour la zone 3.1 (avant front) comprenant : l'histogramme des pertes d'inertie permettant le choix du nombre de groupe (a), le tableau récapitulatif des taxons caractéristiques de chaque groupe (b – les taxons surreprésentés dans chaque groupe sont mis en gras) et la carte de l'île de la Grande Glorieuse représentant les transects appartenant à chaque groupe dans l'espace (c). Lorsqu'aucune bande n'apparaît c'est que la zone 3.1 était inexistante sur le transect.

surreprésentés alors que les autres groupes, sur lesquels ces deux mêmes taxons sont souvent sous-représentés, se répartissent sur tout le reste de l'île (Figure 11c).

3.1.3. Espèces exotiques

3.1.3.1. Présence des taxons exotiques sur le littoral

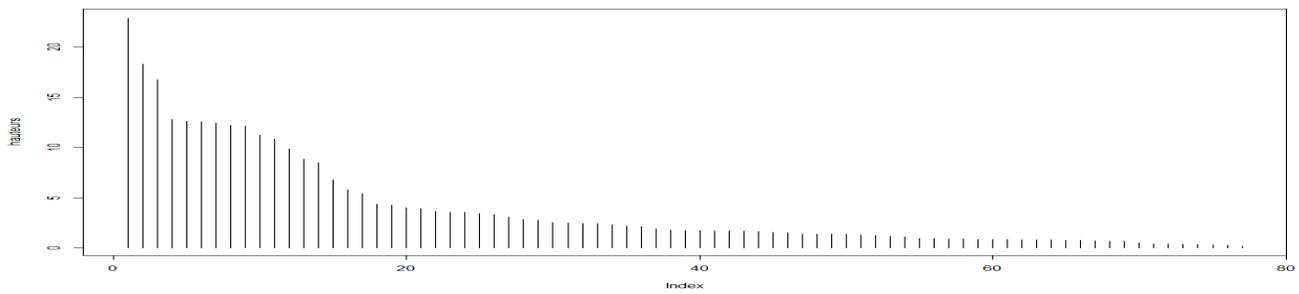
Sachant que sur l'ensemble du littoral, seuls 4 individus de *Cocos nucifera* ont été recensés, les résultats présentés dans ce paragraphe ne concernent que *Casuarina equisetifolia*.

3.1.3.1.1. Effectifs de *C. equisetifolia* par zone de végétation littorale

La densité de Filao selon la zone de végétation est représentée sur la Figure 12 (Histogrammes correspondant en Annexe 5). La lecture de la Figure 12 révèle que les filaos sont relativement peu installés en avant front (zone 3.1 où seuls 24 transects contiennent du Filao) et qu'ils y sont peu nombreux (entre 0 et 9 individus par transect). Leur présence et leur densité augmente à mesure que l'on recule dans le front de végétation (zone 3.2) puis en arrière front (zone 3.3). Il est ainsi possible d'identifier les zones strictement littorales les plus envahies en Filao comme la zone des transects 1 à 12, ou encore celles des transects 23 à 26 et 49 à 50. Au contraire, certaines zones littorales sont encore complètement exemptes de Filao (transects 32 à 35 et 57 à 78).

3.1.3.1.2. Dynamique d'invasion de *Casuarina equisetifolia*

Afin d'étudier la dynamique d'invasion du Filao, il est important d'identifier et de quantifier les zones de régénération (présence et proportions de juvéniles et de plantules) et de connaître la phénologie de la reproduction des individus adultes recensés. Sur l'ensemble des filaos adultes recensés sur le littoral, près de 65% des individus produisaient des fruits alors que 35% présentaient un stade végétatif. Ce résultat montre un potentiel de reproduction très important du Filao. D'autre part, il existe une proportion non négligeable de jeunes individus spontanés (28% de l'ensemble des individus recensés), preuve de la capacité effective de régénération de cette espèce exotique. La répartition de ces individus non reproducteurs par rapport aux individus reproducteurs (adultes) évaluée pour chaque transect est représentée sur la figure 13. Sur cette carte, il est possible d'identifier trois zones où la régénération est possible : dans l'Ouest (transects 1 à 10), au Nord Ouest (transects 15 à 24) et dans l'Est (transects 35, 36, 40 et 45 à 49). Ces zones représentent donc les espaces littoraux au sein desquels la régénération en Filao est la plus dynamique.



Groupe	Taxons caractéristiques du groupe	v.test	moyenne du groupe	moyenne de tous les transect	écart type du groupe	écart type de tous les transect	p.value	Nombre de transect dans le groupe
1	scatac	4.959	59.800	49.746	21.824	25.160	7.10E-07	52
	helfoe	4.534	30.219	21.825	23.566	22.976	5.80E-06	
	surmar	3.243	17.900	13.883	16.469	15.367	1.18E-03	
	soptom	-1.970	0.000	0.081	0.000	0.509	4.88E-02	
	casfil	-2.259	3.380	5.189	8.635	9.938	2.39E-02	
	corsub	-7.180	1.062	12.773	3.219	20.240	6.95E-13	
2	guespe	7.292	43.643	14.739	19.479	23.188	3.04893E-13	24
	corsub	6.232	34.335	12.773	19.255	20.240	4.60729E-10	
	surmar	-2.872	6.338	13.883	8.476	15.367	0.004074715	
	helfoe	-4.406	4.520	21.825	6.352	22.976	1.05234E-05	
3	scatac	-4.792	29.137	49.746	18.320	25.160	1.65168E-06	1
	hernym	8.775	1.000	0.013	NA	0.112	1.70958E-18	
	morcit	8.304	1.500	0.026	NA	0.178	1.00835E-16	
	tercat	8.014	5.500	0.102	NA	0.674	1.10983E-15	
	soptom	4.752	2.500	0.081	NA	0.509	2.01226E-06	
	colasi	4.442	1.000	0.034	NA	0.217	8.89244E-06	
4	corsub	2.037	54.000	12.773	NA	20.240	0.04166011	1
	calino	1.973	1.500	0.098	NA	0.710	0.04846806	
	ipovio	8.775	1.087	0.014	NA	0.122	1.70958E-18	
	soptom	7.314	3.804	0.081	NA	0.509	2.58478E-13	
	casfil	3.087	35.870	5.189	NA	9.938	0.002020325	
	corsub	2.484	63.043	12.773	NA	20.240	0.01300203	



Figure 10. Résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique pratiquée sur 19 taxons indigènes et 78 transects pour la zone 3.2 (front de végétation) comprenant : l’histogramme des pertes d’inertie permettant le choix du nombre de groupe (a), le tableau récapitulatif des taxons caractéristiques de chaque groupe (b – les taxons surreprésentés dans chaque groupe sont mis en gras) et la carte de l’île de la Grande Glorieuse représentant les transects appartenant à chaque groupe dans l’espace (c).

3.1.3.1.3. Influence du Filao sur le recouvrement végétal indigène

Les résultats des tests de Spearman portant sur le nombre d'individu de Filao et le recouvrement végétal pour la même zone (Tableau 5) montrent une forte corrélation négative au niveau du front de végétation (zone 3.2) mais la corrélation n'est pas significative pour la zone d'avant front. Cette corrélation négative pour la zone de front de végétation indique que plus le Filao est abondant, moins le recouvrement végétal est important, ce qui tend donc à montrer un phénomène d'exclusion par le Filao.

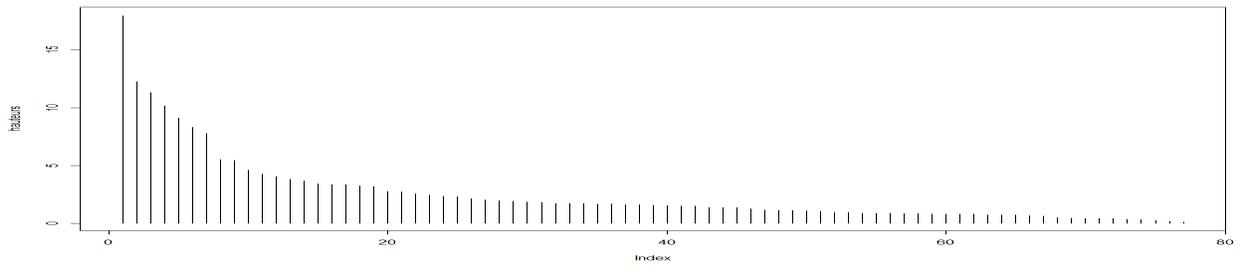
3.1.3.2. Présence des taxons exotiques en adlittoral

Afin d'estimer le potentiel d'invasion au gré du temps du Filao et du Cocotier sur la végétation strictement littorale, la répartition de ces 2 taxons au sein des zones ad littorales a été étudiée.

La présence de *C. equisetifolia* (en rouge) et *C. nucifera* (en bleu) en adlittoral est représentée sur la Figure 14. Il est possible de distinguer cinq régions où le Filao est présent dès la zone 3.4 : le transect 1, les transects 3 à 22, le transect 30, les transects 39 à 54 et 57 à 59. Il est également présent uniquement dans la zone 3.5 dans trois régions : des transects 31 à 38, 55 à 56 et 76 à 78. Le Cocotier, lui, est uniquement présent en ad littoral, dès la zone 3.4, au Nord, sur les transect 25 à 29 ce qui correspond à la limite Nord de la Cocoteraie interne. Enfin, il est possible d'identifier trois zones où aucune des deux espèces n'est présente en ad littoral : le transect 2 et la zone des transect 23 et 24, qui correspondent respectivement à la zone de vie et la zone d'embarcadère, deux zones anthropisées et entretenues par l'armée. Cette absence d'espèces exotique n'a donc aucun sens biologique à ces endroits puisqu'elle est due à l'activité humaine, contrairement à la région Sud, des transect 60 à 75, où aucune des deux espèces exotiques n'est présente.

3.2. Facteurs influençant le choix du site de ponte par les tortues vertes

Les points correspondant aux traces et pontes observées et utilisées au cours de cette étude sont représentés sur la Figure 15. Cette carte permet de mettre en évidence deux zones où aucune trace n'a été observée durant les 45 jours de relevés. Ces deux zones se situent dans le Nord Est sur les transects 27 à 30 et 33 à 36 (les transects 33 et 34 présentant quelques demi-tour sans tentative de ponte). Il est également possible d'identifier une zone dans le Sud Est (des transects 50 à 60) où le nombre de demi-tour semble être bien plus important que sur le reste de l'île. Ce jeu de données est composé de 665 traces de tortues, sur lesquelles 405 trous de ponte, 228 trous sans ponte et 194 demi tour sans tentative de ponte ont été observés.



Groupe	Taxons caractéristiques du groupe	v.test	moyenne du groupe	moyenne de tous les transect	écart type du groupe	écart type de tous les transect	p.value	Nombre de transect dans le groupe
1	scatac	5.397261	74.4369623	49.746479	15.8242896	25.160475	6.77E-08	22
	casfil	-2.601604	0.4882286	5.189038	1.3525007	9.937888	9.28E-03	
	corsub	-3.019689	1.6609212	12.773328	4.0036257	20.239914	2.53E-03	
	guespe	-3.396336	0.4199605	14.738702	1.9245007	23.187656	6.83E-04	
2	casfil	5.424248	31.6115534	5.189038	2.9976514	9.937888	5.82E-08	4
3	surmar	7.120152	50.7665596	13.883447	11.1612683	15.366664	1.08E-12	8
4	helfoe	7.017672	59.4822598	21.825403	17.4911407	22.975857	2.26E-12	15
	casfil	-2.043224	0.4467354	5.189038	1.6715308	9.937888	4.10E-02	
	corsub	-2.438427	1.246822	12.773328	3.2737426	20.239914	1.48E-02	
	guespe	-2.721593	0	14.738702	0	23.187656	6.50E-03	
5	vigmar	7.971294	16.817734	1.080171	3.1382777	3.464846	1.57E-15	3
6	guespe	6.159928	48.0976032	14.738702	18.3192619	23.187656	7.28E-10	15
	corsub	2.74801	25.7632431	12.773328	17.2567455	20.239914	6.00E-03	
	helfoe	-3.404554	3.5565496	21.825403	4.8423869	22.975857	6.63E-04	
	scatac	-4.070419	25.8277958	49.746479	14.8960881	25.160475	4.69E-05	
7	corsub	6.209238	52.4289655	12.773328	10.8891158	20.239914	5.32E-10	9
	casfil	4.32777	18.7601725	5.189038	12.437542	9.937888	1.51E-05	
	guespe	2.850975	35.5984056	14.738702	16.2180574	23.187656	4.36E-03	
	surmar	-2.835308	0.1355014	13.883447	0.3832557	15.366664	4.58E-03	
8	pemaci	8.359465	78.2828283	2.218	21.7171717	12.95266	6.30E-17	2
	scatac	-2.63543	3.164625	49.746479	2.154524	25.160475	8.40E-03	



Figure 11. Résultats de la Classification Ascendante Hiérarchique pratiquée sur 8 taxons indigènes et 78 transects pour la zone 3.2 (front de végétation) comprenant : l’histogramme des pertes d’inertie permettant le choix du nombre de groupe (a), le tableau récapitulatif des taxons caractéristiques de chaque groupe (b – les taxons surreprésentés dans chaque groupe sont mis en gras) et la carte de l’île de la Grande Glorieuse représentant les transects appartenant à chaque groupe dans l’espace (c).

Les résultats des tests de corrélation effectués entre les données concernant les tortues et les données quantitatives concernant la flore et les paramètres abiotiques sont présentés dans le Tableau 6. Tout d'abord, une corrélation positive hautement significative entre l'orientation de l'océan et les 3 variables tortues apparait. Ainsi, l'orientation ayant été prise avec une boussole à 360°, les transects où l'orientation est la plus élevée (le maximum correspondant au Nord) correspondent à ceux où il y a une fréquentation et un succès de ponte plus important. Il s'agit notamment des transects effectués au Nord-Ouest de la Grande Glorieuse. On observe également une corrélation positive entre la longueur de l'avant front (zone de plage plus ou moins végétalisée et non régulièrement recouverte par l'océan) et le nombre de ponte d'une part et le nombre de trou par trace d'autre part. Ces deux dernières variables sont également corrélées négativement avec le recouvrement végétal de la zone 3.1, ce qui signifie que les plus le recouvrement végétal est important moins les tortues pondent. Enfin, l'abondance des filaos est corrélée positivement avec le nombre de ponte et avec le nombre de trou par trace quelle que soit la zone (3.1 et 3.2) et avec le nombre de trace en 3.1.

En ce qui concerne les données qualitatives, pour lesquelles la corrélation avec les données de tortue a été testée par des ANOVA, aucune corrélation entre les pentes de la plage et les variables concernant les tortues n'est significative (Tableau 7). Par contre, une corrélation forte existe entre le nombre de ponte et les groupes de composition floristique déterminés lors des CAH pour les zones 3.1 d'une part et 3.2 d'autre part. Enfin, le nombre de trou par trace présente une légère corrélation avec les groupes de flore formés pour la zone 3.2. Ces résultats signifient que la composition spécifique du front de végétation et de l'avant front a un impact à la fois sur la fréquentation des plages par les tortues mais aussi sur l'efficacité et la facilité de la tortue à choisir un lieu idéal pour creuser son nid.

4. Discussion

4.1. Flore littorale des Glorieuses

4.1.1. Remarques générales sur la flore littorale de la Grande Glorieuse

La diversité spécifique du littoral de la Grande Glorieuse est relativement faible puisque seuls 21 taxons ont été recensés sur l'ensemble du littoral de l'île. Ce résultat n'est cependant pas étonnant puisque la végétation littorale est composée d'espèces hautement spécialisées et très adaptées aux conditions de vie difficile et donc peu nombreuses. De plus, [Boullet \(2005\)](#) a montré dans ses relevés de végétation que la flore globale de la Grande Glorieuse est relativement pauvre en termes de diversité spécifique (117 taxons recensés) mais présente une forte diversité en termes de systèmes de végétation.



Figure 12. Carte des effectifs de *C. equisetifolia* selon la zone de végétation littorale sur l'île de la Grande Glorieuse. La bande la plus à l'extérieur représente la zone 3.1 (avant front), la bande du milieu représente la zone 3.2 (front de végétation) et la bande à l'intérieur représente la zone 3.3 (arrière front). Histogrammes correspondants en Annexe 5.



Figure 13. Carte de répartition des stades de développement de *C. equisetifolia* sur le tour de l'île de la Grande Glorieuse.

Il est à noter que le ratio indigène sur exotique est très bon (sur 21 taxons recensés, seules 2 sont des exotiques soit une proportion de 90,5% d'indigènes). Cette nette prépondérance de taxons indigènes conforte l'idée que les espèces végétales nécessitent de développer certaines adaptations physiologiques pour survivre sur le littoral. Cependant, ces deux espèces exotiques, le Filao et le Cocotier, sont considérées comme envahissantes à l'échelle de l'archipel des Glorieuses (CBNM, 2013). Ce caractère invasif est en effet avéré au sein des végétations intérieures de l'île principale mais il nous semblait judicieux à travers cette étude de préciser leur potentiel invasif en particulier au sein de la zone strictement littorale où les conditions sont nettement plus contraignantes.

Sur l'ensemble des taxons recensés, près de la moitié (10/21) sont des arbres (soit des végétaux pouvant dépasser les 7 m de haut), résultat étonnant de prime abord car il est généralement entendu que les végétations littorales présentent une stratification verticale assez peu marquée (Karavas et al., 2005). Cette observation permet de supposer que certains des systèmes étudiés sont relativement évolués en termes de dynamique de végétation et qu'il s'agit fort probablement d'arbres installés depuis longtemps.

L'apparente dominance en termes de recouvrement de *S. taccada*, et de *S. maritima* par rapport à *H. foertherianum* peut être expliquée par nos observations de terrain relatives au fait que *S. taccada* et *S. maritima* présentent une bonne capacité de régénération (nombreuses plantules sous une forte proportion de semenciers) contrairement à *H. foertherianum*.

D'autre part, il est important de noter que sur les 21 taxons recensés, seuls 13 sont présents dans la zone 3.1. Il s'agit très probablement des taxons les plus adaptés aux conditions de vie sur le littoral strict. En effet, les 8 taxons absents de cette zone correspondent à des taxons rares sur le littoral strict et installés 'accidentellement' sur le front de végétation au bénéfice de sa protection végétale mais ne pouvant résister aux conditions encore plus extrêmes de l'avant front. Leur origine est soit intérieure (cas par exemple de *F. grevei*, *P. grandis* ou *I. violacea*, des espèces indigènes poussant préférentiellement sur des secteurs peu soumis à la salinité mais qui peuvent exceptionnellement se retrouver en position littorale) soit extérieure à l'île (cas par exemple de *H. nymphaeifolia* et de *M. citrifolia*) dont des semences sont probablement arrivées via les courants océaniques au sein des laves de mer et qui pour s'installer ont dû sauter le talus dunaire afin de se retrouver dans des conditions propices à leur germination et à leur développement rencontrées uniquement au sein du front de végétation.

4.1.2. Profil d'érosion asymétrique

Les résultats liés aux états sanitaires et aux processus de régénération montrent clairement une érosion asymétrique de l'île avec d'une part le secteur Sud soumis à une très forte érosion des plages et

Tableau 5. Résultats des tests de corrélation (méthode de Spearman) effectués entre les effectifs de Filao d'une part et le recouvrement végétal d'autre part au sein des zones 3.1 (avant front) et 3.2 (front de végétation) d'après les données relevées sur l'île de la Grande Glorieuse. La significativité de la corrélation est indiquée dans la première colonne selon l'échelle suivante :

NS : $p.value > 0,05$ / * : $0,05 > p.value > 0,01$ / ** : $0,01 > p.value > 0,001$ / *** : $0,001 > p.value$

Le coefficient de corrélation ou R^2 est indiqué dans la deuxième colonne.

	zone 3.1	zone 3.2
significativité	NS	***
R^2	0.1567	-0.3708



Figure 14. Présence / absence des taxons exotiques *Cocos nucifera* et *Casuarina equisetifolia* en adlittoral sur l'île de la Grande Glorieuse. L'ad littoral est découpé en deux zones : la zone 3.4 correspondant à l'ad littoral immédiat (environ 10 mètres après le front de végétation) et la zone 3.5 correspondant à l'ad littoral éloigné (une dizaine de mètres après le début de la zone 3.4).

de la végétation qui s'y trouve et présentant très peu de régénération, et d'autre part les secteurs Ouest, Nord et Est peu soumis à cette érosion et présentant des zones de régénération effective importantes.

De plus, les résultats traitant de la composition floristique de la zone d'avant front (3.1) correspondent à deux dynamiques opposées. Dans l'Ouest, une grande partie du Nord et l'Est, la zone 3.1 est large et peu soumise à l'influence directe du vent et de la houle, elle constitue ainsi une zone de régénération et de colonisation pour les espèces indigènes qui ont tendance à progresser vers la mer (dynamique progressive). Au contraire dans la partie Sud, cette zone 3.1 est très érodée et ne réside plus que dans le talus dunaire, instable et régulièrement rongé par l'océan, présent juste devant le front de végétation, lui-même installé sur une pente faible. Les végétaux présents sur ce talus correspondent à des individus matures dont la plupart sont déchaussés (dynamique régressive).

Ces profils d'érosion très différents entre le secteur Sud et tout le reste de l'île peuvent être facilement expliqués par l'orientation des courants océaniques et des vents dominants observés autour des Glorieuses. En effet, l'archipel des Glorieuses est soumis 9 mois sur 12 à des vents de Sud-Est faisant naître une forte houle qui vient battre le secteur Sud de l'île de la Grande Glorieuse. Au contraire, la partie Nord Ouest de l'île, sous le vent des alizés, est protégée de cette houle dominante. Cette dernière a tendance à contourner l'île par le Nord Ouest, emportant avec elle le sable des plages du Sud qui va s'accumuler en larges bandes dans le lagon au Nord Est de l'île (Battistini et al., 1976). Ces observations datant d'il y a près de 40 ans sont encore valables aujourd'hui puisqu'il nous a été possible d'observer de très grandes bandes sableuses découvertes à marées basse, dans la partie Nord Est de l'île, secteur où les largeurs de plage les plus importantes ont été relevées.

4.1.3. Composition de la flore littorale en espèces indigènes

L'étude menée ici ne constitue pas un relevé phytosociologique à proprement parler mais il a été possible de mettre en évidence des associations entre espèces sur des zones précises. Ce travail vient affiner les travaux de Boulet (2005) sur les relevés de végétation naturelle et semi-naturelle qui ont permis d'identifier 10 systèmes de végétation sur la Grande Glorieuse : 7 correspondent au groupe intérieur tandis que 3 sont rattachés au groupe littoral. Parmi ces derniers, 2 permettent de rattacher nos propres observations : le système littoral sableux, variable et diversifié selon la morphologie et la dynamique des plages, qui occupe la quasi-totalité des rivages de la Grande Glorieuse (concerne 76 transects sur 78) et le système littoral sur calcaire corallien, limité aux affleurements de calcaires coralliens du Sud Ouest (concerne les transects 77 et 78). Le système littoral sur galets coralliens ne peut être rattaché à nos relevés car il correspond à une formation uniquement observée sur l'île aux Crabes

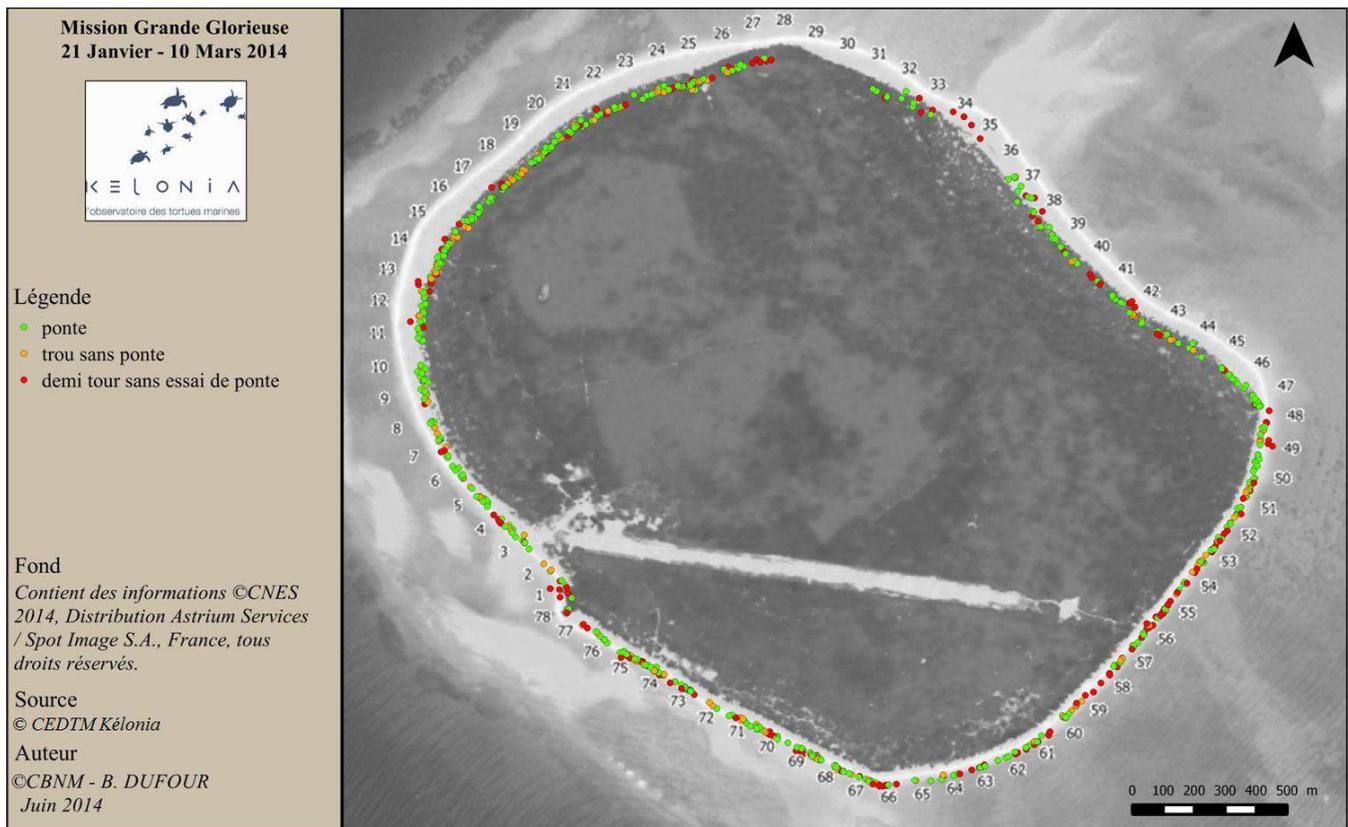


Figure 15. Représentation des points GPS relevés pour calculer les variables liées aux tortues.

Tableau 6. Résultats des tests de corrélation (méthode de Spearman) effectués entre les variables « tortues » d'une part et les variables quantitatives de flore et de paramètres abiotiques d'autre part d'après les données relevées sur l'île de la Grande Glorieuse. La significativité de la corrélation est indiquée dans la première colonne selon l'échelle suivante :

NS : p.value > 0,05 / * : 0,05 > p.value > 0,01 / ** : 0,01 > p.value > 0,001 / *** : 0,001 > p.value

Le coefficient de corrélation ou R² est indiqué dans la deuxième colonne.

	Nombre de trace		Nombre de ponte		Nombre de trou / trace	
	p.value	R ²	p.value	R ²	p.value	R ²
Orientation de l'océan	**	0.288	**	0.352	***	0.356
Largeur du talus	NS	0.204	NS	-0.006	NS	-0.095
Hauteur du talus	NS	-0.046	NS	-0.127	NS	-0.113
Largeur de la plage	NS	0.056	**	0.328	**	0.316
Recouvrement beach rock	NS	-0.125	NS	-0.167	NS	0.029
Recouvrement platier corallien	NS	-0.083	NS	-0.045	NS	0.079
Recouvrement bois mort	NS	-0.083	*	-0.231	*	-0.269
Recouvrement végétal en 3.1	NS	-0.201	**	-0.334	***	-0.424
Recouvrement végétal en 3.2	NS	0.084	NS	0.129	NS	-0.026
Nombre de filao en 3.1	*	0.237	*	0.219	*	0.232
Nombre de filao en 3.2	NS	0.198	**	0.285	**	0.323
Nombre de filao en 3.3	NS	0.153	**	0.309	**	0.301

(hors zone d'étude). La description de la flore littorale présentée au cours de cette étude et les analyses (CAH) qui en découlent permettent donc d'affiner la composition de ces 2 systèmes de végétation littorale en décrivant notamment la répartition géographique hétérogène des taxons qui le compose.

Cette hétérogénéité floristique se retrouve en effet tant au niveau de la composition floristique (résultats des CAH) que de l'état sanitaire et des stades de développement. Tous les résultats que ce soit sur les zones 3.1 et 3.2 prises séparément, ou les deux ensembles, ont montré une forte opposition entre la zone Sud – Sud Est - flore très abîmée, composée principalement de *G. speciosa* et de *C. subcordata* et présentant une faible capacité de régénération –et le reste de l'île, recouvert majoritairement par les taxons *S. taccada*, *S. maritima* et *H. foertherianum*, dont les individus présentent globalement un bon état sanitaire, et où certaines zones montrent une régénération effective. Face à cette opposition flagrante, deux théories complémentaires peuvent être formulées :

La première serait que l'installation et la répartition des espèces a été conditionnée par des paramètres abiotiques comme le vent et les courants marins. En effet, les plages du Sud sont beaucoup plus exposées à la houle et aux vents dominants qui entraînent un fort processus d'érosion littorale. Il est possible que seuls des taxons robustes comme *G. speciosa* et *C. subcordata* aient réussi à coloniser cette zone et à s'installer durablement, tandis que les taxons plus fragiles comme *S. taccada*, *S. maritima* et *H. foertherianum* ont profité des plages plus abritées pour s'installer majoritairement.

La seconde théorie est étayée par un jeu de données relevé au cours de la même mission mais non exploité ici. Il s'agit de transect adlittoraux de 50 mètres effectués tous les 100 mètres sur l'ensemble du littoral (à chaque début de transect littoral), de manière perpendiculaire au front de végétation et allant vers l'intérieur de l'île à partir des premiers végétaux rencontrés sur la plage. Ce jeu de données a permis d'observer que dans l'Ouest, le Nord-Ouest et l'Est, *G. speciosa* et *C. subcordata* sont régulièrement présents en position adlittorale et qu'ils sont généralement positionnés juste en avant ou en mosaïque avec des pelouses ouvertes. Cette configuration correspond tout à fait à ce qui est observé dans le Sud et le Sud Est de l'île, à la différence près que *G. speciosa* et *C. subcordata* se retrouvent en position strictement littorale. Il serait donc possible d'émettre l'hypothèse que ces littoraux furent anciennement structurés de la même façon que ceux de l'Ouest, du Nord-Ouest et de l'Est avec une prédominance des formations végétales buissonnantes à *S. taccada*, *S. maritima* et *H. foertherianum* en littoral immédiat et la présence de *G. speciosa* et *C. subcordata* en adlittoral, mais que la forte érosion sur ce secteur ait au fil du temps grignoté la première bande littorale plaçant aujourd'hui les fourrés arborés à *G. speciosa* et à *C. subcordata* en position littorale (phénomène de dynamique régressive).

Tableau 7. Résultats des ANOVA effectuées entre les variables « tortues » d'une part et les variables qualitatives de paramètres abiotiques (pente de la plage et du talu) et floristiques (groupes issus des CAH sur les espèces principales) d'autre part d'après les données relevées sur l'île de la Grande Glorieuse. La significativité de la corrélation est indiquée selon l'échelle suivante :

NS : p.value > 0,05 / * : 0,05 > p.value > 0,01 / ** : 0,01 > p.value > 0,001 / *** : 0,001 > p.value

	Nombre de trace	Nombre de ponte	Nombre de trou / trace
Pente de la plage	NS	NS	NS
Pente du talus	NS	NS	NS
Groupes de végétation zone 3.1	NS	***	NS
Groupes de végétation zone 3.2	NS	**	*

Quelle que soit l'explication, il est certain qu'il existe un lien entre la très forte érosion du Sud et la présence principalement à cet endroit des taxons *G. speciosa* et *C. subcordata* sur la zone littorale. Ce lien est confirmé par le cas particulier de la pointe Nord, seule zone en dehors du Sud à être très érodée et à présenter dans un même temps des individus de *G. speciosa*, *C. subcordata*, *S. taccada*, *S. maritima* et *H. foertherianum* dans des proportions relativement équilibrées. De plus, aucune régénération n'a été observée à cet endroit alors que juste un peu plus loin à l'Est et à l'Ouest un nombre conséquent d'individus non reproducteurs ont été recensés. La végétation très localisée de cette pointe Nord serait donc, de la même façon que dans le Sud, érodée par les forts courants et en train de reculer. Au vu de la proportion non négligeable des espèces buissonnantes, on peut supposer que ce phénomène de dynamique régressive locale est relativement jeune dans le temps et/ou moins impactant que dans le Sud. Cependant, la différence avec le Sud réside dans le fait que la zone adlittorale est constituée dans le Nord par la limite de la Cocoteraie artificielle, rendant impossible tout processus d'adaptation de la végétation indigène tel que le recul de la végétation littorale. On peut donc supposer que cette dernière sera localement vouée à disparaître si l'érosion continue.

Ces arguments pourraient être affinés en s'intéressant à l'histoire de l'île et à l'évolution de la végétation au cours du temps. Malheureusement aucun ouvrage ancien parlant de la flore des Glorieuses n'a pu être déniché, ni même des photographies aériennes suffisamment anciennes et précises pour effectuer des comparaisons avec celles actuelles.

Il semble important de noter que les analyses en CAH font ressortir des groupes de transects caractérisés par des espèces peu présentes sur l'ensemble du littoral. Il s'agit d'espèces qui sont très localisées et pour lesquelles le recouvrement sur quelques transects est très important alors qu'il est quasi nul sur la majorité des transects. On peut prendre comme exemple *V. marina*, une herbacée indigène lianescente très peu présente sur l'ensemble du littoral mais qui peut localement être très recouvrante malgré des effectifs réduits compte tenu de son mode de croissance et d'occupation du sol. Autre exemple, *P. acidula* ressort uniquement sur les transects 77 et 78. En effet, il s'agit du seul endroit de l'île présentant un substrat de type karstique (le reste du littoral étant sableux) répondant aux exigences écologiques de cette espèce. Ce résultat explique également la forte prépondérance sur le reste de l'île de *S. maritima*, espèce relativement proche de *P. acidula* mais qui nécessite un substratum sableux.

Les transects 70 et 71 ressortent également très nettement lors de la CAH réalisée sur 4 groupes au niveau de la zone 3.2 puisque c'est à cet endroit que sont concentrés la plupart des taxons très rares recensés sur le littoral (citons par exemple *H. nymphaeifolia*, *S. tomentosa*, *M. citrifolia* ou encore *T.*

catappa). Il est possible d'expliquer ce résultat par le biais des processus de colonisation naturelle de semences transportées par l'océan. Il s'agirait en effet d'une zone très favorable à l'installation de semences provenant de laisses de mer puisque le front de végétation est riche mais pas très dense (présence de niches écologiques vacantes) et qu'il se situe dans une cuvette en arrière d'un léger talus dunaire fournissant localement une protection optimale pour l'installation et le développement de jeunes individus (observations de terrain) dont les semences ont réussi à sauter le talus dunaire à la faveur des vagues. Il a d'ailleurs été possible d'y observer la présence d'un grand nombre de germinations dont certains taxons encore non répertoriés sur les Glorieuses (*Mucuna* sp.2 par exemple).

4.1.4. Cas des deux taxons exotiques

La description de la présence du Filao et du Cocotier depuis le littoral jusqu'en adlittoral permet tout d'abord de constater que leur dynamique de propagation semble aller de l'intérieur de l'île vers les zones littorales, ce qui confirmerait leur caractère exotique. En effet, l'analyse des abondances relatives à ces 2 taxons montrent qu'elles sont nettement plus élevées en position interne de l'île que sur le littoral. Ce constat est appuyé par quelques faits historiques et diverses observations de terrain : introduction et exploitation avérées du Cocotier sur la Grande Glorieuse à partir de 1885 jusqu'en 1958, indices montrant que le Filao a très certainement été favorisé par l'Homme (individus plantés en alignement) en vue notamment de lutter contre l'érosion des systèmes dunaires internes de l'Est soumis à l'érosion éolienne et ainsi protéger la cuvette centrale occupée par la cocoteraie, absence du Filao sur l'île du Lys et présence d'un unique Cocotier. Enfin, [Hivert & al \(2013\)](#) ont précisé dans le cas d'une étude portant sur la biogéographie et l'écologie du Filao sur Europa que ce taxon devait très probablement être considéré comme exotique au sein de l'ensemble des territoires de l'Ouest de l'Océan Indien. L'ensemble ces observations indiquent clairement que ces 2 taxons ne sont probablement pas arrivés naturellement sur la Grande Glorieuse (ou, dans le cas du Filao, arrivée éventuelle via l'océan mais depuis un territoire où le taxon n'était pas présent naturellement) et qu'ils ont en tout cas été favorisés par l'Homme. Ils peuvent par conséquent être considérés comme exotiques à l'échelle de l'archipel des Glorieuses.

Il est à noter que le Cocotier, quasi inexistant sur le littoral strict malgré l'observation régulière de semences au sein des laisses de mer, semble présenter des capacités d'invasion très limitées voir nulles sur le littoral.

Le Filao, lui aussi est encore très peu présent et peu abondant sur le littoral strict, ce qui témoigne que sa propagation dans cette zone écologique est relativement récente et sûrement pas maximale.

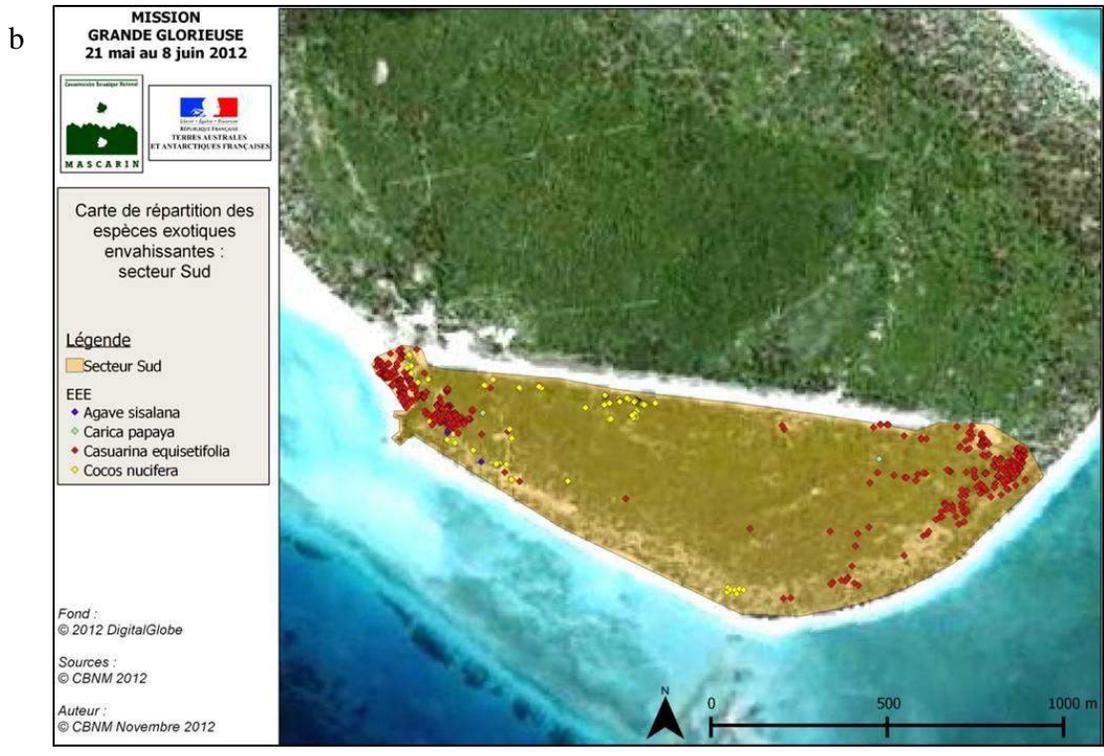
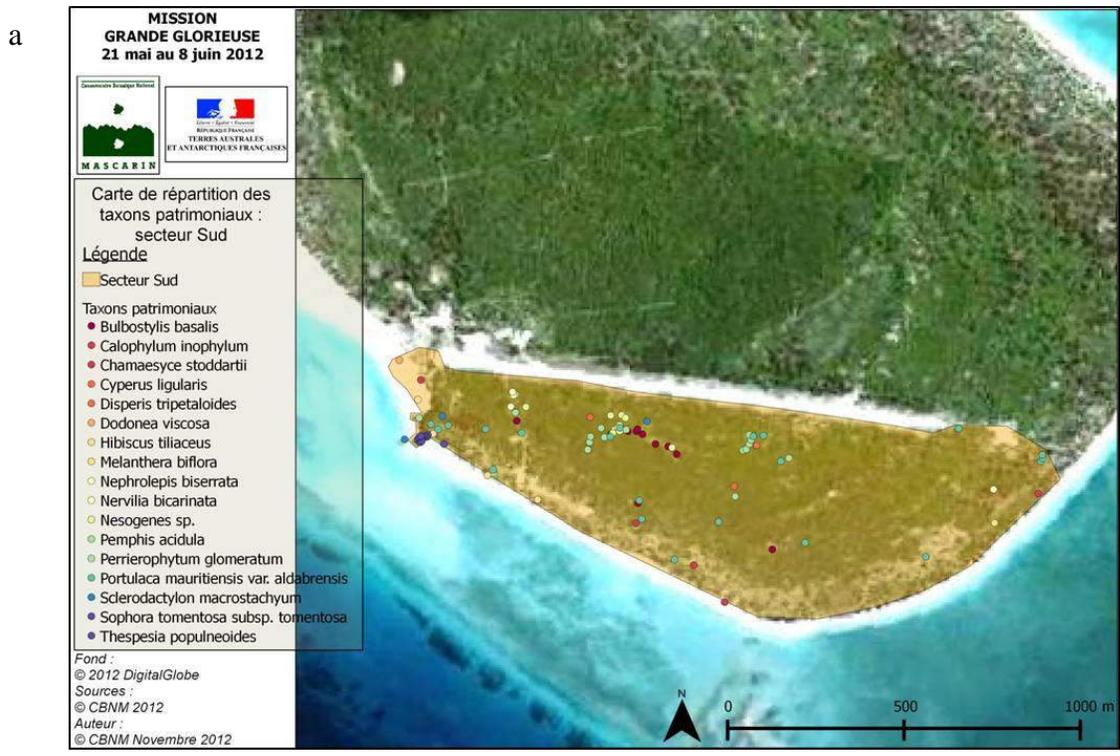


Figure 16. Cartes de cartographies du secteur Sud de la Grande Glorieuse (a : secteur Sud espèces patrimoniales, b : secteur Sud espèces exotiques envahissantes) réalisées par le CBNM lors de la mission 2012 (Hivert et al., 2012)

Cependant, malgré le faible nombre d'individus présents dans le front de végétation, il semblerait qu'ils aient un impact négatif sur le recouvrement végétal indigène ce qui rend les perspectives d'avenir particulièrement inquiétantes s'il venait à se répandre d'avantage sur le littoral. Le fait que la majorité des individus adultes présents sur le littoral sont fructifère témoigne de sa capacité à se répandre rapidement dans l'avenir. Ces observations confirment donc son statut d'espèce envahissante aussi bien au sein des milieux naturels et semi-naturels intérieurs qu'au sein des milieux littoraux. Il semble intéressant de remarquer que la répartition du Filao est très hétérogène autour de l'île puisqu'il est absent de toute la zone Sud. Cette zone a été finement cartographiée et inventoriée en 2012 par le CBM (Hivert et al., 2012, Figure 16) comme l'un des deux secteurs les plus naturels de l'île. Ces divers profils de dynamique et d'invasion du Filao sur les zones littorales et adlittorales de la Grande Glorieuse vont nous permettre d'édicter diverses perspectives de gestion.

4.2. Choix du site de ponte par les tortues vertes

Le postulat de base pour chercher à comprendre l'interaction entre les données sur les tortues et celles sur la flore et les conditions abiotiques est le suivant : la tortue cherche un lieu optimal où creuser son nid de façon à maximiser la survie de sa descendance puisqu'elle le quitte immédiatement après la ponte et qu'elle ne revient plus. Elle va donc chercher, dans la mesure du possible, un site abrité de l'océan et ombragé pour garantir à la fois une bonne survie de ces œufs et un sex-ratio équilibré de sa descendance.

Il a été montré qu'il existe une forte corrélation positive entre l'orientation de l'océan et les indices 'fréquentation' et 'pontes' de tortues vertes. Ces dernières sont donc plus importantes sur les plages de la zone Ouest jusqu'au Nord Ouest. Cette corrélation ne reflète pas une préférence pour une orientation Ouest – Nord Ouest à proprement parler mais pour le secteur littoral correspondant. Cette partie de l'île ressort effectivement dans la bibliographie et les analyses sur la flore comme étant la plus à l'abri des vents et des courants marins puisque la plupart des individus végétaux y sont en bon état (Figure 7) et qu'on y observe de nombreuses régénérations végétales (Figure 8).

Les analyses ont également montré une corrélation positive entre la largeur de l'avant front et le nombre de ponte. Cette corrélation avait déjà été observée par Martel (2003) sur la tortue Caouanne (*Caretta caretta*) à Madagascar et Soafiavy (2000) précise que les tortues marines évitent de pondre sur les plages ayant une largeur inférieure à 15 mètres. Cela s'explique facilement par le fait que plus la plage est large, plus le risque d'inondation du nid - phénomène létal pour les embryons (Whitmore et Dutton, 1985) - est faible. Cependant, la plage ne doit pas être trop large non plus car cela pourrait au contraire

avoir un effet négatif d'une part sur la vitalité des femelles montées pondre (risque de se faire surprendre par le soleil et de louper la marée descendante) ainsi que sur les nouveaux nés, soit en augmentant le risque de prédation (Blamires et Guinea, 1998), soit en les empêchant de trouver la mer si des obstacles obstruant la vision venaient à se positionner sur le chemin. Bien que les analyses statistiques n'aient pu révéler ce phénomène sur notre jeu de données, cette théorie de la taille de plage optimale est appuyée par des observations de terrain : absence totale de trace de tortue sur les transects 34 et 35 qui correspondent à une zone où la largeur de plage est maximale (100 mètres) sur la Grande Glorieuse.

Le nombre de ponte et le nombre de trou par trace sont également corrélés négativement au recouvrement végétal de la zone 3.1. Il semble en effet logique que les tortues aient plus de mal à se déplacer puis à creuser leur nid lorsque la végétation est dense puisque l'encombrement sera important et que les racines entremêlées dans le sol constitueront autant de solides obstacles. Elles vont donc à priori préférer des milieux présentant un certain recouvrement végétal (pour assurer le rôle d'ombrage) mais selon une certaine limite de densité. Inversement, Soafiavy (2000) a montré une forte corrélation positive entre le nombre de nid et le recouvrement végétal indiquant donc une préférence pour creuser les nids au niveau de la couverture végétale. Cependant dans cette étude la couverture végétale était composée essentiellement d'herbacées ne jouant pas le rôle d'obstacles (espèce de tortue étudiée à vérifier).

Toutes les données tortues testées sont corrélées positivement avec l'abondance du filao dans toutes les zones de plage. Ce résultat est particulièrement étonnant alors que cet arbre est décrit dans la littérature comme ayant de nombreux effets négatifs sur la ponte et la survie des embryons de tortue. L'hypothèse proposée pour expliquer ce résultat serait que le Filao, très présent en adlittoral, formerait une masse sombre très haute et donc facilement visible depuis la mer, qui aurait tendance à attirer les tortues car elle constituerait également un écran protecteur par rapport aux menaces potentielles venant de l'intérieur de l'île (Tuxbury et Salmon, 2004). On peut enfin préciser que le Filao joue à priori aujourd'hui un rôle positif pour les tortues car il est encore peu répandu sur les premières bandes de végétation littorale mais que s'il continue à se propager et à se densifier, son impact sera très probablement négatif.

Le recouvrement en beach rock ou en platier corallien n'est pas corrélé de façon significative avec les données tortues. Pourtant dans son étude sur la tortue Caouanne, Martel (2003) désigne la présence de rocher comme le facteur négatif à la ponte le plus important. Les tortues, en cherchant la plage la plus facilement accessible auraient en effet un comportement d'évitement des rochers (Mortimer, 1995). Cependant aux Glorieuses, les zones occupées par du beach rock et des platiers coralliens sont d'une

part limitées en termes de surface. D'autre part, ces formations géologiques sont très érodées et présentent une surface lisse et peu abrasive. Enfin, elles sont rapidement immergées à la marée montante, ce qui expliquerait qu'elles ne constituent pas ici un obstacle majeur sur la fréquentation de la plage par les tortues.

La couverture de bois mort semble être légèrement corrélée négativement aux paramètres sur les tortues. Ces bois morts peuvent effectivement être un obstacle à la progression de la tortue sur la plage. Cependant ces bois sont facilement transportables par la mer et changent régulièrement de lieu, ils seraient donc un obstacle ponctuel. [Martel \(2003\)](#) a en effet montré que ce paramètre affecte peu la présence de nids sur la page.

Il ne semble pas y avoir de corrélation significative avec les pentes de plage et la hauteur des dunes, contrairement à ce qui aurait pu être attendu. [Martel \(2003\)](#) a en effet trouvé que les tortues s'accommodaient assez facilement d'une configuration de plage irrégulière. De plus, d'après nos observations de terrain, d'une part les tortues parviennent parfois à force de patience et d'entêtement à monter des talus à 90° hauts de plus d'un mètre, et d'autre part, les profils de plage changent tellement vite que l'on peut considérer que là aussi il s'agit d'obstacles ponctuels, bien que restant un peu plus longtemps en place que les bois flottés.

Enfin, il semblerait qu'il y ait une corrélation significative entre le nombre de ponte et de trou par trace et les groupes floristiques déterminés à l'aide des CAH. La flore aurait donc bien un impact, direct ou non, sur la ponte des tortues vertes. Cependant, l'analyse pratiquée ici (ANOVA) ne permet pas de conclure quant aux groupes de composition floristique favorisant la ponte. Cette corrélation étant valable aussi bien pour les groupes de la zone 3.1 que pour ceux de la zone 3.2, il serait probable qu'elle soit liée aux points communs entre les deux classifications et notamment à la différence flagrante de composition floristique entre le secteur Sud et le reste de l'île.

4.3. Perspectives d'amélioration

Différentes perspectives peuvent être proposées afin de pousser d'avantage les analyses et d'affiner les résultats obtenus.

Tout d'abord, il serait judicieux de calculer un indice d'abondance pour la flore utilisant à la fois le recouvrement linéaire et le nombre d'individu, ce qui permettrait d'obtenir les mêmes données pour toutes les espèces, qu'elles soient indigènes ou exotiques et donc de les analyser de la même façon.

Ensuite, il serait intéressant de calculer un indice pour les tortues, décrivant l'effort fourni par chaque tortue au cours de la phase de ponte. Il pourrait prendre en compte la longueur de la trace,

exprimant la facilité ou non à trouver un lieu idéal, le nombre de trous creusés par trace, révélateur de la qualité de la zone (moins la tortue creuse de trou avant de pondre, plus la zone est optimale) et le succès ou non de ponte. Cependant, cet indice pourrait être biaisé par de nombreux autres paramètres difficilement mesurables comme l'âge de la tortue jouant à la fois sur l'expérience de celle-ci et donc la facilité et la rapidité à trouver un lieu optimal et sur sa forme physique conditionnant la distance qu'elle pourra parcourir sur la plage. De plus, une tortue va pouvoir se montrer moins exigeante sur le choix du site de nidification la première nuit où il n'est pas rare qu'elle monte sans pondre. Mais au bout de deux ou trois nuits infructueuses, elle devra pondre à tout prix quitte à ce que le lieu ne soit pas optimal. Il serait donc bon de pondérer cet indice en fonction de l'âge de la tortue et de la nécessité qu'elle ponde absolument ou non. Malheureusement, ces informations sont très difficiles à obtenir (pas de corrélation entre la largeur d'une trace et l'âge de la tortue, besoin de marquer et de suivre l'ensemble des tortues montant sur l'ensemble du littoral).

Afin de pousser plus loin les corrélations observées entre les variables tortues et les groupes floristiques issus des CAH, il pourrait être intéressant d'effectuer une classification sur les données tortues en spécifiant le nombre de groupe (classification par la méthode des K-means) et de voir si les classes obtenues semblent correspondre aux groupes de végétation.

Enfin, il a été démontré que les variables liées à la flore et aux paramètres abiotiques ont été corrélées aux paramètres de tortues de façon séparée, mais il serait maintenant intéressant d'utiliser un GLM afin de voir l'effet de ces paramètres combinés sur la fréquentation des plages et la ponte des tortues.

5. Conclusion

Cette étude multidisciplinaire, originale et novatrice, a cherché à répondre à des questions jusque là très peu étudiées sur la composition et la structuration de la végétation littorale de la Grande Glorieuse d'une part et sur le rôle des facteurs floristiques et abiotiques sur le choix des sites de ponte des tortues vertes. Il a tout d'abord été montré à l'échelle de l'île, une différence importante entre les côtes au vent (secteur Sud – Sud Est) et les côtes sous le vent (secteurs Ouest, Nord et Est) tant au niveau de la composition spécifique de la végétation strictement littorale, qu'au niveau des phénomènes d'érosion littorale. Ainsi, la végétation sur la côte au vent fait preuve d'une dynamique régressive tandis que celle occupant la côte sous le vent connaît une dynamique progressive. Concernant le choix du site de ponte par les tortues vertes, il a été montré que ces dernières sont sensibles à la végétation puisqu'elles semblent fréquenter préférentiellement des zones où le recouvrement végétal sur l'avant front est

relativement faible et où un nombre important de filaos sont présents. Il semblerait également que leur choix soit conditionné à la fois par la composition floristique de l'avant front et par celle du front de végétation. Au niveau des facteurs abiotiques propres à la plage, il a été notamment montré que l'orientation de l'océan et la largeur de la plage jouent un rôle sur le choix du site de ponte.

En termes de gestion conservatoire, cette étude a permis de préciser dans le cas du filao en particulier les divers niveaux d'invasion depuis la bande littorale stricte jusqu'à l'étage adlittoral et son influence sur la végétation indigène. Son caractère exotique pour l'île de la Grande Glorieuse et ses capacités d'invasion sur la bande littorale ont pu être confirmés et il a été montré que le processus d'invasion au sein des systèmes de végétation indigènes littoraux est à priori encore assez peu marqué et certainement pas abouti. La forte hétérogénéité de sa répartition sur le pourtour de l'île devrait permettre d'édicter diverses stratégies de contrôle par le gestionnaire, qui peut soit décider de faire en sorte que les zones préservées le restent ou d'appliquer des méthodes de lutte afin de rendre leur naturalité aux zones les plus envahies.

Il serait donc intéressant de réitérer cette étude sur la Grande Glorieuse, afin d'obtenir un jeu de données avec des répliques et donc plus robuste pour l'analyse et afin de pouvoir évaluer la dynamique de la végétation indigène et exotique. De plus, la méthode proposée étant facile à réaliser, satisfaisante en termes de temps et de qualité des données et peu onéreuse, elle pourrait facilement être appliquée à d'autres territoires afin de répondre à la problématique générale du choix de site de ponte par les tortues marines. La contrainte majeure étant que les relevés liés aux paramètres environnementaux et ceux liés aux tortues soient réalisés de manière synchrone, au vu des modifications très rapides subis par les profils de plage au grès des fortes marées et des tempêtes.

6. Références Bibliographiques

- Ackerman, R. A. 1980. Physiological and ecological aspects of gas exchange by sea turtle eggs. *American Zoologist* 20, 575-583.
- Amir, S., 1987. Classification of coastal resources : a Mediterranean case study. *Landscape Urban Plann.* 14, 399-414.
- Blamires, S. J., Guinea. M.L., 1998. Implications of nest site selection on egg predation at the sea turtle rookery at Fog Bay. In : Kennett, R., Webb, A., Duff, G., Guinea, M., et Hill, G., 1997. *Marine Turtle Conservation and Management in Northern Australia, Proceedings of a Workshop held at the Northern Territory University, Darwin, 3-4 June 1997, Centre for Indigenous Natural and Cultural Resource Management and Centre for Tropical Wetlands Management, Northern Territory University, Darwin.* pp 20-24.
- Battistini, R., Gayet, J., Jouannic, C., Labracherie, M., Peypouquet, J.-P., Pujol, C., Pujos-Lamy, A., Turon, J.-L., 1976. Etude des sédiments et de la microfaune des Iles Glorieuses (Canal du Mozambique). *Cahier O.R.S.T.O.M., sér. Géol.*, 8(2), 147-171.
- Bensettiti, F., Bioret, F., Roland, J., Lacoste, J.P., 2004. *Cahiers d'habitats Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 2 : Habitats côtiers.* Muséum National d'Histoire Naturelle, Ministère de l'Ecologie et du Développement, Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche et des Affaires rurales, Paris.
- Bourjea, J., Lapègue, S., Gagnevin, L., Broderick, D., Mortimer, J.A., Ciccione, S., Roos, D., Taquet, C., Grizel, H., 2007. Phylogeography of the green turtle, *Chelonia mydas*, in the South West Indian Ocean using mtDNA sequences. *Molecular Ecology.* 16, 175-186.
- Bowen, B.W., Meylan, A.B., Ross, J.P., Limpus, C.J., Balazs, G.H., Avise, J.C., 1992. Global population structure and natural history of the Green Turtle (*Chelonia mydas*) in terms of matriarchal phylogeny. *Evolution.* 46, 865-881.
- Brown, A.C., McLachlan, A., 2002. Sandy shore ecosystems and the threats facing them: some predictions for the year 2025. *Environmental Conservation* 29, 62-77.
- Bustard, H. R., 1968. Protection for a rookery : Bundaberg sea turtles. *Wildl. In Australia.*

- Boulet, V., 2005. Flore et végétation. Mission îles Glorieuses (du 10 au 16 août 2005). Pré-rapport non publié. Conservatoire Botanique National de Mascarin, Saint Leu, Réunion.
- Cadet, T., 1984. Mission aux Glorieuses, 28-29 décembre 1984. Université de La Réunion, Saint Denis, La Réunion.
- Carr, A., Carr, M.H., 1972. Site Fixity in the Caribbean Green Turtle. *Ecology* 53(3), 425-429.
- Chapman, V.J., 1964. In: *The Environment in Chapman, V.J. Coastal Vegetation*, 160–191. Pergamon Press, Oxford.
- Chaudhari, S.A., Prasad, D., Shanker, K., 2009. Impact of Casuarina Plantations on Olive Ridley Turtle Nesting along the Northern Coast of Tamil Nadu, India. ATREE, Bangalore and MCBT, Mamallapuram, India.
- Chessel, D., Thioulouse, J., Dufour, A.B., 2004. Introduction à la classification hiérarchique. Fiche de Biostatistique-Stage 7.
- Ciccione, S., Sauvignet, H., Boulet, V., Rota, B., 2005. Mission Glorieuses, 9 au 16 août 2005. La Réunion.
- Conservatoire Botanique National De Mascarin (Gigord L. coordinateur, Hivert J. & Cuidet Y. auteurs principaux), 2013. Flore et végétations des îles Éparses. Disponible à <http://ileseparses.cbnm.org/>. Consulté en Juin 2014.
- Cornillon, P.-A., Guyader, A., Husson, F., Jégou, N., Josse, J., Kloareg, M., Matzner-Lober, E., Rouvière, L., 2012. *Statistiques avec R, 3e édition revue et augmentée*. ed, Pratique de la Statistique. Presses Universitaires de Rennes, Rennes, France.
- Crain, D. A., Bolten, A.B., Bjørndal, K.A., 1995. Effects of beach renourishment on sea turtles: review and research initiatives. *Restoration Ecology* 3, 95-104.
- Danielsen, F., Sørensen, M.K., Olwig, M.F., Selvam, V., Parish, F., Burgess, N.D., Hiraishi, T., Karunakaran, V.M., Rasmussen, M.S., Hansen, L.B., Quarto, A., Suryadiputra, N., 2005. The Asian Tsunami: A Protective Role for Coastal Vegetation. *Science*. 310, 643.
- Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D.S., Schlacher, T.A., Dugan, J., Jones, A., Lastra, M., Scapini, F., 2009. Threats to sandy beach ecosystems: a review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 81, 1-12.

- Duffaud M.H., 1998. Végétation des dunes littorales atlantiques de l'Adour à Noirmoutier. Rev. For. Fr. 4, 328-348.
- Eckert, K.L., 1987. Environmental Upredictability and Leatherback Sea Turtle (*Dermochelys coriacea*) Nest Loss. Herpetologia 43, 315–1016.
- Ehrhart, L.M., Bagley, D.A., Uong, L.T., Owen., R.D., 1996. Marine turtle nesting at Archie Carr National Wildlife Refuge. In: Keinath, J. A., Barnard, D. E, Musick, J. A., Bell, B.A., editors. Proceedings of the 15th Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-387. pp 79-83
- Evans, S.M., Hardy, J.M., 1970. Sand Dunes in Evans. In: Evans, S.M., Hardy, J.M. (Eds.), Seashores and Sand Dunes. Heinemann Educational Books Ltd, London, pp. 68–81.
- Fretey, J., 1995. Mission exploratoire aux Iles Glorieuses, 22 et 23 mars 1995. Coconi, Mayotte.
- Gargominy, O., 2003. Îles éparses. Biodiversité et conservation dans les collectivités française d'outre-mer, pp. 107-116. Collection Planète Nature. Comité français pour l'UICN, Paris, France.
- Global Invasive Species Database. Disponible à <http://www.issg.org/database>. Consulté en juin 2014.
- Hays, G.C., Speakman, J.R., 1993. Nest placement by Loggerhead Sea Turtles, *Caretta caretta*. Animal Behaviour 45, 47–53.
- Hivert, J., Dumeau, B., Jouan, A., Gigord, L., 2013. Analyse biogéographique et écologique du Filao (*Casuarina equisetifolia* L.) sur l'île d'Europa (îles Éparses, canal du Mozambique). Rapport technique non publié, Conservatoire Botanique National et Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement de Mascarin, île de La Réunion, 21 p.
- Hivert, J., Gigord, L., Férard, J., Beaurepaire, J., 2012. Compte-rendu scientifique et technique de mission de longue durée d'étude de la flore et des habitats de la Grande Glorieuse (mai et juin 2012). Rapport technique non publié, en cours de rédaction. Conservatoire Botanique National de Mascarin, Terres Australes et Antarctiques Françaises.
- Horrocks, J.A., Scott, N.M., 1991. Nest site selection and nest success in the hawksbill turtle *Eretmochelys imbricate* in Barbados, West Indies. Marine Ecology Progress Series 69, 1-8.
- Hughes, G. R., 1989. The sea turtles of South-East Africa – Status, morphology, and distributions. Oceanographic research institute report 35.

- Husson, F., Josse, J., Le, S., Mazet, J., 2013. FactoMineR : Multivariate Exploratory Data Analysis and Data
- Karavas, N., Georghiou, K., Arianoustou, M., Dimopoulos, D., 2005. Vegetation and sand characteristics influencing nesting activity of *Caretta caretta* on Sekenia Beach. *Biological Conservation* 121, 177-188.
- Kikukawa, A., Namezaki, N., Hirate, K., Ota, H., 1998. Factors affecting nesting beach selection by sea turtles: a multivariate approach. In : Epperly, S. P., Braun, J., Editors. *Proceedings of the 17th Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*, NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC- 415. pp 65-66.
- Kueffer, C., Lavergne, C., 2004. Case Studies on the Status of Invasive Woody Plant Species in the Western Indian Ocean. Réunion. Working Papers FBS/4-4E No. FBS/4-4E, Forestry Department, Food and Agriculture Organization of the United Forest Health and Biosecurity, Rome, Italy.
- Lauret-stepler M., Bourjea J., Roos, D., Pelletier, D., Ryan, P.G., Ciccione, S., Grisel, H., 2007. Reproductive seasonality and trend of *Chelonia mydas* in the southwestern Indian Ocean, a 20 year study based on trak counts. *Endangered Species Research (accepted)*.
- MacDonald, I.A.W., 2010. Final Report on the 2010 Resurvey of Alien Plant Invaders on the Island of Reunion. Stellenbosch University, Cape Town.
- MacDonald, I.A.W., Thébaud, C., Strahm, W.A., Strasberg D., 1991. Effects of Alien Plant Invasions on Native Vegetation Remnants on La Reunion (Mascarene Islands, Indian Ocean). *Environmental Conservation*. 18, 51-61
- Maloney, J. E., Darian-Smith, C., Takahashi, Y., Limpus, C.J., 1990. The environment for development of the embryonic loggerhead turtle (*Caretta caretta*) in Queensland. *Copeia* 1990, 378-387.
- Martin, R.E., Ernest, R.G., Williams-Walls, N., Wilcox, J.R., 1989. Long-term trends in sea turtle nesting on Hutchinson Island, Florida. In: Eckert, S. A., Eckert, K. L., Richardson, T. H., Editors. *Proceedings of the 9th Annual Workshop on Sea Turtle Biology and Conservation*, NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-232. pp 111-113
- Martel, B., 2003. Les facteurs intervenant dans la selection des sites de ponte de la Caouanne (*Caretta caretta*) sur les côtes malgaches. *Biogeographica (Paris)* 79(4), 129-152.

- Maun, M.A., 1994. Adaptations enhancing survival and establishment of seedlings on coastal dune systems. *Vegetation* 111, 59–70.
- Mellanby, R. J., Broderick, A. C., Godley, B.J., 1998. Nest site selection in Mediterranean marine turtles at Chelones Bay, Northern Cyprus. in Byles, R., Fernandez, Y., Editors. *Proceedings of the 16th Annual Symposium on Sea Turtle Biology and Conservation*. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-412. pp 103-104
- Meyer, J.Y., 2005. Rapport de mission d'expertise sur l'invasion du 'aito (*Casuarina equisetifolia*) dans l'atoll de Mururoa (Tuamotu) le 20 octobre 2005. Rapport de mission non publié, Délégation à la Recherche, Ministère de l'Éducation, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, Papeete, Tahiti.
- Miller, J.D., 1985. Embryology of marine turtles, in Gans, C., Billett, F., Maderson, P. F. A., Editors. *Biology of the Reptilia*, vol 14A, Wiley-interscience, New York, USA. pp 269-328.
- Moritz, C., Broderick, D., Dethmers, K., FitzSimmons, N., Limpus, C., 2002. Population genetics of Southeast Asian and Western Pacific green turtles, *Chelonia mydas*. UNEP/CMS Final Report.
- Mortimer, J.A., 1982. Factors influencing beach selection by Nesting Sea Turtles. In: Bjorndal, K., Editor. *The Biology and Conservation of Sea Turtle*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC, pp. 45–53.
- Mortimer, J.A., 1990. The influence of beach sand characteristics on the nesting behaviour and clutch survival of Green Turtles (*Chelonia mydas*). *Copeia* 1990 (5), 802–817.
- Mortimer, J.A., 1995. Factors influencing beach selection by nesting sea turtles. In : *Biology and conservation sea turtles*. Smithsonian Institution Press, 45-51.
- Mortimer, J.A., Portier, K.M., 1989. Reproductive homing and internesting behavior of the green turtle (*Chelonia mydas*) at Ascension Island, South Atlantic Ocean. *Copeia*. 1989, 962-977.
- Mrosovsky, N., 1983. Ecology and nest-site selection of Leatherback Turtles *Dermochelys coriacea*. *Biological Conservation* 26, 47–56.
- Nelson, G., 1994. *The trees of florida: A reference and field guide*. Pineapple Press, Sarasota.
- Luschi, P., Hays, G., Papi, F., 2003. A review of long-distance movements by marine turtles, and the possible role of ocean currents. *Oikos*. 103, 293-302.

- Packham, J.R., Willis, A.J., 1997. Ecology of Dunes, Salt Marsh and Shingle. Chapman & Hall, London.
- Quantum GIS Development Team, 2013. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project.
- R Core Team, 2012. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Schlacher, T.A., Dugan, J., Schoeman, D.S., Lastra, M., Jones, A., Scapini, F., McLachlan, A., Defeo, O., 2007. Sandy beaches at the brink. *Diversity and Distributions* 13, 556-560.
- Schlacher, T.A., Schoeman, D.S., Lastra, M., Jones, A., Dugan, J., Scapini, F., McLachlan, A., 2006. Neglected ecosystems bear the brunt of change. *Ethology, Ecology & Evolution* 18, 349-351.
- Schmelz, G.W., and Mezich., R.R., 1988. A preliminary investigation of the potential impact of Australian pines on the nesting activities of the loggerhead turtle. In : Schroeder, B.A., Compiler. Proceedings of the 8th Annual Workshop on Sea Turtle Biology and Conservation. NOAA Technical Memorandum NMFS-SEFSC-214. pp 63-66
- Schmid, J.L., Addison, D.S., Donnelly, M.A., Shirley, M.A., Wibbels, T., 2008. The Effect of Australian Pine (*Casuarina equisetifolia*) Removal on Loggerhead Sea Turtle (*Caretta caretta*) Incubation Temperatures on Keewaydin Island, Florida. *Journal of Coastal Research*. 55, 214 -220.
- Selvam, V., 2006. Presentation Post tsunami coastal protection project. In One day workshop organized by TRINet: Tsunami Rehabilitation *Information Network* in collaboration with Department of Environment, government of Tamil Nadu, Chennai.
- Soafiavy, B., 2000. Etude de la population des tortues marines : Biologie, écologie et menaces dans la region de Fort-Dauphin. Mémoire de DEA d'Océanologie Appliquée. Université de Toliara.
- Soubeyran, Y., (coord.) 2008. Espèces exotiques envahissantes dans les collectivités françaises d'outre-mer. État des lieux et recommandations, Collection Planète Nature, Comité français de l'UICN, Paris, France.
- Sutherland, W.J., 2006. Ecological Census Techniques, a handbook. Second Edition. Ed. Cambridge University Press, 450p.
- Taaf, AAMP, 2012. Projet de Parc Naturel Marin aux Glorieuses. Document de Consultation.

- Tuxbury, S.M., Salmon, M., 2005. Competitive interactions between artificial lighting and natural cues during seafinding by hatchling marine turtles . *Biological Conservation* 121, 311 – 316
- Ward, J.H., 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, 58, 236-244.
- Witherington, B.E. 1992. Behavioral response of nesting turtles to artificial lighting. *Herpetologica* 48, 31-39
- Whitmore, C.P., Dutton., P.H., 1985. Infertility, embryonic mortality, and nest-site selection in leatherback and green sea turtles in Suriname. *Biological Conservation* 34, 251-272.

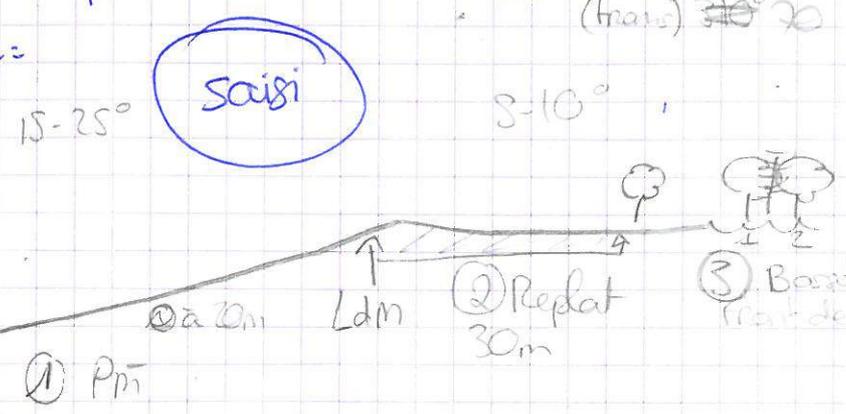
7. Annexes

Annexe 1 : Exemple de fiche de terrain utilisée pour relever les données (voir page suivante)

N° relevé = 2010.030.030.001 Obs: JH
CPS = d = 2 Fin = 3

Cr° (océan) 330°
(trans) 30° 20

Profil plage:



Rq 1) vide
2) branchages +
Dardes, vignans, Cascau
+ Lige ind + gen
Ldm
3) Front bien marqué
cassequ derrière
suite transect n° ?

Dist 1	Dist 2	Taxon	Nb	Etat	Phéno	Zone plage			Remarque
						1	2	3	
0	5,5	Helice	1	VDB	FI FR			X	
1	4,5	Vignans	1	VDB	FI FR		X		
4,5	6,5	Scatac	1	VDA	FI		X		Cascau
6,5	14,5	Summan	1	VDB	FR			X	
3,5	-	Cascau	1	VDB	FR				X
8,5	11	Scatac	1	VDB	FI FR		X		Cascau
12	15	Scatac	2	VDB	FI FR		X		
15,5	19,5	Summan	1	VDB	FR FR		X		
16,5	15,5	Helice	1	VDA	FI			X	
15	16,5	Objet	1	-	-		X		
15,5	35,5	Summan	3	VDB	✓			X	Transect
19,5	26,5	Scatac	1	VDB	FI FR		X		
21,5	24,5	Summan	1	VDB	FI FR		X		ds scatac
24	-	Tortue	-	-	-		X		derrière
23,5	-	Cassequ	1	VDB	FR			X	
24,5	27	Scatac	4	VPA	FI FR		X		
24,5	-	Tortue	-	-	-		X		
21,5	-	"	-	-	-		X	X	Trou ds scatac trou porte?
28	30	Summan	1	VDB	FR		X		
28,5	30,5	Scatac	1	VDB	FI FR		X		
27	31	Objet	1	-	-		X		Bois porte (m)
30,5	33,5	Scatac	1	VDB	FI FR		X		
33,5	-	Cassequ	1	VDB	FR		X	X	
35,5	37	Scatac	1	VDB	FI FR			X	
36,5	36,5	Vignans	1	VDB	FI FR		X		derrière scatac
35	40	scatac	2	VDB	FI FR		X		+ Vignans
38,5	-	Cassequ	1	VDB	JWV		X		derrière scatac
37	43	Summan	1	VDB	V			X	
43	62	Scatac	3	VDB	FI FR			X	
45,5	45,5	Summan	1	VDB	FI FR		X		
45,5	-	Cassequ	1	VDB	FR		X		derrière Summan
44	-	Cassequ	1	VDB	JWV		X		
47,5	51	Scatac	1	VDB	FI FR		X		
50	-	Tier cat	1	VDA	V			X	ds trou de
51	53	Objet	1	-	-		X		bois/porte
53,5	55,5	Scatac	1	VDB	FI FR		X		
55,5	-	Cassequ	1	VDB	FR			X	

Annexe 2 : Illustration des différents taxons recensés sur le littoral de la Grande Glorieuse.
Crédit Photo : Conservatoire Botanique National de Mascarin



Calophyllum inophyllum



Casuarina equisetifolia



Cassytha filiformis



Cocos nucifera



Colubrina asiatica



Cordia subcordata



Danais sp



Ficus grevei



Guettarda speciosa



Heliotropium foertheriaunum



Hernandia nymphaeifolia



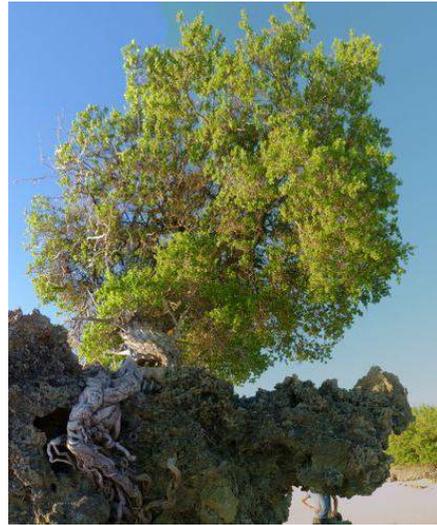
Ipomoea pes-capre



Ipomoea violacea



Morinda citrifolia



Pemphis acidula



Pisonia grandis



Scaevola taccada



Sophora tomentosa



Suriana maritima

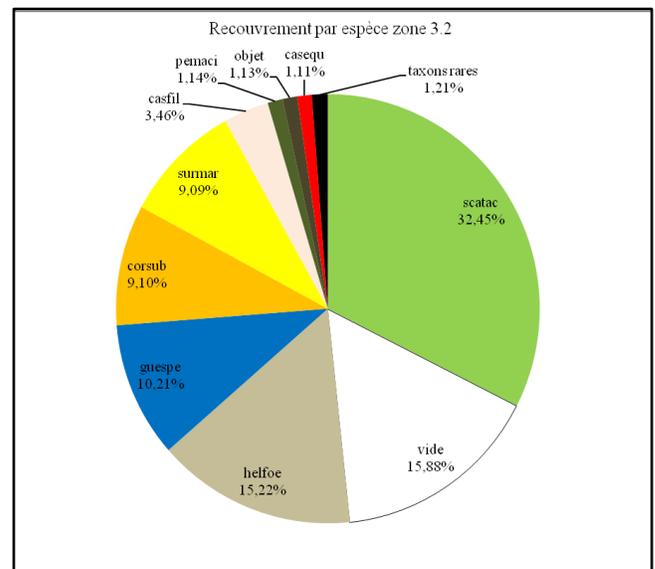
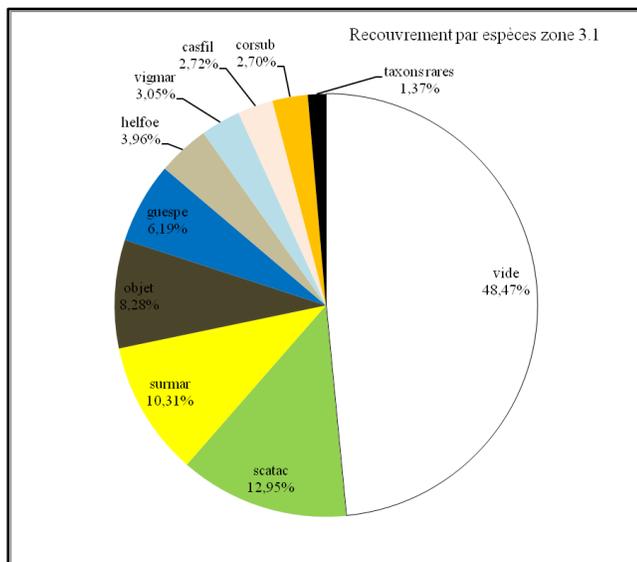
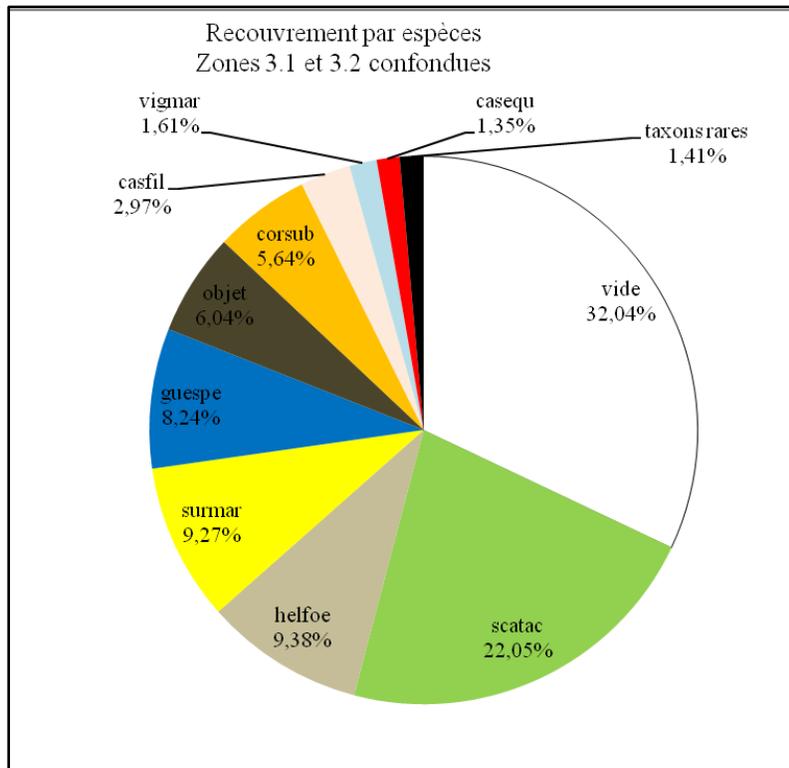


Terminalia catappa



Vigna marina

Annexe 3 : Recouvrement des différents taxons sur l'ensemble du littoral au sein des zones 3.1 et 3.2 confondues (a) ou séparées (b et c)



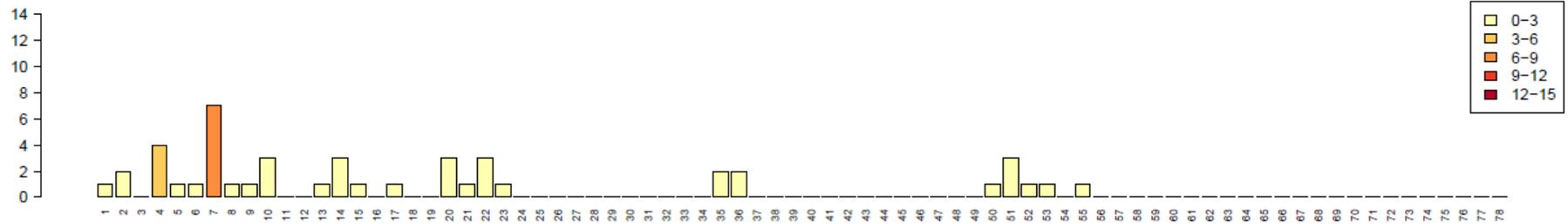
Annexe 4 : Détail des données de nombre d'individu, recouvrement, phénologie de reproduction, états sanitaires et stades de développement

Taxon	Famille	Nombre d'individus			Recouvrement			Phénologie			
		zone 3.1	zone 3.2	3.1 et 3.2	zone 3.1	zone 3.2	3.1 et 3.2	végétatifs	en fleurs	en fruits	en fleur et en fruit
<i>Calophyllum inophyllum</i>	Clusiaceae	1	2	3	4	5.5	9.5	2	1	0	0
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarinaceae	46	136	182	55.5	105.5	161	106	0	258	0
<i>Cassytha filiformis</i>	Lauraceae	0	0	0	249.5	330	579.5	NA	NA	NA	NA
<i>Cocos nucifera</i>	Arecaceae	3	1	4	1.5	0.5	2	4	0	1	0
<i>Colubrina asiatica</i>	Rhamnaceae	2	3	5	2.5	2	4.5	4	0	1	38
<i>Cordia subcordata</i>	Boraginaceae	40	163	203	248	868.5	1116.5	24	9	9	164
<i>Danais</i> sp. 1	Rubiaceae	0	1	1	0	1.5	1.5	0	1	0	0
<i>Ficus grevei</i>	Moraceae	0	1	1	0	2	2	1	0	0	0
<i>Guettarda speciosa</i>	Rubiaceae	82	143	225	569	974.5	1543.5	18	26	4	175
<i>Heliotropium foertherianum</i>	Boraginaceae	183	359	542	364	1452.5	1816.5	43	80	15	444
<i>Hernandia nymphaeifolia</i>	Hernandiaceae	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
<i>Ipomoea pes-caprae</i>	Convolvulaceae	16	2	18	61	6.5	67.5	16	2	0	0
<i>Ipomoea violacea</i>	Convolvulaceae	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0
<i>Morinda citrifolia</i>	Rubiaceae	0	2	2	0	2	2	1	0	0	1
<i>Pemphis acidula</i>	Lythraceae	0	121	121	0	109	109	0	0	0	121
<i>Pisonia grandis</i>	Nyctaginaceae	0	1	1	0	12.5	12.5	3	0	0	0
<i>Scaevola taccada</i>	Goodeniaceae	565	1057	1622	1190	3097.5	4287.5	138	110	1	1452
<i>Sophora tomentosa</i>	Fabaceae	1	2	3	1.5	6	7.5	1	0	0	2
<i>Suriana maritima</i>	Surianaceae	556	369	925	947	868	1815	578	3	220	166
<i>Terminalia catappa</i>	Combretaceae	0	6	6	0	7.5	7.5	7	0	0	0
<i>Vigna marina</i>	Fabaceae	104	23	127	280	67.5	347.5	21	47	1	58
Total		1599	2394	3993	3973.5	7921	11894.5	969	279	510	2621

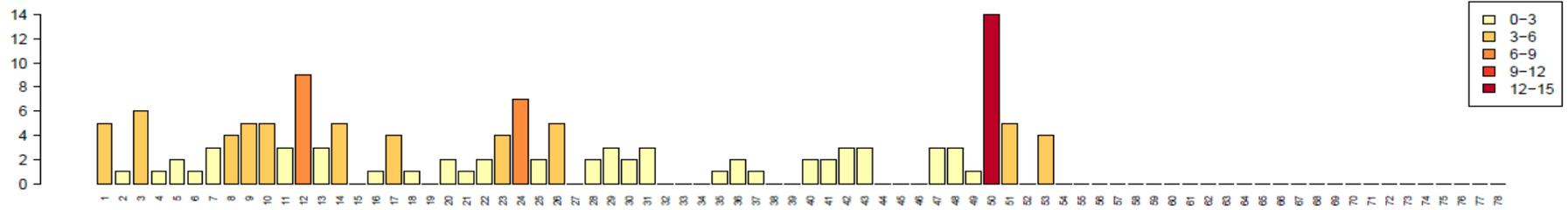
Taxon	Famille	Etat sanitaire - Vie			Etat sanitaire - Position			Etat sanitaire - Qualité		Stade de développement		
		vivant	sénéscent	mort	debout	penché	couché	bon état	abîmé	adulte	juvénile	plantule
<i>Calophyllum inophyllum</i>	Clusiaceae	3	0	0	1	0	2	1	2	3	0	0
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Casuarinaceae	360	4	17	364	6	11	311	49	304	71	6
<i>Cassytha filiformis</i>	Lauraceae	5	0	0	5	0	0	2	3	NA	NA	NA
<i>Cocos nucifera</i>	Arecaceae	41	2	0	41	2	0	40	1	2	2	1
<i>Colubrina asiatica</i>	Rhamnaceae	157	49	13	111	87	21	8	149	42	0	1
<i>Cordia subcordata</i>	Boraginaceae	1	0	0	1	0	0	1	0	215	4	0
<i>Danais sp. 1</i>	Rubiaceae	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
<i>Ficus grevei</i>	Moraceae	201	22	40	161	33	69	32	169	1	0	0
<i>Guettarda speciosa</i>	Rubiaceae	576	6	14	573	13	10	463	113	262	1	0
<i>Heliotropium foertherianum</i>	Boraginaceae	1	0	0	1	0	0	1	0	587	10	1
<i>Hernandia nymphaeifolia</i>	Hernandiaceae	18	0	0	18	0	0	17	1	1	0	0
<i>Ipomoea pes-caprae</i>	Convolvulaceae	1	0	0	1	0	0	1	0	18	0	0
<i>Ipomoea violacea</i>	Convolvulaceae	1	1	0	2	0	0	1	0	1	0	0
<i>Morinda citrifolia</i>	Rubiaceae	121	0	0	121	0	0	121	0	2	0	0
<i>Pemphis acidula</i>	Lythraceae	3	0	0	3	0	0	2	1	121	0	0
<i>Pisonia grandis</i>	Nyctaginaceae	1672	29	108	1667	99	43	1025	647	3	0	0
<i>Scaevola taccada</i>	Goodeniaceae	3	0	0	1	2	0	3	0	1776	28	9
<i>Sophora tomentosa</i>	Fabaceae	949	17	40	948	26	32	759	190	3	0	0
<i>Suriana maritima</i>	Surianaceae	7	0	0	7	0	0	4	3	990	19	3
<i>Terminalia catappa</i>	Combretaceae	3	0	0	3	0	0	3	0	2	5	0
<i>Vigna marina</i>	Fabaceae	127	0	0	127	0	0	125	2	127	0	0
Total		4251	130	232	4157	268	188	2921	1330	4461	140	21

Annexe 5 : Histogrammes représentant le nombre d'individus de Filao par transect pour les zones 3.1, 3.2 et 3.3

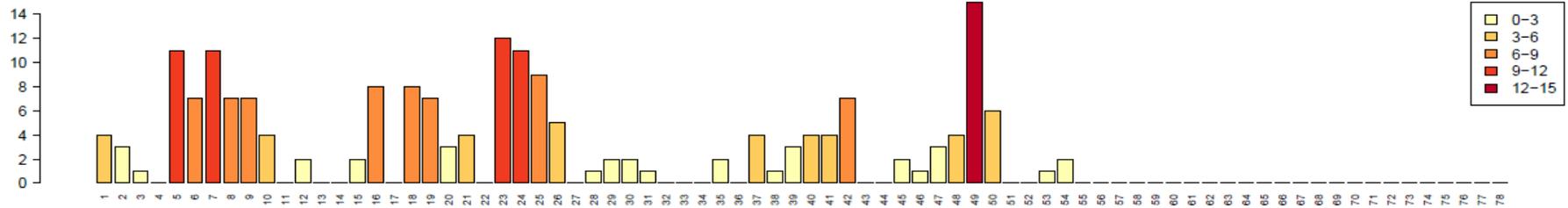
Densité Filao Zone 3.1



Densité Filao Zone 3.2



Densité Filao Zone 3.3



Résumé : L'étude proposée ici a été menée sur l'île de la Grande Glorieuse (île Eparse, canal du Mozambique) et s'articule autour de deux problématiques. L'une concerne la composition et la structuration de la végétation littorale de l'île tandis que l'autre vise à déterminer les facteurs environnementaux ayant une influence sur le choix du site de ponte par les tortues vertes (*Chelonia mydas*). La végétation littorale dont la composition floristique est hétérogène sur le pourtour de l'île semble être structurée par les vents et les courants marins puisqu'une importante différence est observable entre les végétations de la côte au vent (très érodée et présentant une dynamique régressive) de celles de la côte sous le vent (présentant une dynamique progressive). Les données ont également permis de montrer que le Filao (*Casuarina equisetifolia*), taxon reconnu comme exotique sur ce territoire, a de fortes capacités d'invasion mais qu'il reste encore peu présent sur le littoral strict, ce qui ne l'empêche pas d'avoir un impact négatif sur le recouvrement végétal indigène ($R^2 = - 0,371$, ***). Enfin, les tortues vertes semblent être influencées dans leur choix du site de ponte par la végétation littorale puisque des corrélations fortes existent entre les indices de fréquentation des plages par les tortues et le recouvrement végétal sur l'avant front ($R^2 = - 0,334$, **) d'une part et l'abondance des filaos installés au sein de la végétation littorale ($0,219 < R^2 < 0,323$, * ou ** selon l'étagement littoral). Le nombre de ponte et les groupes de composition floristique déterminés au cours de cette étude sont également corrélés quelle que soit la bande de végétation prise en compte (** et ***). La méthode utilisée pour relever la végétation, basée sur des transects littoraux, semble idéale pour répondre aux questions posées puisqu'elle a permis en moins de 30 jours de recenser de manière exhaustive la végétation sur l'ensemble du littoral (7747 mètres). De même en ce qui concerne la méthode de suivi des traces de pontes des tortues (665 traces). Ces méthodes, développées de manière synchrones dans le temps et dans l'espace, constituent donc d'excellents référentiels méthodologiques pouvant être appliqués à d'autres territoires ou à d'autres espèces de tortues marines.

Mots clés : Grande Glorieuse – Végétation littorale – *Casuarina equisetifolia* – *Chelonia mydas* – Choix du site de ponte

Abstract : This study has been conducted on Grande Glorieuse (Scattered Islands, Mozambique channel) and lay out two theme. One is about the composition and structuring of the coastal vegetation, whereas the other intends to identify what environmental factors could influence the Green turtle (*Chelonia mydas*) during the nest site selection process. First, coastal vegetation, whose floristic composition is heterogeneous around the island, seems to be structured by winds and oceanic currents since there's a big difference between coastal vegetation of the windward coast (seriously eroded, showing a regressive dynamic) and that on the leeward coast (showing a progressive dynamic). Data also show that beach she-oak (*Casuarina equisetifolia*), specie identified as exotic for the island, has strong invasive capacities but it is still little implanted along the coast, which does not prevent it from having a negative impact on indigenous species ($R^2 = - 0,371$, ***). Finally, Green turtle's nest site selection seems to be influenced by coastal vegetation since strong correlations linked beach frequentation and laying effectiveness index and vegetal recovery ($R^2 = - 0,334$, **) on one hand, and she-oak abundance on the other hand ($0,219 < R^2 < 0,323$, * or ** according to coastal layering). Number of turtle nest and floristic composition's groups are also correlated whatever the vegetation layering (** and ***). This transect-based method seems ideal to survey coastal vegetation since it allowed surveying the totality of the coast (7747 m) in less than 30 days. Turtle monitoring method used is also satisfying (665 turtles track observed) to answer our questions. These two methods, if performed synchronously in time and space, are really good methodological references that can be adapted to other territories or other marine turtle species.

Keywords : Grande Glorieuse – Coastal vegetation – *Casuarina equisetifolia* – *Chelonia mydas* – Nest site selection