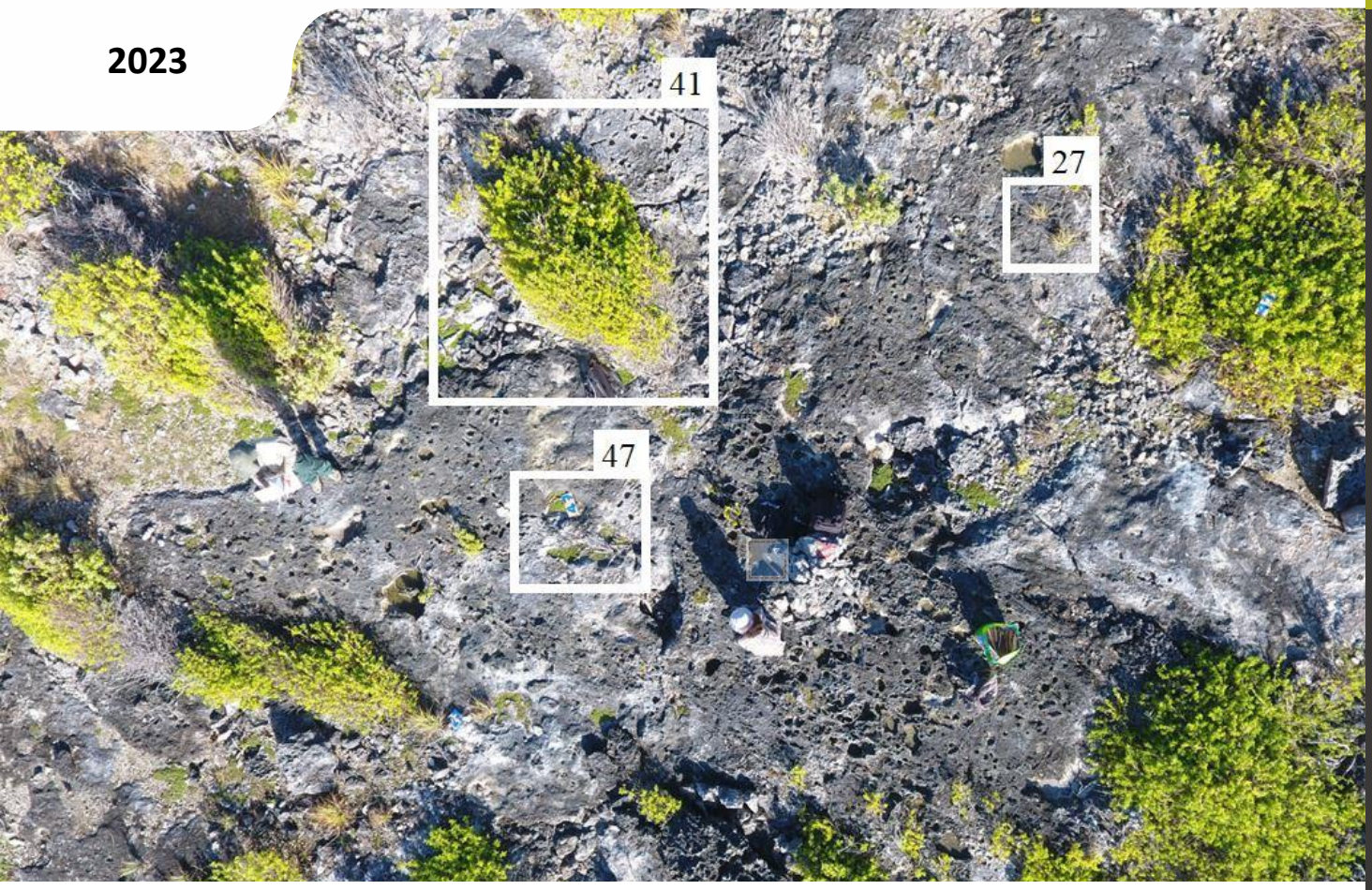
Cartographie par drone de la végétation des ilets de Petite-Terre

2023



Office National des Forêts

OFB OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ

Réserves Naturelles de Petite Terre et de la Désirade ASSOCIATION Titè

Réserve Naturelle ILES DE LA PETITE TERRE

Couverture : Identification de plantes sur une vue drone de l'ilet de Terre-de-Bas de Petite-Terre. ©Berry & Penin/ONF

Titre : Cartographie par drone de la végétation des ilets de Petite-Terre
Auteurs : Gayot M., Penin R., Procopio L. & P. Berry.
Financement : OFB, ONF
Date : 24/01/2023
Niveau de lecture : public.
Citation recommandée : Gayot M., Penin R., Procopio L. & P. Berry. 2023. Cartographie par drone de la végétation des ilets de Petite-Terre. ONF, Guadeloupe.

Population de cactus Opuntia triacantha sous les mancenilliers de Terre-de-Haut ©Penin/ONF

Table des matières

Introduction **5**

Objectifs 5

Méthodes **7**

Équipe 7
Calendrier et conditions de terrain 7
Construction de l'orthophotographie 7
Tests des hauteurs des vols 7
Assemblage de l'orthophotographie 8
Relevés de terrain 8
Matériels et logiciels 9
Matériel de prise de vues 9
Logiciels utilisés 9

Résultats et discussion **10**

Remarques préliminaires sur la topographie et la végétation des ilets de Petite-Terre 10
Cartographie des habitats terrestres de Petite-Terrex 11
Typologie des formations végétales 11
Cartes des formations végétales 11
Comparaison entre 1995 et 2021 20
Situation en 1995 20
À propos des différences entre typologies 22
Évolution des peuplements 22
Richesse spécifique 28
Espèces présentes, fréquence et dominance 28
Flore de Petite-Terre : un nombre d'espèces croissant 31

Outils de télédétection **34**

Formations littorales stricto sensu
Erreur ! Signet non défini.

L'outil drone 43

Plan de vol et paramètres associés 43
- Tests de hauteurs 43
- Paramètres de vol finaux 45

Contraintes techniques 46
- Cadre réglementaire 46
- Conditions météorologiques 47
- Matériel de vol et transport 47
- Création et gestion des plans de vols 48
- Flux, stockage, gestion des données 48
- Assemblage et traitement des images 48
- Dérangement de la faune 50

Le drone comme support à la cartographie ? 51
- Qualité par rapport aux orthophotos 51
- Détectabilité des d'espèces 52
- 30 m : hauteur maximale efficace pour la télédétection 52
- (Télé)détecter n'est pas identifier 58
- Télédétecter les formations végétales 58
- Former le télédétecteur- : possible seulement s'il connait le terrain 60
- Télédétecter à l'oblique 60

Recommandations finales 61

Références bibliographiques 63

Annexes 63

Forêt de poiriers et de mancenilliers à Terre-de-Haut ©Penin/ONF

Introduction

La réserve naturelle nationale de Petite Terre est un petit archipel de Guadeloupe, situé à 8 km au sud-est de la Pointe des Châteaux. L'archipel est constitué de deux ilets : Terre de Haut (117 ha) et Terre de Bas (31ha). Ces ilets sont plats, culminant à 8 m d'altitude et séparés par un étroit chenal de 150 m de large. Les habitats naturels de ces ilets sont soumis à des conditions environnementales âpres : saison sèche très marquée, aridité du sol, embruns, vents forts, houles, etc.

Néanmoins, la flore terrestre des ilets abrite plusieurs espèces patrimoniales, voire protégées, qui trouvent ici refuge. La réserve naturelle abrite en particulier la seule population sauvage de gaïacs de Guadeloupe (Fournet 2002). L'espèce, rare, est mondialement menacée.

Les ilets abritent aussi de nombreuses espèces patrimoniales terrestres, dont certaines font l'objet de Plans Nationaux d'Actions : l'Iguane des Petites Antilles, dont c'est ici l'une des plus importantes populations mondiales, et les Tortues marines, qui s'alimentent et pondent dans la réserve. La réserve est aussi un site de nidification pour l'huitrier d'Amérique et la Petite Sterne et abrite un petit reptile endémique (le scinque de Petite Terre) ainsi que des requins citron, des raies pastenague et léopard attirés par la qualité des herbiers et des récifs coralliens.

L'intégrité des habitats naturels de la réserve permet la présence de l'ensemble de ces espèces. Ces habitats évoluent cependant sous l'influence de plusieurs facteurs : la création de la réserve a supprimé certaines pressions sur la végétation (cabris et agriculture) et s'est accompagné de nouvelles pressions, notamment celles liées à la fréquentation de plus 40 000 visiteurs annuels. La dynamique naturelle des peuplements conduit elle aussi à une modification des habitats, tout comme les évènements climatiques majeurs (fortes houles, cyclones), et à long terme les changements climatiques, qui peuvent altérer les peuplements, leur composition, voire leur biotope (recul du trait de côte, modification des salines, etc.). Enfin, les actions de gestion, comme le renforcement des populations de gaïacs ou la gestion des cocotiers, qui visent à restaurer les habitats, entrainent de facto leur évolution.

Identifier et caractériser l'évolution passée et future des milieux naturels et des espèces qui les constituent, et notamment la flore pour les milieux terrestres, est cependant une activité lourde pour les gestionnaires d'espaces naturels, ce qui explique notamment que la dernière cartographie et l'inventaire le plus exhaustif de la flore des espaces naturels terrestres de la réserve datent de 1995 et ont présidé à la création de la réserve, sans être jamais réactualisés depuis.

La présente étude propose d'actualiser la cartographie des ilets de Petite-Terre en se basant sur l'acquisition d'images aériennes prises par drone. La nouvelle cartographie des habitats devra être plus fine et adaptée aux besoins du gestionnaires, par exemple pour améliorer la compréhension de la distribution de l'iguane sur les ilets. La végétation actuelle sera comparée à celle inventoriée et cartographiée en 1995.

Enfin, l'étude sera l'occasion d'évaluer l'utilisation du drone comme outil de cartographie. La mise en œuvre de cette technique, si elle se montre efficace, peut être une avancée significative pour la gestion de la réserve mais aussi pour les autres gestionnaires d'espaces naturels des Antilles. Ce type d'outil paraît adapté aux végétations basses et pourrait donc être utilisés dans des milieux naturels comparables (Grande-Terre, Marie-Galante, Désirade, et ailleurs aux Antilles).

Objectifs

Cette étude poursuit deux objectifs :

1) **Effectuer une cartographie des habitats naturels terrestres de la réserve**

Cette cartographie doit se baser sur la production d'une couverture aérienne exhaustive de l'ensemble des ilets et sur un inventaire botanique au sol servant de base à l'interprétation des clichés aériens. La cartographie produite doit permettre de caractériser l'évolution des habitats naturels depuis plus de

25 ans, date du dernier inventaire réalisé par Rousteau (1995) et du biotope (en particulier trait de côte et salines) depuis la dernière cartographie au 1/12500e.

2) **Étudier l'utilité de la cartographie par drone en tant que méthode de cartographie des habitats reproductible à moindre coût pour un suivi simplifié et rapide de l'évolution.**

Il s'agit d'évaluer les avantages et inconvénients d'un inventaire par drone pour cartographier la réserve, voire d'évaluer la possibilité de cartographier la réserve sans réinventaire au sol dans le futur, notamment grâce à l'établissement d'une grille d'interprétation des habitats et des espèces qui les constituent à partir d'images aériennes.

Méthodes

Équipe

La mission a été réalisée par Philippe Berry (pilote drone), Ruben Penin (agent de la réserve et naturaliste), Lilian Procopio (botaniste) et Marc Gayot (écologue, chef du projet).

Calendrier et conditions de terrain

Les phases de terrain devaient être réalisées lors de la transition saison humide/saison sèche pour bénéficier d'une part d'une végétation au maximum de sa feuillaison et d'autre part de conditions météorologiques favorables au vol et à la prise de vue (vent faible, pluies limitées).

Après un repérage effectué fin 2019, une mission de terrain, incluant le survol intégral de Terre-de-Bas et la prise de vue pour les catalogues d'espèces et d'habitats, a eu lieu du 24/01/2021 au 26/01/2021. Une mission identique et complémentaire a été réalisée du 15/04/2021 au 16/04/2021 pour Terre-de-Haut lors de deux fenêtres météorologiques marquées par un ensoleillement fort malgré un ciel parfois voilé, atténuant fortement les ombres. Le vent oscillait autour de 8 à 11 nœuds (données Saint-François, d'après modèle GFS 13 km). Les temps de vol étaient trop longs pour permettre d'effectuer les vols sur des créneaux horaires particuliers : les ombres varient donc entre les prises de vue.

Le catalogue photo de la végétation a ensuite été finalisé en mai 2021. L'assemblage des clichés de survol a été réalisé par un prestataire externe (Jean-François FIDELIN) en septembre 2021. Pour construire la cartographie, l'assemblage a été analysé d'après le catalogue photo en novembre 2021.

Note : après la mission de repérage fin 2019, l'étude devait être réalisée fin 2020 mais a été retardée d'un an en raison des arrêtés de fermeture de la réserve lors de la pandémie COVID. À la réouverture, deux missions ont été successivement déprogrammées en raison du passage d'ondes tropicales.

Construction de l'orthophotographie

Le principe de cette cartographie est de réaliser une orthophotographie par drone des deux ilets et d'identifier sur celle-ci la répartition de chaque habitat à partir d'un catalogue de photos aériennes des espèces et l'interprétation des ensembles visibles sur les cartes. L'orthophotographie générale est construite par assemblage des photos issues de vols à hauteur fixe.

Il convient d'abord d'établir la hauteur de vol optimale de ces photos. Plus la hauteur de vol est haute, plus l'emprise de la photo est grande, ce qui réduit à la fois le temps de vol, la quantité de clichés nécessaire pour balayer l'ensemble des ilets, leur stockage et leur temps de traitement. En revanche, cela réduit aussi la qualité des images et la stabilité face aux vents.

Nous recherchons donc la hauteur maximale en deçà de laquelle les espèces dominantes restent identifiables à partir à l'aide du catalogue d'espèces (et si besoin en zoomant) et permettent de déterminer sûrement la composition principale des habitats. Cette hauteur dépend donc de la taille du capteur photo du drone et de la stabilité de l'engin dans les conditions de vent de l'archipel, qui vont déterminer la résolution finale.

Tests des hauteurs des vols

Pour tester la hauteur de vol optimale, plusieurs plantes de port et de physionomie très différentes (arbres, arbustes, herbes, agaves, etc.) sont identifiées au sol et marquées par de grandes pancartes numérotées visible de très haut (20x50 cm). Des photos aériennes sont ensuite prises à différentes hauteurs : 5, 10, 20, 30, 40, 50 et 80 m. Les clichés permettent d'obtenir des images de référence des plantes marquées. Ils sont ensuite examinés de façon à déterminer la hauteur maximale à laquelle les plantes des mêmes espèces sont identifiables directement et celle à laquelle des images aériennes de référence permettent d'identifier ces espèces sur les clichés.

Assemblage de l'orthophotographie

Une fois la hauteur de vol choisie, le drone est programmé pour effectuer un survol intégral des deux ilets avec une prise de photos automatisée à 90° (orthophoto). Le taux de recouvrement des clichés peut être éventuellement ajusté dans les limites permises pour un assemblage ultérieur fiable (>67%). L'emprise globale du survol est déterminée de façon à minimiser le temps de vol, donc en incluant le rivage mais en évitant tout cliché exclusivement marin. L'orientation des vols est optimisée par le programme du drone. Au final, l'assemblage des orthophotos a été réalisé avec l'interface Pix4DMapper.

Relevés de terrain

La réserve dispose de cairns numérotés (Figure 1), géolocalisés disposés tous les 100 m le long des sentiers des deux ilets. Ces cairns ont servi de point de repère où effectuer les relevés de terrain.

Chaque relevé comprend :

- Un inventaire des espèces présentes dans un rayon d'une dizaine de mètres autour du cairn, avec une estimation à vue des abondances relatives (D : espèce dominante ; C : espèce très présente ; B : espèce moyennement présente ; A : espèce peu visible et ne présentant que quelques individus ; i : espèce représentée par 1 seul ou 2 individus)
- Une description succincte de l'habitat autour du cairn,
- Des prises de vue géolocalisées aux hauteurs 10, 30 et 50 m, après avoir marqué les espèces principales par des pancartes numérotées visibles de très haut (20x50 cm). Ces photos doivent servir à construire le catalogue d'images de références des espèces et des habitats.

Étant donné le second objectif du projet qui est d'étudier l'utilité de la cartographie par drone en tant que méthode reproductible de cartographie, il a été choisi de maximiser l'échantillonnage pour maximiser le nombre de clichés disponibles par habitat et par espèce. Au total, 100 relevés botaniques au sol ont été effectués : 84 sur des cairns et 16 au niveau de points complémentaires, ce qui recouvre largement l'ensemble des habitats déjà identifiés par Rousteau en 1995 et permet d'illustrer la majorité des espèces recensées.

Figure 1. Cairns de la réserve, répartis tous les 100 m ils offrent un maillage de qualité, qui a été complété par des points supplémentaires (littoral ouest et est, intérieur des deux ilets, …)

Matériels et logiciels

Matériel de prise de vues

- Drone DJI Phantom 4 (quadricoptère, à caméra 4k UHD), homologué pour des vols jusqu'à 150 m de haut et 1000 m de distance horizontale par rapport au pilote ;
- 6 batteries, soit 3H de vol/j ;
- Tablette avec pare-soleil et trépied ;
- Carte mémoire totalisant 256 MO
- Ordinateur pour rassembler les clichés journaliers
- Mires de 20x50 cm, cartonnées, de couleur marron clair, avec numéro inscrit au pinceau bleu-sombre. À chaque numéro est attribuée une espèce (le plus souvent dominante), identique pour toute la mission.

Logiciels utilisés

- Pour la programmation des survols : Pix4DCapture
- Pour la lecture des données EXIF : xnView (seule interface gratuite permettant de lire *toutes* les données EXIF et notamment les altitudes absolues et relatives)
- Pour l'assemblage des orthophotos : Pix4DMapper
- Pour le détourage des habitats : Gimp (solution peu efficace) puis ArcGIS
- Pour le géoréférencement des habitats : QGIS/ArcGIS

Résultats et discussion

Les résultats sont présentés en 3 parties :

- Cartographie des habitats terrestres de Petite-Terre (État actuel et évolution)
- Outils de détection (Catalogues des habitats et des espèces)
- Le drone comme outil de cartographie (analyse et recommandations).

Remarques préliminaires sur la topographie et la végétation des ilets de Petite-Terre

Les ilets de Petite-Terre sont deux petits plateaux calcaires bordés de récifs. Les plateaux culminent dans leur secteur oriental sud (à 8 m pour Terre-de-Bas et 5 m pour Terre-de-Haut ; Figure 2), où ils sont les plus exposés aux alizés et aux houles dominantes venues de l'est-sud-est. Ces zones exposées correspondent aux zones rocheuses, voire à des microfalaises plus ou moins effondrées.

Chaque plateau s'incline doucement vers l'ouest-nord-ouest, où, charriés par les vents et les courants de dérive et rebattus par les fortes houles saisonnières venues du nord, s'accumulent les sédiments, au point d'avoir formé sur Terre-de-Bas un cordon sableux ayant piégé la mer dans des dépressions lagunaires. Ce cordon sableux, contrairement aux côtes rocheuses, est mobile.

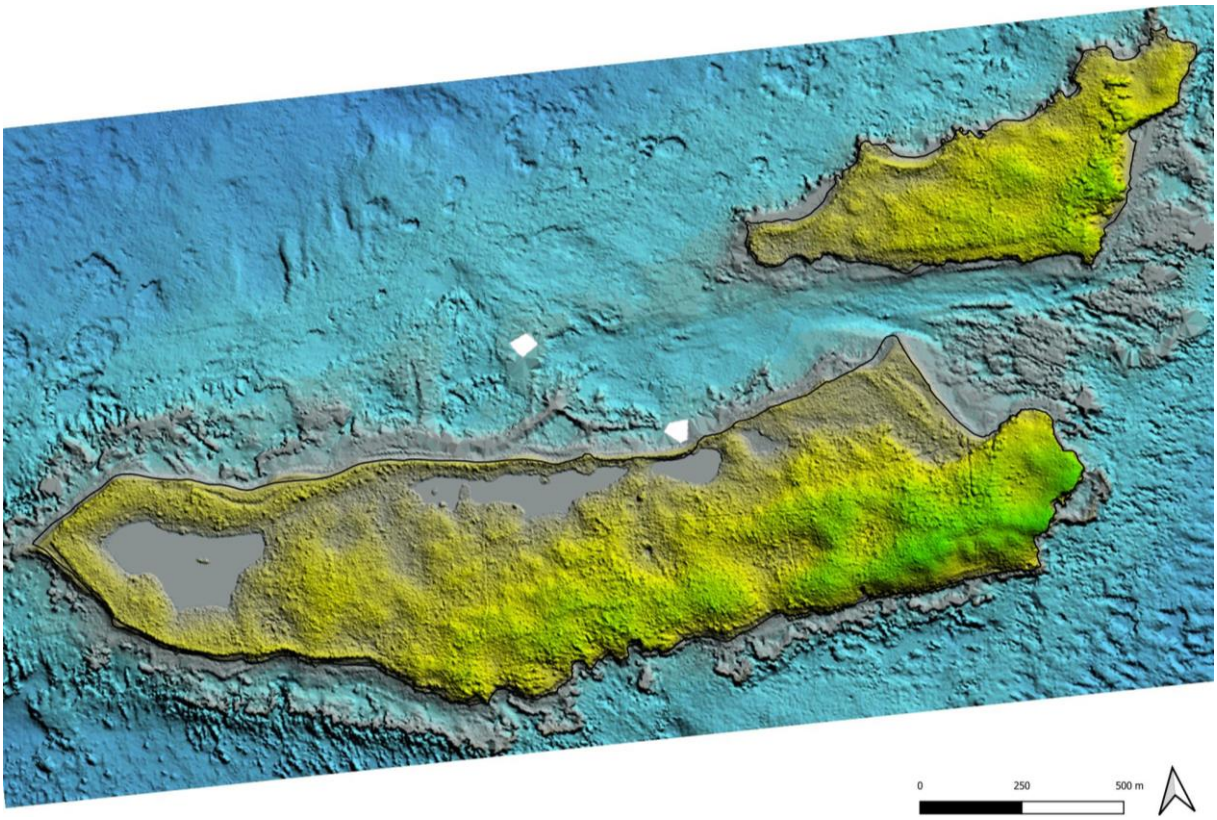


Figure 2. Relief des ilets de Petite-Terre (données 2016, SHOM Litto3D®) et trait de côte 2021

Comme le montre la Figure 2, chaque ilet peut donc être schématiquement divisé en un socle calcaire correspondant aux secteurs élevés des plateaux (sud-est) et en un littoral sableux (nord-ouest ; teintes bleu sombre de la Figure 2). À cela s'ajoute, suivant l'exposition aux vents et aux courants et suivant la présence de récifs protecteurs, un cordon de plages étroites s'étirant sur une bonne partie du périmètre des deux ilets, et particulièrement dans les secteurs occidentaux.

Cette configuration se traduit par une végétation très grossièrement répartie ainsi :

- Les secteurs rocheux exposés sont dominés par des pelouses lithophiles soumises aux embruns ou, plus en retrait, des fourrés anémomorphes,
- À l'arrière de ces secteurs exposés, les plateaux sont dominés par des fourrés, voire des fourrés arborés, qui ont été possiblement forestiers dans le passé,
- Les secteurs les plus abrités sont les plus propices à une végétation arborée et les dépressions lagunaires sont bordées de mangroves ou de formations associées,
- Les cordons sableux du littoral sont dominés par des rideaux successifs de plantes psammophiles au port s'élevant vers l'intérieur des terres.

Cartographie des habitats terrestres de Petite-Terrex

Typologie des formations végétales

La végétation de Petite-Terre, à l'échelle de notre étude, présente un aspect très mosaïqué et imbriqué et une assez grande variété des cortèges floristiques. Cette configuration complexifie toute tentative de typologie. L'utilisation du drone a cependant permis de créer une typologie riche de 33 formations végétales qui reflètent cette configuration.

Étant donné la très petite échelle de l'étude et la particularité des ilets très bas et très secs de Petite-Terre, cette typologie est propre à Petite-Terre et peu appropriée à d'autres zones de Guadeloupe (même si de possibles correspondances sont à tester avec la Pointe des Châteaux).

La typologie retenue comprend 33 formations végétales, regroupées en 11 grands types dont 4 littoraux (Figure 3) et détaillées dans le Tableau 2 (les correspondances entre formations et vues par drone sont présentées dans le Tableau 7). Les formations végétales retenues sont classées selon leurs cortèges spécifiques et la hauteur de couvert évaluée à l'œil – cette hauteur est, pour la plupart des formations, corrélée à la richesse spécifique : A1 correspondant aux zones herbacées de petites lithophiles limitées à quelques espèces et adaptées aux conditions drastiques des rochers exposés aux embruns, I1 à J2 correspondent aux forêts de poiriers et mancenilliers plus hautes et riches abritant un sous-bois relativement diversifié.

L'ensemble des formations représente 140 ha et est largement dominé par des formations arbustives (84 ha). Les formations arborées représentent 35 ha (dont 7 ha de mangrove). Le reste correspond à d'une part aux zones herbacées (10 ha), généralement littorales, sur sable ou sur roche, et d'autre part aux étendues libres des lagunes (10 ha).

Note : Rousteau, en 1995, a établi une typologie des ilets de Petite-Terre, avec une cartographie associée. Bien que s'en rapprochant, la typologie utilisée ici n'est pas complètement compatible avec celle de Rousteau (cf. p22 pour plus d'explications). Les correspondances approchées sont données dans le Tableau 1.

Cartes des formations végétales

Les formations végétales de Petite-Terre sont présentées sur quatre cartes dans les pages suivantes :

1) *Vue aérienne de la réserve naturelle des ilets de Petite-Terre*, correspondant à l'assemblage des prises de vue par drone à 50 m au niveau du sol entre le 24 et 26 janvier 2021 ;
2) *Formations végétales des ilets de Petite-Terre*, correspondant à la cartographie des 33 types des formations végétales définies dans cette étude ;
3) *Formations végétales superposées à la vue aérienne des ilets de Petite-Terre*, permettant de comprendre la délimitation visuelle des formations végétales ;
4) *Formations végétales et hauteurs du couvert végétal des ilets de Petite-Terre*, permettant de comparer les hauteurs de canopée de 2012 à la délimitation visuelle des formations végétales.

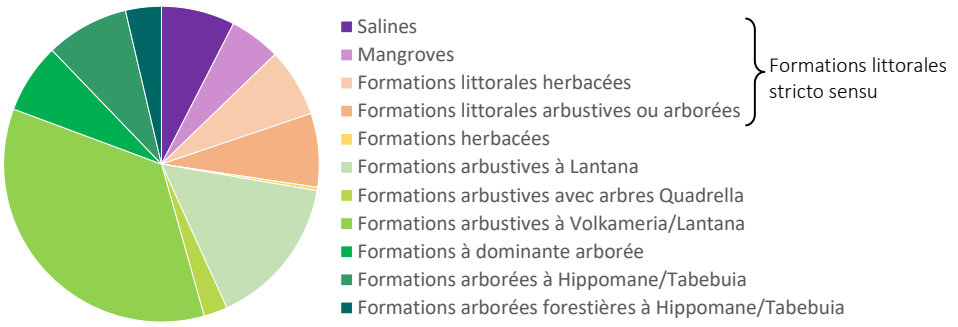


Figure 3. Répartition des grands types de formations végétales terrestres (avec télédétection par drone).

Tableau 1. Formations végétales terrestres (avec télédétection par drone).

	FORMATIONS VÉGÉTALES	AIRE (HA)	correspondance Rousteau
FORMATIONS LITTORALES STRICTO SENSU (EN BLEU : exclusivement sur littoral sableux)	**Formations herbacées littorales**	**9,8**	
	B1 - Végétation herbacée à Pectis#sur littoral sableux	0,5	3
	B2 - Végétation herbacée à *Sesuvium*/Portulaca#avec arbustes de Tournefortia/Suriana sur littoral sableux	1,0	3
	B3 - Végétation herbacée basse à *Sesuvium*#avec arbustes à Capraria/*Lantana*	0,1	3
	Formations arbustives (voire arborées) littorales	**10,5**	
	C1 - Végétation dominante arborée (Cocoteraie)#sur littoral sableux	0,8	4
	D1 - Végétation arbustive à Suriana/Tournefortia#sur littoral sableux	0,4	3
	D2 - Végétation arbustive à Coccoloba#sur littoral sableux	2,1	4
	D3 - Végétation arbustive à Coccoloba/*Lantana*/Ernodea#sur littoral sableux	2,7	4
	D4 - Végétation arbustive à Coccoloba/Conocarpus#sur littoral sableux	0,5	4
	D5 - Végétation arbustive à Coccoloba#avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane) sur littoral sableux	4,1	4
	Formations associées aux dépressions littorales	**17,3**	
	K1 - Mangrove à Conocarpus/Laguncularia	7,2	1
	K2 - Mangrove à Conocarpus/Laguncularia et Rhizophora	0,1	2
	L1 – Saline	10,5	-
	TOTAL	**37,6**	
AUTRES FORMATIONS (EN VERT : formations majoritairement sur littoral sableux)	**Formations herbacées**	**0,5**	
	A1 - Végétation à herbacées lithophiles#sur littoral rocheux	8,2	6
	E1 - Végétation herbacée à Bothriochloa bladhii	0,5	-
	Formations arbustives à *Lantana*	**21,7**	
	F1 - Végétation arbustive à *Lantana*	6,9	8, 9
	F2 - Végétation arbustive à *Lantana*#avec Hippomane anémomorphes	10,1	8, 9
	F3 - Végétation arbustive à *Lantana*#avec arbres disséminés (Tabebuia)	4,7	8, 9
	Formations arbustives avec arbres Quadrella	**3,4**	
	F4 - Végétation arbustive (Rauvolfia semperflorens) basse#et herbacée avec arbres disséminés (Quadrella spp.)	0,9	8, 9
	F5 - Végétation arbustive (Rauvolfia semperflorens)#et herbacée avec arbres disséminés(Rauvolfia viridis/#Quadrella spp.)	0,6	8, 9
	F6 - Végétation arbustive à *Volkameria*/Croton#avec arbres disséminés (Quadrella spp) et agaves	1,9	8, 9
	Formations arbustives à *Volkameria/Lantana*	**49,0**	
	G1 - Végétation arbustive à *Volkameria/Lantana*	2,6	10
	G2 - Végétation arbustive à *Volkameria/Lantana*#avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane)	1,4	10
	G3 - Végétation arbustive à *Volkameria/Lantana*#avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane/*Guaiacum*)	28,8	10
	G4 - Végétation arbustive à *Volkameria/Lantana*#et arborée (Pithecellobium/Vachelia)	2,6	10
	G5 - Végétation arbustive à *Volkameria/Lantana*#et arborée (Pithecellobium/Tabebuia)	5,9	10, 12
	Formations à dominante arborée	**10,0**	
	H1 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia#et fourrés à *Volkameria*/Croton	7,6	10
	H2 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia#(avec Coccoloba) et fourrés à *Lantana*	4,0	10
	H3 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia#(avec *Guaiacum*) et fourrés à *Volkameria/Lantana*	6,0	12
	Formations arborées à Hippomane/Tabebuia	**11,9**	
	I1 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia#(avec Pithecellobium) et fourrés à *Volkameria/Lantana*	5,0	12
	I2 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia#(avec *Guaiacum* et Bursera) et fourrés à *Volkameria/Lantana*	4,1	12
	I3 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia#(avec Pithecellobium) et fourrés à *Lantana*	2,8	5
	Formations arborées forestières à Hippomane/Tabebuia	**5,1**	
	J1 - Végétation arborée forestière à Hippomane/Tabebuia	0,9	5, 12
	J2 - Végétation arborée forestière à Hippomane/Tabebuia#(avec Coccoloba) et fourrés à *Volkameria/Lantana*	2,8	5, 12
	TOTAL	**101,5**	
TOTAL GÉNÉRAL		**140,0**	

Tableau 2. Catalogue des formations végétales des Ilets de Petite-Terre

FORMATIONS HERBACEÉS LITTORALES	
B1 - Végétation herbacée à *Pectis* sur littoral sableux	Végétation herbacée en cordon de bord de mer sableux. Zones arborées (minoritaires) : Présence ponctuelle d'*Hippomane mancinella* (i) et *Cocos nucifera* (i). Zones arbustives (minoritaires) : dominée par *Tournefortia gnaphaloides* (D, présent en petites taches espacées) et *Suriana maritima* (B). Zones herbacées : dominées par *Pectis humifusa* (D).
B2 - Végétation herbacée à *Sesuvium/Portulaca* avec arbustes de *Tournefortia/Suriana* sur littoral sableux	Végétation herbacée en cordon de bord de mer sableux. Zones arbustives (minoritaires) : *Tournefortia gnaphaloides* (C) et *Suriana maritima* (B), et sporadiquement en arrière-plage *Lantana involucrata* (A). Zones herbacées : dominées par l'association en tapis de *Sesuvium portulacastrum* (D) et de *Portulaca halimoides* (couleur similaire tâches plus petites), avec aussi *Pectis humifusa*, *Cyperus juncus* ? (C).
B3 - Végétation herbacée basse à *Sesuvium* avec arbustes à Capraria/*Lantana* sur littoral sableux	Zones arbustives basses (minoritaires) : dominées par Capraria biflora (C) et *Lantana involucrata* (B). Zones herbacées : dominées par *Sesuvium portulacastrum* (D). Note : cet habitat est potentiellement une ancienne zone de mangrove.
FORMATIONS ARBUSTIVES (OU ARBORÉES) LITTORALES	
C1 - Végétation dominante arborée (Cocoteraie) sur littoral sableux	Zones arborées : composée presque exclusivement de *Cocos nucifera* (D). Zones arbustives (minoritaires) : *Suriana maritima* (C) associé à *Coccoloba uvifera* (B), *Tournefortia gnaphaloides* (B), *Borrichia arborescens* (B), *Thespesia populnea* (i) ou *Conocarpus erectus* (i). Note : habitat très modifié par l'homme (cocotiers et strate arbustive ou herbacée peu étendue car zone très fréquentée).
D1 - Végétation arbustive à *Suriana/Tournefortia* sur littoral sableux	Zones arbustives : dominées par *Suriana maritima* (D), avec, vers la mer, *Tournefortia gnaphaloides* (C) ou, vers la terre, *Hippomane mancinella* (A, prostré) et *Lantana involucrata* (A). Zones herbacées (minoritaires) : composées par *Euphorbia mesembryanthemifolia* (A) et, plus rare, *Pectis humifusa* (A).
D2 - Végétation arbustive à *Coccoloba* sur littoral sableux	Zones arborées (minoritaires) : dominées par *Coccoloba uvifera* (A) avec *Tabebuia heterophylla* (A), *Hippomane mancinella* (A) et *Pithecellobium unguis-cati* (A). Présence ponctuelle de *Cocos nucifera* (i). Zones arbustives : dominées par *Coccoloba uvifera* (D) avec *Suriana maritima* (i).
D2 - Végétation arbustive à *Coccoloba* sur littoral sableux	Zones arborées (minoritaires) : dominées par *Coccoloba uvifera* (A) avec *Tabebuia heterophylla* (A), *Hippomane mancinella* (A) et *Pithecellobium unguis-cati* (A). Présence ponctuelle de *Cocos nucifera* (i). Zones arbustives : dominées par *Coccoloba uvifera* (D) avec *Suriana maritima* (i).
D3 - Végétation arbustive hétérogène à *Coccoloba*/Ernodea/Acacia/*Lantana* sur littoral sableux	Zones arbustives hautes (minoritaires) : dominée par *Coccoloba uvifera* (D) associés à de nombreuses autres espèces (en périphérie et formant un arrière-cordon littoral). Zones arbustives basses : dominées par *Lantana involucrata* (D) et Ernodea littoralis (C), Acacia spp. (A-C), et de nombreuses autres espèces (*Solanum bahamense*, A ; *Hippomane mancinella*, A ; *Agave karatto*, A ; etc.).
D4 - Végétation arbustive à *Coccoloba/Conocarpus* sur littoral sableux	Zones arbustives : dominées par *Conocarpus erectus* (D) associé à *Coccoloba uvifera* (B), *Lantana involucrata* (A) et Bontia daphnoides (A). Présence ponctuelle de *Suriana maritima* (i) et *Tournefortia gnaphaloides* (i).
D5 - Végétation arbustive à *Coccoloba* avec arbres disséminés (*Tabebuia/Hippomane*) sur littoral sableux	Végétation arbustive et arborée de cordon littoral sableux (bord de plage ou arrière-plage). Zones arborées : dominées par *Coccoloba uvifera* (D), avec ponctuellement *Hippomane mancinella* (B), *Tabebuia heterophylla* (B) et, plus rare, *Cocos nucifera* (A). Zones arbustives : dominées par l'association de *Volkameria aculeata* (A) avec *Lantana involucrata* (A) dans la partie Nord.
FORMATIONS ASSOCIÉES AUX DÉPRESSIONS LITTORALES	
K1 - Mangrove à *Conocarpus/Laguncularia*	Zones arborées : dominées par *Conocarpus erectus* (D, à l'amont) et *Laguncularia racemosa* (C, l'aval). Le cordon de C. erectus est suivant les sections, soit pur, soit mélangé à *Pithecellobium unguis-cati* (B) et *Solanum bahamense* (B) ainsi que *Bontia daphnoides* (A, une seule tache). Note : un gradient de mélange de *L. racemosa* et *Avicennia germinans* en faveur de *A. germinans* d'est en ouest est observable. La lagune étant en bord de mer, la végétation comprend des zones ouvertes sur plages *Sesuvium portulacastrum* (B), *Cocos nucifera* (i) en bord de mer qui, à l'Ouest et à l'Est de la lagune, semblent délimiter une surface plus grande, anciennement en eau.
K2 - Mangrove à *Conocarpus/Laguncularia* et *Rhizophora*	Végétation de mangrove arborée. Zones arborées : dominées par *Rhizophora mangle* (côté lagune) et sinon par *Laguncularia racemosa* associé à *Conocarpus erectus*.
L1 – Lagunes	
FORMATIONS HERBACÉES	
A1 - Végétation anémophile à herbacées lithophiles sur littoral rocheux	Zones arbustives (minoritaires) : dominées par *Lantana involucrata* (C) et *Solanum bahamense* (i). Zones herbacées : dominées par *Sporobolus virginicus* (D) ou par *Paspalum vaginatum* (D), associées à *Pectis humifusa* (A) et *Portulaca halimoides* (A), sur roche.
E1 - Végétation herbacée à *Bothriochloa bladhii*	Zones herbacées : dominée par *Bothriochloa bladhii* (D), sous forme de tâches monospécifiques.
VÉGÉTATION ARBUSTIVE À *LANTANA*	
F1 - Végétation arbustive à *Lantana*	Zones arbustives : dominées par *Lantana involucrata* (D) en peuplements quasi-monospécifiques denses. Rares petits *Tabebuia heterophylla* (i). Zones herbacées (minoritaires) : *Paspalum virginatum* (A) et *Bothriochloa bladhii* (A). Note : Présence de troncs morts d'*Hippomane mancinella*.
F2 - Végétation anémophile arbustive à *Lantana* avec *Hippomane*	Zones arbustives : dominées par *Hippomane mancinella* (A), prostré, associé à *Lantana involucrata* (C).
F3 - Végétation arbustive à *Lantana* avec arbres disséminés (*Tabebuia*)	Végétation arbustive avec arbres disséminés. Zones arborés (minoritaires) : ilots forestiers ou individus de *Tabebuia heterophylla* (D). Zones arbustives : dominées par *Lantana involucrata* (D) en peuplement bas et peu denses. Zones herbacées : présence de taches de *Sporobolus virginicus* (B) et *Paspalum virginatum* (A) et *Stachytapherta jamaicensis* (A) au sein des buissons de *Lantana*.
VÉGÉTATION ARBUSTIVE AVEC ARBRES DISSÉMINÉS (QUADRELLA)	

F4 - Végétation anémophile arbustive (*Rauvolfia* semperflorens) basse, herbacée, arbres disséminés (*Quadrella* spp.)	Zones arborées (minoritaires) : quelques *Quadrella* spp. Zones arbustives basses : dominée par *Rauvolfia semperflorens* var. viridis. Zones herbacées : dominées par *Opuntia triacantha* ou par des poaceae lithophiles.
F5 - Végétation anémophile arbustive (*Rauvolfia* semperflorens) et herbacée avec arbres disséminés (*Rauvolfia viridis*/*Quadrella* spp.)	Zones arborées (minoritaires) : ilots arborés ou individus de *Rauvolfia* viridis (D) et *Quadrella* spp. (B). Zones arbustives : dominées par *Rauvolfia semperflorens* var. *viridis* (D), *Lantana involucrata* (C) et *Croton flavens* (B). Zones herbacées : présence de dépressions humides où domine une strate herbacée composée d'*Opuntia triacantha* (A), *Blutaparon vermiculare* (B), *Bothriochloa bladhii* (B), *Fimbristylis cymosa* (A) et *Bothriochloa pertusa* (A).
F6 - Végétation arbustive à *Volkameria*/Croton avec arbres disséminés (*Quadrella* spp) et agaves	Zones arborées (minoritaires) : ilots arborés ou individus de *Quadrella cynophallophora* (C) et *Quadrella* indica (B). Présence de *Ficus citrifolia* (i) et *Agave karatto* (C). Zones arbustives : dominées par *Volkameria aculeata* (D), associé à *Croton flavens* (C) et *Solanum bahamense* (B). Note : habitat historiquement anthropisé, où a été potentiellement planté *Agave karatto* (C) à proximité des habitations.
VÉGÉTATION ARBUSTIVE À *VOLKAMERIA/LANTANA*	
G1 - Végétation arbustive à *Volkameria*/*Lantana*	Zones arbustives : dominées par *Lantana involucrata* (D) et *Volkameria aculeata* (B), avec Coccoloba uvifera (B), *Solanum bahamense* (A) et *Pithecellobium unguis-cati* (A).
G2 - Végétation arbustive à *Volkameria*/*Lantana* avec arbres disséminés (*Tabebuia*/*Hippomane*)	Zones arborées (minoritaires) : individus de *Tabebuia heterophylla* (A) et *Hippomane mancinella* (A), avec *Pithecellobium unguis-cati* (i). Zones arbustives : dominées par *Volkameria aculeata* (D) et *Lantana involucrata* (C), *Croton flavens* (B). Note : transition entre la frange littorale, celle de la mangrove et les ilots arborés de *Tabebuia heterophylla*.
G3 - Végétation arbustive à *Volkameria*/*Lantana* avec arbres disséminés (*Tabebuia*/*Hippomane*/*Guaiacum*)	Zones arborées (minoritaires) : individus de *Tabebuia heterophylla* (A) et *Hippomane mancinella* (A), *Guaiacum officinale* (A) et *Vachellia farnesiana* (A). Zones arbustives : dominées par *Volkameria aculeata* (D) et *Lantana involucrata* (C), *Vachellia farnesiana* (C), *Croton flavens* (B) et *Solanum bahamense* (A). Présence d'une tache de *Eupatorium integrifolium* (A).
G4 - Végétation arbustive à *Volkameria*/*Lantana* et arborée (*Pithecellobium*/*Vachellia*)	Zones arborées : dominées par *Pithecellobium unguis-cati* (D), Vachellia farnesiana (C) et *Hippomane mancinella* (B). Zones arbustives (minoritaires) : dominées par *Volkameria aculeata* (C) et *Lantana involucrata* (C). Présence occasionnelle de *Schaefferia frutescens* (i).
G5 - Végétation arbustive à *Volkameria*/*Lantana* et arborée (Pithecellobium/*Tabebuia*)	Zones arborées : dominées par *Tabebuia heterophylla* (C) et *Pithecellobium unguis-cati* (C), avec *Hippomane mancinella* (A) et *Guaiacum officinale* (A). Zones arbustives : dominées par *Volkameria aculeata* (D) et *Lantana involucrata* (C), avec *Solanum bahamense* (B) et *Croton flavens* (B).
FORMATIONS À DOMINANTE ARBORÉE	
H1 - Végétation à dominante arborée à *Hippomane*/*Tabebuia* et fourrés à *Volkameria*/*Croton*	Zones arborées (minoritaires) : dominées par *Hippomane mancinella* (C) et *Tabebuia heterophylla* (C), avec *Pithecellobium unguis-cati* (B) et *Vachellia farnesiana* (A). Zones arbustives : dominées par *Volkameria aculeata* (D), associé à *Croton flavens* (B) et *Solanum bahamense* (B). Note : à l'Est, présence d'*Agave karatto* (A). [RETIRER PHOTO SENTIER]
H2 - Végétation à dominante arborée à *Hippomane*/*Tabebuia* (avec *Coccoloba*) et fourrés à *Lantana*	Zones arborées : dominés par des ilots de *Tabebuia heterophylla* (C), *Coccoloba uvifera* (C) et *Hippomane mancinella* (A). Zones arbustives : dominées par *Lantana involucrata*. Zones herbacées : dominées par *Cyperus planifolius* (A)
H3 - Végétation à dominante arborée à *Hippomane*/*Tabebuia* (avec *Guaiacum*) et fourrés à *Volkameria*/*Lantana*	Végétation arbustive et arborée. Zones arborées : dominées par *Guaiacum officinale* (D), avec *Tabebuia heterophylla* (C), *Hippomane mancinella* (C) et *Bursera simaruba* (B). Présence de *Vachellia farnesiana* (A) et *Pithecellobium unguis-cati* (A). Zones arbustives : dominées par *Volkameria aculeata* (C), *Lantana involucrata* (C) et *Croton flavens* (B).
FORMATIONS ARBORÉES À *HIPPOMANE/TABEBUIA*	
I1 - Végétation arborée à *Hippomane*/*Tabebuia* (avec Pithecellobium) et fourrés à *Volkameria*/*Lantana*	Zones arborées : dominée par *Hippomane mancinella* (D) et *Tabebuia heterophylla* (C), avec Pithecellobium unguis-cati (A). Zones arbustives (minoritaires) : dominées par *Volkameria aculeata* (A) et *Lantana involucrata* (C). Présence de Vachellia farnesiana(A) et *Croton flavens* (A).
I2 - Végétation arborée à *Hippomane*/*Tabebuia* (avec *Guaiacum* et Bursera) et fourrés à *Volkameria*/*Lantana*	Végétation de mangrove arborée. Zones arborées : dominées par *Hippomane mancinella* (C) et *Tabebuia heterophylla* (D) avec, plus rare, *Guaiacum* officinale (A) et Bursera simaruba (A). Zones arbustives (minoritaires) : dominées par *Lantana involucrata* (C) et *Volkameria* aculeata (C), avec *Croton flavens* (B).
I3 - Végétation arborée à *Hippomane*/*Tabebuia* (avec Pithecellobium) et fourrés à *Lantana*	Végétation arbustive et arborée, à dominante arborée. Zones arborées : dominées par des îlots de *Tabebuia heterophylla* (D) et *Hippomane mancinella* (A), avec *Pithecellobium unguis-cati* (B) Zones arbustives (minoritaires) : dominées par *Lantana involucrata* (C).
FOMATIONS ARBORÉES FORESTIÈRES À *HIPPOMANE/TABEBUIA*	
J1 - Végétation arborée forestière à *Hippomane*/*Tabebuia*	Zones arborées : dominées par des *Hippomane mancinella* (D) et *Tabebuia heterophylla* (C). Présence ponctuelle de *Pithecellobium unguis-cati* (i), *Cocos nucifera* (i), Bontia daphnoides (i) et, sous couvert, *Opuntia triacantha* (A) par taches ou *Lantana involucrata* (B, en bord de mer).
J2 - Végétation arborée forestière à *Hippomane*/*Tabebuia* (avec *Coccoloba*) et fourrés à *Volkameria*/*Lantana*	Zones arborées : dominées par *Hippomane mancinella* (C) et *Tabebuia heterophylla* (C), voire *Coccoloba uvifera* (C), *Guaiacum officinale* (i) et *Suriana maritima* (i) et, sous couvert, Caesalpinia bonduc (B, en bord de mer). Zones arbustives (minoritaires) : dominées par *Volkameria aculeata* (C) et *Lantana involucrata* (C).
AUTRES	
M1 – Zones construites ou piétinées du phare	

Vue arienne de la Réserve Naturelle des Ilets de Petite-Terre

Sources :
- partie terrestre : Gayot M., Penin R., Procopio L. & P. Berry. 2023. Cartographie par drone de la végétation des ilets de Petite-Terre. ONF, Guadeloupe.
- partie marine : BDORTHO(c)IGN 2017

Office National des Forêts

OFB OFFICE FRANCAIS DE LA BIODIVERSITÉ

ASSOCIATION Tité

Réserve Naturelle ILES DE LA PETITE TERRE

0 250 500 m

Vue arienne de la Réserve Naturelle des Ilets de Petite-Terre

Assemblage de photos prises par drone en janvier 2021 à 50 m de hauteur par rapport au sol.

Gayot M., Penin R., Procopio L. & P. Berry. 2023. Cartographie par drone de la végétation des ilets de Petite-Terre. ONF, Guadeloupe.

0 250 500 m

Formations végétales des ilets de Petite-Terre

Gayot M., Penin R., Procopio L. & P. Berry. 2023. Cartographie par drone de la végétation des ilets de Petite-Terre. ONF, Guadeloupe.

Formations herbacées littorales

- B1 - Végétation herbacée à Pectis sur littoral sableux
- B2 - Végétation herbacée à Sesuvium/Portulaca avec arbustes de Tournefortia/Suriana sur littoral sableux
- B3 - Végétation herbacée basse à Sesuvium avec arbustes à Capraria/Lantana

Formations arbustives ou arborées littorales

- C1 - Végétation dominante arborée (Cocoteraie) sur littoral sableux
- D1 - Végétation arbustive à Suriana/Tournefortia sur littoral sableux
- D2 - Végétation arbustive à Coccoloba sur littoral sableux
- D3 - Végétation arbustive à Coccoloba/Lantana/ Ernodea sur littoral sableux
- D4 - Végétation arbustive à Coccoloba/Conocarpus sur littoral sableux
- D5 - Végétation arbustive à Coccoloba avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane) sur littoral sableux

Formations associées aux dépressions littorales

- K1 - Mangrove à Conocarpus/Laguncularia
- K2 - Mangrove à Conocarpus/Laguncularia et Rhizophora
- L1 - Lagunes

Formations herbacées

- A1 - Végétation anémophile herbacée lithophile sur littoral rocheux
- E1 - Végétation herbacée à Bothriochloa bladhii

Formations arbustives à Lantana

- F1 - Végétation arbustive à Lantana
- F2 - Végétation anémophile arbustive à Lantana avec Hippomane anémomorphes
- F3 - Végétation arbustive à Lantana avec arbres disséminés (Tabebuia)

Formations arbustives avec arbres Quadrella

- F4 - Végétation anémophile arbustive (Rauvolfia semperflorens) basse, herbacée avec arbres disséminés (Quadrella spp.)
- F5 - Végétation arbustive (Rauvolfia semperflorens) et herbacée avec arbres disséminés (Rauvolfia viridis/Quadrella spp.)
- F6 - Végétation arbustive à Volkameria/Croton avec arbres disséminés (Quadrella spp) et agaves

Formations arbustives à Volkameria/Lantana

- G1 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana
- G2 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane)
- G3 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane/Guaiacum)
- G4 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana et arborée (Pithecellobium/Vachelia)
- G5 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana et arborée (Pithecellobium/Tabebuia)

Formations à dominante arborée

- H1 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia et fourrés à Volkameria/Croton
- H2 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Coccoloba) et fourrés à Lantana
- H3 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Guaiacum) et fourrés à Volkameria/Lantana

Formations arborées à Hippomane/Tabebuia

- I1 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Pithecellobium) et fourrés à Volkameria/Lantana
- I2 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Guaiacum et Bursera) et fourrés à Volkameria/Lantana
- I3 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Pithecellobium) et fourrés à Lantana

Formations arborées forestières à Hippomane/Tabebuia

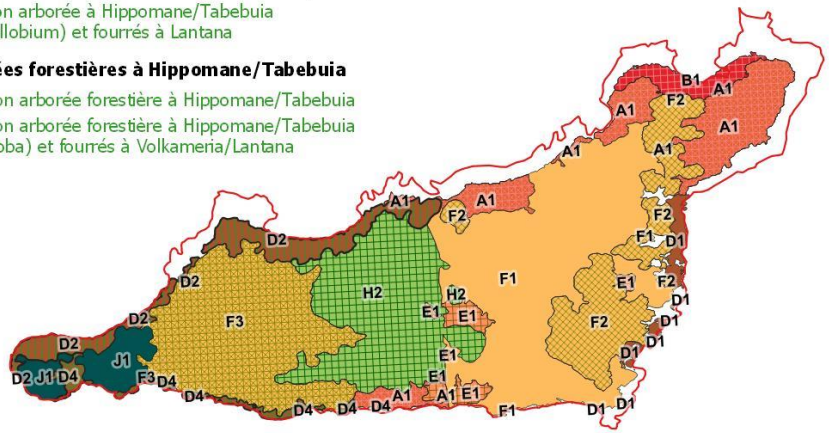
- J1 - Végétation arborée forestière à Hippomane/Tabebuia
- J2 - Végétation arborée forestière à Hippomane/Tabebuia (avec Coccoloba) et fourrés à Volkameria/Lantana

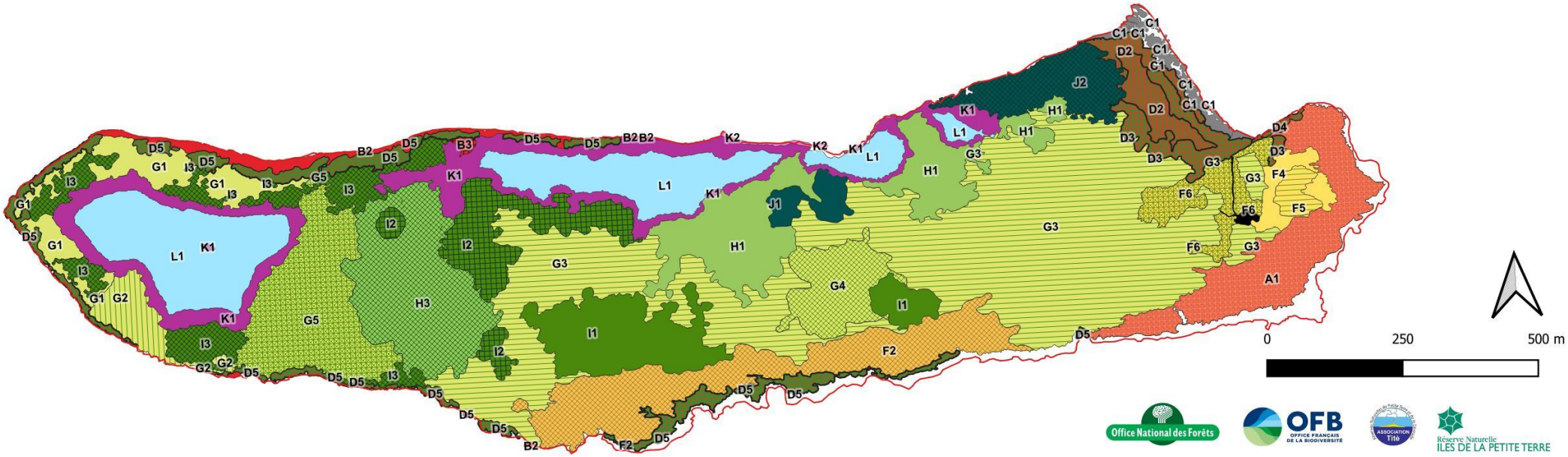
Autres

- M1 - Zones construites ou piétinées du phare
- O1 - Absence de végétation

Trait de côte 2021

En bleu : exclusivement sur littoral sableux
En vert : majoritairement sur littoral sableux





Office National des Forêts
OFB OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ
ASSOCIATION Tité
Réserve Naturelle ILES DE LA PETITE TERRE

Formations végétales superposées à la vue aérienne de la réserve naturelle des ilets de Petite-Terre

Gayot M., Penin R., Procopio L. & P. Berry. 2023. Cartographie par drone de la végétation des ilets de Petite-Terre. ONF, Guadeloupe.

Formations végétales

A1 - Végétation herbacée lithophile sur littoral rocheux

B1 - Végétation herbacée à Pectis
sur littoral sableux

B2 - Végétation herbacée à Sesuvium/Portulaca
avec arbustes de Tournefortia/Suriana sur littoral sableux

B3 - Végétation herbacée basse à Sesuvium
avec arbustes à Capraria/Lantana

C1 - Végétation dominante arborée (Cocoteraie)
sur littoral sableux

D1 - Végétation arbustive à Suriana/Tournefortia
sur littoral sableux

D2 - Végétation arbustive à Coccoloba
sur littoral sableux

D3 - Végétation arbustive à Coccoloba/Lantana/Ernodea
sur littoral sableux

D4 - Végétation arbustive à Coccoloba/Conocarpus
sur littoral sableux

D5 - Végétation arbustive à Coccoloba
avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane) sur littoral sableux

E1 - Végétation herbacée à Bothriochloa bladhii

F1 - Végétation arbustive à Lantana

F2 - Végétation arbustive à Lantana
avec Hippomane anémomorphes

F3 - Végétation arbustive à Lantana
avec arbres disséminés (Tabebuia)

F4 - Végétation arbustive (Rauvolfia semperflorens) basse
et herbacée avec arbres disséminés (Quadrella spp.)

F5 - Végétation arbustive (Rauvolfia semperflorens)
et herbacée avec arbres disséminés (Rauvolfia viridis/Quadrella spp.)

F6 - Végétation arbustive à Volkameria/Croton
avec arbres disséminés (Quadrella spp) et agaves

G1 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana

G2 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana
avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane)

G3 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana
avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane/Guaiacum)

G4 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana
et arborée (Pithecellobium/Vachelia)

G5 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana
et arborée (Pithecellobium/Tabebuia)

H1 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia
et fourrés à Volkameria/Croton

H2 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia
(avec Coccoloba) et fourrés à Lantana

H3 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia
(avec Guaiacum) et fourrés à Volkameria/Lantana

I1 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia
(avec Pithecellobium) et fourrés à Volkameria/Lantana

I2 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia
(avec Guaiacum et Bursera) et fourrés à Volkameria/Lantana

I3 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia
(avec Pithecellobium) et fourrés à Lantana

J1 - Végétation arborée forestière à Hippomane/Tabebuia

J2 - Végétation arborée forestière à Hippomane/Tabebuia
(avec Coccoloba) et fourrés à Volkameria/Lantana

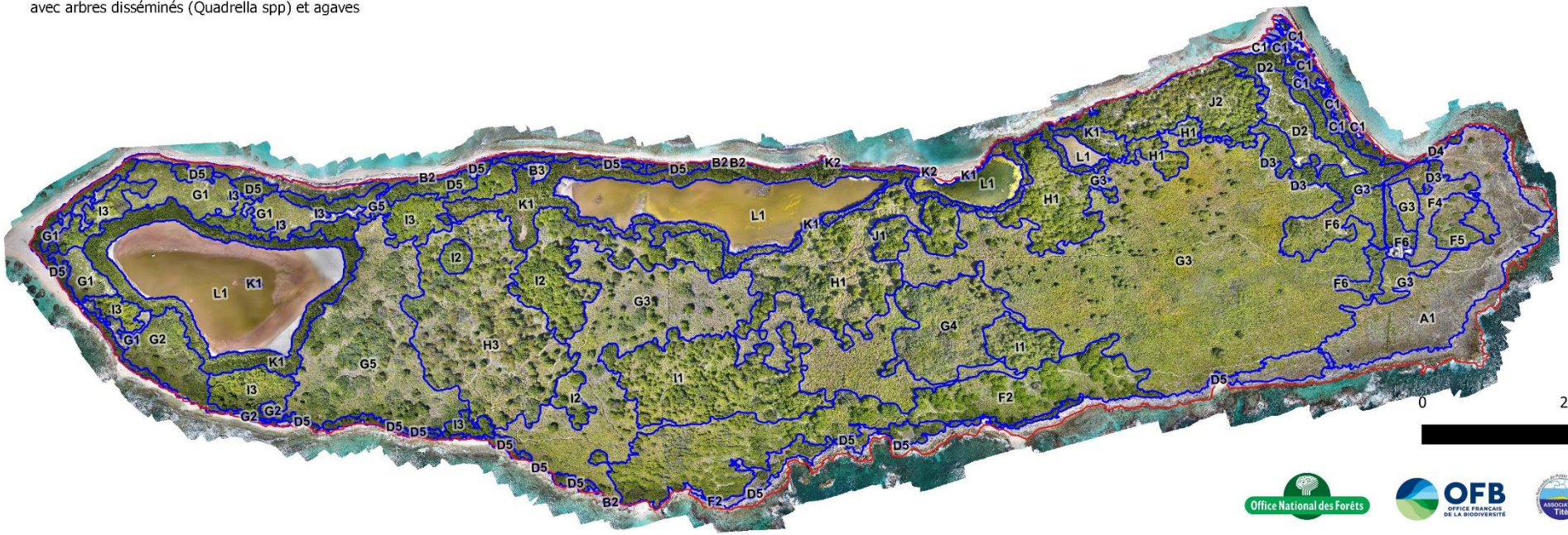
K1 - Mangrove à Conocarpus/Laguncularia

K2 - Mangrove à Conocarpus/Laguncularia et Rhizophora

L1 - Lagunes

M1 - Zones construites ou piétinées du phare

O1 - Absence de végétation



0 250 500 m

Office National des Forêts

OFB OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ

ASSOCIATION Tite

Réserve Naturelle ILES DE LA PETITE TERRE

Formations végétales et hauteurs du couvert végétal des ilets de Petite-Terre

Gayot M., Penin R., Procopio L. & P. Berry. 2023. Cartographie par drone de la végétation des ilets de Petite-Terre. ONF, Guadeloupe.

Habitats_2021_Petite_Terre Procopio & Penin

L1 - Lagunes

K1 - Mangrove à Conocarpus/Laguncularia

K2 - Mangrove à Conocarpus/Laguncularia et Rhizophora

A1 - Végétation anémophile herbacée lithophile sur littoral rocheux

B1 - Végétation herbacée à Pectis sur littoral sableux

B2 - Végétation herbacée à Sesuvium/Portulaca avec arbustes de Tournefortia/Suriana sur littoral sableux

B3 - Végétation herbacée basse à Sesuvium avec arbustes à Capraria/Lantana

C1 - Végétation dominante arborée (Cocoteraie) sur littoral sableux

D1 - Végétation arbustive à Suriana/Tournefortia sur littoral sableux

D2 - Végétation arbustive à Coccoloba sur littoral sableux

D3 - Végétation arbustive à Coccoloba/Lantana/Ernodea sur littoral sableux

D4 - Végétation arbustive à Coccoloba/Conocarpus sur littoral sableux

D5 - Végétation arbustive à Coccoloba avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane) sur littoral sableux

E1 - Végétation herbacée à Bothriochloa bladhii

F1 - Végétation arbustive à Lantana

F2 - Végétation anémophile arbustive à Lantana avec Hippomane anémomorphes

F3 - Végétation arbustive à Lantana avec arbres disséminés (Tabebuia)

F4 - Végétation anémophile arbustive (Rauvolfia semperflorens) basse, herbacée avec arbres disséminés (Quadrella spp.)

F5 - Végétation anémophile arbustive (Rauvolfia semperflorens) herbacée avec arbres disséminés (Rauvolfia viridis/Quadrella spp.)

F6 - Végétation arbustive à Volkameria/Croton avec arbres disséminés (Quadrella spp) et agaves

G1 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana

G2 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane)

G3 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane/Guaiacum)

G4 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana et arborée (Pithecellobium/Vachelia)

G5 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana et arborée (Pithecellobium/Tabebuia)

H1 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia et fourrés à Volkameria/Croton

H2 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Coccoloba) et fourrés à Lantana

H3 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Guaiacum) et fourrés à Volkameria/Lantana

I1 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Pithecellobium) et fourrés à Volkameria/Lantana

I2 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Guaiacum et Bursera) et fourrés à Volkameria/Lantana

I3 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Pithecellobium) et fourrés à Lantana

J1 - Végétation arborée forestière à Hippomane/Tabebuia

J2 - Végétation arborée forestière à Hippomane/Tabebuia (avec Coccoloba) et fourrés à Volkameria/Lantana

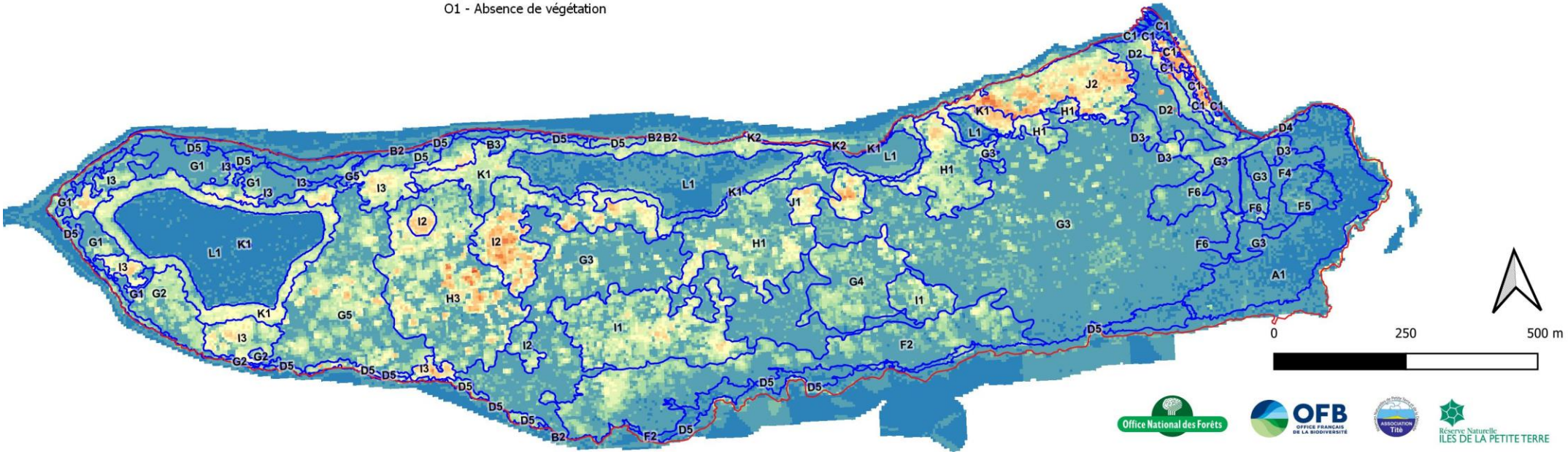
M1 - Zones construites ou piétinées du phare

O1 - Absence de végétation

trait de cote 2021

Hauteur relative du couvert végétal d'après Modèle numérique des hauteurs (c)IGN_MNH_5m (2012)

m
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12



Office National des Forêts

OFB OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ

Réserve Naturelle ILES DE LA PETITE TERRE

Comparaison entre 1995 et 2021

Situation en 1995

La cartographie réalisée par Rousteau (1995), disponible sur format papier, a été numérisée et calée sur les orthophotos ©IGN de 2017 (projection utilisée EPSG :5490 - RGAF09 / UTM zone 20N ; page suivante). Il en résulte une légère déformation de la carte originale, de l'ordre de 2% en superficie).

La typologie de Rousteau distingue les *formations littorales stricto sensu* – lesquelles correspondent aux formations sur sable et aux lagunes – des *formations sur socle calcaire*. Les premières comptent 5 unités écologiques, herbacées à arborées et inféodées aux rivages mobiles. Les secondes comptent 8 formations, herbacées (ex : en bord de falaise) à arborées et représentent 72% des 153 ha couverts par toutes les formations, et sont très largement dominées par les fourrés plus ou moins arborés.

Tableau 3. Unités écologiques terrestres de la RNN des ilets de Petite-Terre, Rousteau 1995.

Unités écologiques			Description
Formations littorales (sensu stricto)	Dépression et lagunes	1- Mangroves (TDB)	Les mangroves bordent les rives des lagunes de la côte nord de TDB avec 4 espèces de palétuviers : le palétuvier gris (*Conocarpus erectus*), rouge (*Rhizophora mangle*), noir (*Avicennia germinans*) et blanc (*Laguncularia racemosa*).
		2- Faciès à Conocarpus et Hippomane (TDB)	Entre les lagunes, la dépression sableuse ou argilo-sableuse est occupée essentiellement par *Conocarpus* et *Hippomane*. *Hippomane* prospère mieux que *Conocarpus* dans les zones de sable superficiellement sec.
	Formations psam-mophiles	3- Herbacées et buissons pionniers	Colonisation par des pionnières succulentes (*Sesuvium*, *Suriana*) dans les sites littoraux affectés par l'action de la mer.
		4- Fourrés plus ou moins arborés	En arrière des plages sableuses, le cordon littoral est stabilisé par des arbustes en dôme (*Borrichia*, *Argusia* et *Suriana*) qui précèdent une végétation arborée dominée par *Coccoloba*, *Conocarpus* et parfois *Guaiacum officinale*. Toutes ces espèces supportent une certaine salinité et la sécheresse superficielle liée à la porosité du sable.
		5- Forêt à Tabebuia et Hippomane (TDB)	Située en arrière de la plage sur Terre de Bas.
Formations sur plateaux calcaires	Formations anémophiles	6- Végétation ouverte à petites lithophiles	Succulentes prostrées au bord des petites falaises et parfois de Sporobolus.
		7- Rideau à Hippomane	Rideau dense de *Hippomane* en drapeau s'interposant entre la végétation pionnière lithophile et la brousse arborée.
		8- Bas fourré à Croton et *Lantana*	Végétation extrêmement dégradée prenant place après défrichement, brûlis, surpâturage et dénaturation des sols.
	Faciès principal	9- Fourrés riches	Fourrés à *Clerodendron*, *Rauvolfia*, *Eupatotrium* d'où émergent épars *C.cynophallophora* et *G. officinale* représentant un faciès extrêmement dégradé de la forêt sèche climatique du plateau de Terre de Bas. Un autre fourré arboré, floristiquement défini par la présence conjointe de *Tabebuia* et de *Bursera*, semble occuper la partie occidentale du plateau de Terre de Bas.
		10- Fourrés avec quelques arbres	Fourrés avec *C.cynophallophora* et *G. officinale* essentiellement
		11- Fourrés intermédiaires (TDH)	
		12- Fourrés arborés	Fourrés avec *Hippomane*, *Pisonia subcordata*, *Tabebuia*, *Ficus citrifolia*, *Capparis* et *Guaiacum officinale*.
	Faciès Ouest	13- Fourrés avec quelques arbres (TDB)	Fourrés avec des arbres dont *Pisonia fragrans*

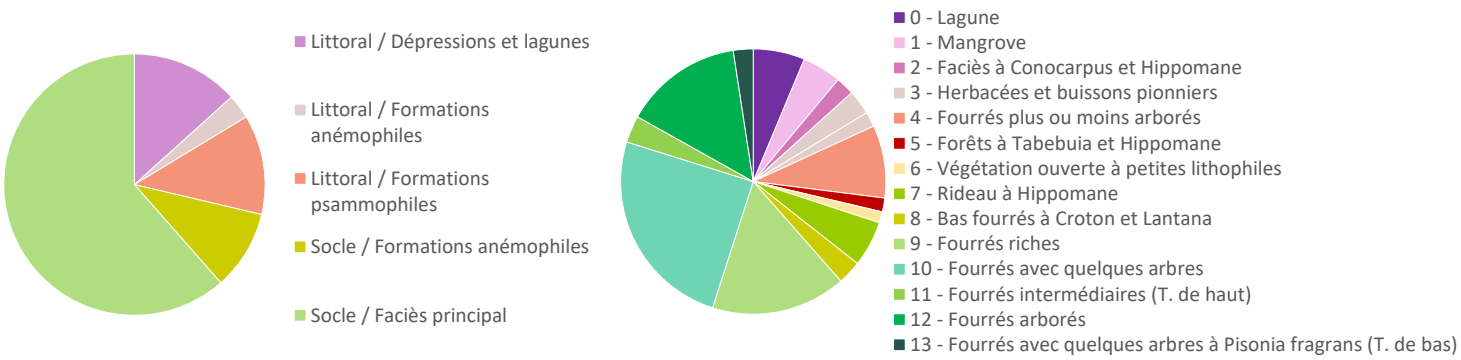


Figure 4. À gauche : grandes formations définies par Rousteau (1995) ; à droite : formations détaillées

Formations végétales des ilets de Petite-Terre d'après carte imprimée de Rousteau (1995)

Formations littorales stricto sensu

Dépressions et lagunes

- 1 - Mangrove
- 2 - Faciès à Conocarpus et Hippomane

Formations psammophiles

- 3 - Herbacées et buissons pionniers
- 4 - Fourrés plus ou moins arborés
- 5 - Forêts à Tabebuia et Hippomane

Formations sur socle calcaire

Formations anémophiles

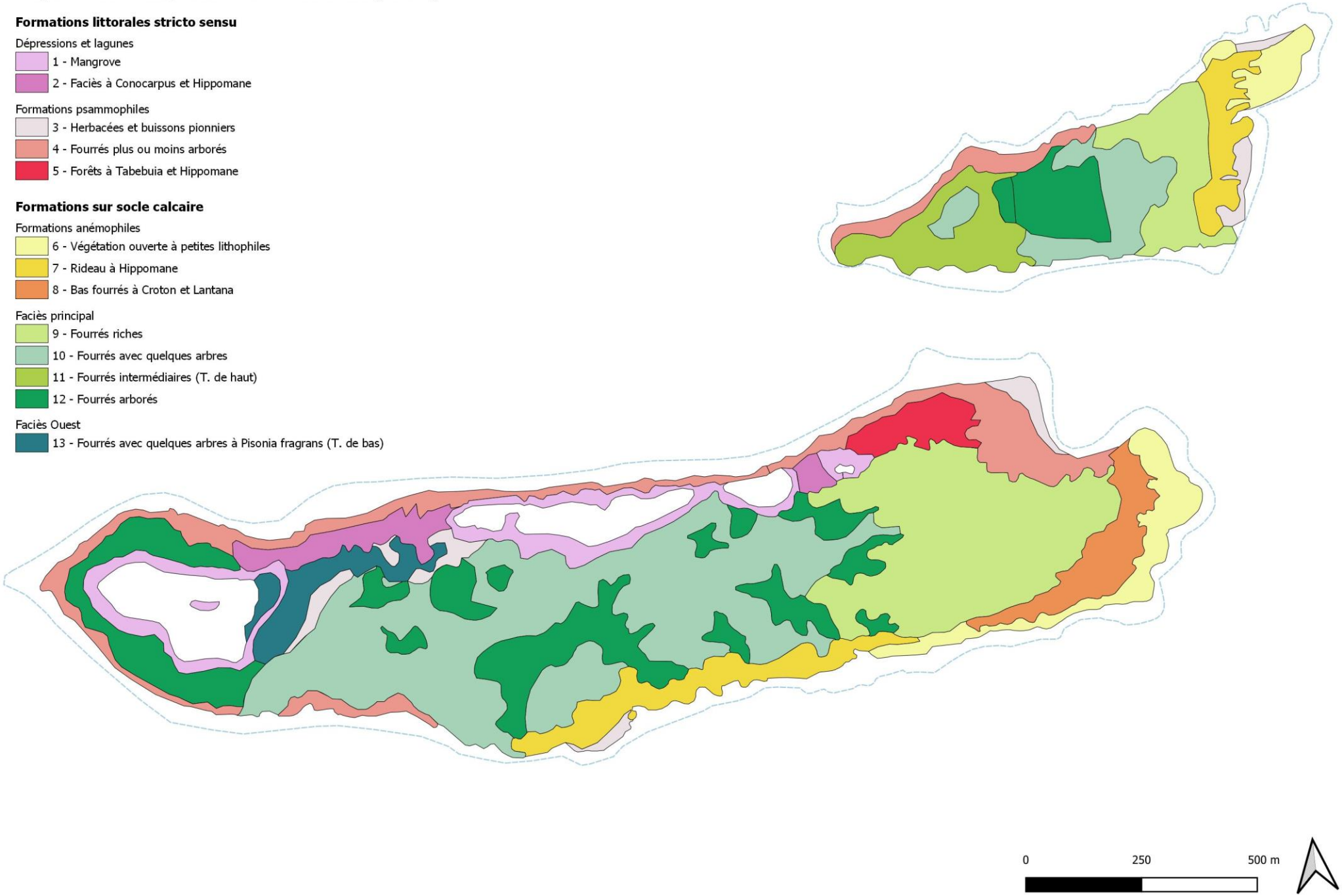
- 6 - Végétation ouverte à petites lithophiles
- 7 - Rideau à Hippomane
- 8 - Bas fourrés à Croton et Lantana

Faciès principal

- 9 - Fourrés riches
- 10 - Fourrés avec quelques arbres
- 11 - Fourrés intermédiaires (T. de haut)
- 12 - Fourrés arborés

Faciès Ouest

- 13 - Fourrés avec quelques arbres à Pisonia fragrans (T. de bas)



À propos des différences entre typologies

La typologie de la présente étude ne concorde pas pleinement avec celle de Rousteau, laquelle n'avait pas vocation à être reprise ici : les objectifs poursuivis et les méthodes utilisées d'une part (tester l'usage du drone, identifier sa précision optimale, obtenir la typologie la plus fine possible pour étudier les liens avec la présence de l'iguane, etc.) et la réalité des observations d'autre part ont limité les possibilités de construire une typologie parfaitement compatible avec celle de 1995.

La précision des images par drone et la couverture photo intégrale des ilets permettent une délimitation des formations bien plus fine qu'en 1995. De plus, les faciès ont été regroupés selon leur apparence par télédétection en se basant sur l'hypothèse que les facteurs au sol (relief, substrat, analysés par Rousteau) se traduiraient par des apparences différentes du couvert végétal par télédétection. Cette dernière hypothèse est largement vérifiée par la bonne concordance entre le périmètre et le type des formations végétales d'une part et les données issues des modèles numériques des hauteurs (MNH) du couvert végétal d'autre part. Cette concordance est visible sur la carte regroupant données Lidar 2012 ©IGN et formations végétales 2021 (Les MNH donnent la hauteur du couvert végétal depuis le sol, indépendamment de l'altitude ; cf. p20).

Dans la pratique, il apparaît aussi que l'enchevêtrement des compositions floristiques, les transitions floues entre peuplements, l'interprétation de l'observateur (ex : « fourrés avec quelques arbres » vs « fourrés arborés »), les micro-conditions stationnelles et une certaine stochasticité dans les peuplements, ne permettent de redélimiter les types définis par Rousteau.

Les principales différences entre les typologies sont :

- Une plus grande complexité de la typologie de 2021, avec 33 types contre 13 en 1995,
- La non-discrimination systématique des unités selon qu'elles sont « littorales sensu stricto » ou « sur socle calcaire » car il est apparu que plusieurs cortèges apparaissaient sur les deux zones,
- L'absence de regroupement des formations anémophiles (car les formations ont été regroupées en fonction de leurs espèces et non du caractère anémophile (lequel est cité malgré tout).

Évolution des peuplements

Facteurs d'évolution de la végétation

Si la végétation de Petite-Terre a été nettement impactée par les cultures, l'élevage, les défrichements et les usages passés (ex : coupes de bois, voire plantations), la dynamique de la végétation est désormais dominée par des processus naturels : évolution intrinsèque des stades végétaux notamment pionniers post-agricoles, herbivorie des iguanes, évènements climatiques, modifications du trait de côte…

Il faut noter que l'absence de contraintes humaines actuelles n'implique pas de systématique stratification et diversification des milieux. Certaines zones semblent toujours souffrir de leur passé pastoral, d'autres peuvent voir leurs arbres mourir et les contraintes environnementales peuvent bloquer l'évolution des stades pionniers, comme le notent Bourden & Rousteau en 2012 qui constatent globalement une très faible évolution des stades de fourrés.

Considérations générales

La première évidence apparaissant à la comparaison des situations de 1995 et 2021 est la faible évolution des milieux malgré le classement en réserve naturelle. Les contraintes environnementales et la persistance de l'impact des pratiques passées freinent très sûrement l'évolution des milieux naturels de Petite-Terre. Pourtant, la présence d'individus arborés d'âge avancé ou et de grand port rappelle que les ilets ont jadis abrité des milieux plus forestiers et complexes. Il ne faut pas non plus

écarte l'impact de l'herbivorie des Iguanes, qui semblent apprécier particulièrement les arbres de *Quadrella* spp. Mais sont présents dans toutes les formations de fourrés intérieures.

Les 140 ha actuels caractérisés avec la typologie de 2021 sont largement dominés par des formations arbustives (84 ha). Ces formations sont elles-mêmes dominées par deux espèces arbustives (*Lantana* et *Volkameria*), qui se retrouvent dans la quasi-totalité des formations végétales identifiées dans l'intérieur des terres (*Volkameria* est cependant singulièrement absente de Terre-de-Haut). Les formations à *Lantana*/*Volkameria* représentent 49 ha (formations G1 à G5) et celles à *Lantana* (22 ha, F1 à F3) couvrent la moitié de la surface des ilets. Hormis les secteurs les plus exposés, d'où elles sont généralement absentes, les deux espèces forment des peuplements pionniers ultradominants et persistent en sous-bois dans les stades plus évolués.

Les formations arborées ne représentent, elles, que 35 ha (dont 7 ha de mangrove et 5 ha de zones dite « forestière »). Il existe cependant une évidente relation entre le relief et la végétation, cette dernière étant globalement plus élevée dans les reliefs plus bas et mieux abrités à l'ouest et au nord de Terre-de-Bas.

La typologie de Rousteau de 1995, ses observations faites en 2012 et celles faites lors de la présente campagne convergent vers une interprétation de lente densification du couvert, une augmentation de la dimension des plantes, avec possiblement une plus importante présence d'arbres aujourd'hui, via notamment un élargissement graduel des bosquets déjà en place, qui tendent à se connecter entre eux pour former à terme des massifs.

Il apparait néanmoins que la seule façon fiable de vérifier cette interprétation est de comparer deux MNH réalisés à des époques différentes. La prochaine campagne Lidar de l'IGN prévue pour 2023 devrait permettre de réaliser un nouveau MNH qui pourra être comparer à celui de 2012.

Secteurs en stagnation

Terre-de-Bas : Rousteau classait 87% des formations de l'île aux stades « fourrés plus ou moins arborés », ce qui incluait les fourrés bas anémomorphes ou les fourrés avec quelques arbres. Il est difficile de comparer les observations faites par deux observateurs différents (Rousteau en 1995 et notre équipe en 2021) avec des outils et une typologie propre, d'autant plus pour décider si ce que Rousteau nomme « fourrés avec quelques arbres » peut correspondre aux petits bosquets actuellement observés.

Dans tous les cas, en 2021, soit 25 ans plus tard, 84% des milieux inventoriés sont toujours considérés comme des zones arbustives plus ou moins arborés.

Rappelons que ces formations de fourrés sont surtout des végétations secondaires, voire pionnières. Sans autre contrainte, elles permettraient à terme l'installation de la forêt. À titre comparatif, les jachères ou les anciens défrichements de Nord Grande-Terre, s'embuissonnent, s'enrichissent puis évoluent vers des stades forestiers pionniers en une quinzaine d'années. Par contraste, la dynamique végétale de Terre-de-Bas dans l'intérieur apparaît extrêmement lente ; d'autant que de nombreuses zones littorales donc plus exposés sont apparues plus dynamiques et diversifiées.

Terre-de-Haut : les zones herbacées et arbustives très stables de l'intérieur Est de Terre-de-Haut (E1, F1) ne semblent pas évoluer depuis plusieurs décennies. Un simple muret orienté Nord-Sud les séparent d'une zone à dominante arborée qui témoigne du type de milieux vers lesquels ces zones pourraient évoluer. Pourtant ces zones demeurent « bloquées » aux stades arbustifs, ce qui est vraisemblablement la conséquence d'un appauvrissement floristique passé très fort lié à l'élevage.

Notons qu'au fil des inventaires de Stéhlé (1954), Rousteau (1995), Procopio (2021) et Lasalle (2021) la liste d'espèces a augmenté avec respectivement 23 à 70 espèces (cf. Tableau 6). Cela peut traduire un enrichissement au fil de temps des ilets ou témoigner d'un biais d'inventaires lié à ces milieux difficiles à parcourir car épineux, denses et fermés.

Évolutions liées à l'érosion

L'évolution du trait de côte est le facteur ayant l'influence la plus explicite sur la végétation au cours des dernières décennies. Cette évolution se fait dans les secteurs sableux et dépressionnaires, mobiles, plutôt que dans les zones rocheuses que ne modifient que de rares effondrements. Bourden & Rousteau (2012) ont identifié que le trait de côte est globalement en recul (en moyenne de 5,8 m en 57 ans, soit en moyenne ≈10 cm par an) malgré des zones d'accrétions variables, de sorte que les évolutions les plus visibles passées se font sur les secteurs mobiles du nord de Terre-de-Bas avec un déplacement des plages, des cordons lagunaires et de l'hydrologie des salines. La végétation littorale, rampante, herbacée ou arbustive, s'adapte à cette mobilité du trait de côte, mais certains secteurs, occupés par des forêts bien établies, reculent avec l'érosion.

Le trait de côte est lui-même soumis à plusieurs influences : santé et érosion des récifs protecteurs, apports sédimentaires, modification des courants (et notamment du fort courant de dérive qui suit l'axe du chenal entre les deux ilets et varie en fonction de la configuration de ce chenal), hausse du niveau marin (11 cm de 1947 à 2012 ; cf. plan de gestion), évènements climatiques intenses…

Principaux secteurs où le trait de côte progresse

Le sud de la plage des visiteurs de Terre-de-Bas engraisse et une banquette de pourpriers stabilise cette progression d'environ 5 m de large (Figure 5). De même, le cap nord de Terre-de-Bas, qui marque l'étranglement du chenal, engraisse d'une vingtaine de mètres et est actuellement colonisé par les pionnières herbacées.

Figure 5. Gauche : accrétion stabilisée (sud de la plage des visiteurs). Droite : épaississement de la langue du cap nord de Terre-de-Bas, avec stabilisation en cours.

Principaux secteurs où le trait de côte recule

Comme l'illustrent les cartes sur l'évolution du trait de côte (pages suivantes), ce dernier continue à reculer dans certains secteurs mobiles, en particulier les secteurs qui sont en aval du chenal, au nord-est de Terre-de-Bas et déjà pointés par Bourden & Rousteau en 2012. Ces secteurs correspondent au cordon sableux qui longe le socle et a piégé les salines. Le recul affecte deux zones en particulier :

- La forêt sur sable à poiriers et mancenilliers, qui abrite quelques gaïacs (formation J2). Le recul y atteint jusqu'à 14 m en 11 ans. De gros et vieux arbres, possiblement pluri centenaires selon Rousteau, sont déchaussés par la mer. Le phénomène était déjà observé en 2012 et semble s'accélérer (voir plus bas).
- Le cordon qui isole la saline n°1 de la mer. Ce cordon a reculé de ≈30 m mais ne s'est pas aminci (il aurait même épaissi) et continue même d'abriter quelques palétuviers sur sable.

Un recul du trait de côte deux fois plus rapide sur la dernière décennie

La balance des zones en accrétion et des zones en recul est négative : entre 2010 et 2021, la superficie totale des deux ilets a régressé, passant de 147 ha à 146,4 ha (voir carte p. suivante). Le rythme de cette régression a doublé par rapport à la période 1947-2004 : respectivement -0,055 ha/an contre 0,027 ha/han (d'après Bourden & Rousteau, 2012).

Évolution des salines

L'érosion est susceptible d'affecter rapidement l'équilibre des salines, notamment en rompant le cordon de dune qui les séparent de la mer ou/et en modifiant leurs conditions hydrologiques et de salinité. La situation de chaque saline a donc été observée (Figure 6) :

- La saline 0, après s'être agrandie durant les dernières décennies, a peu évolué,
- La saline 1 est la plus menacée par l'érosion : le cordon recule et est de moins en moins boisé. Il pourrait rompre prochainement, à moins, comme la tendance le montre, que le cordon recule sans jamais rompre.
- Les saline 2 et 3 ne semblent pas confrontées à des modifications environnementales.

Figure 6. De haut en bas, « saline 0 » à « saline 3 », en 2017 (BDORTHO©IGN) et en 2021 (drone, ONF)

Evolution du trait de côte depuis 2010 : reculs et accrétions

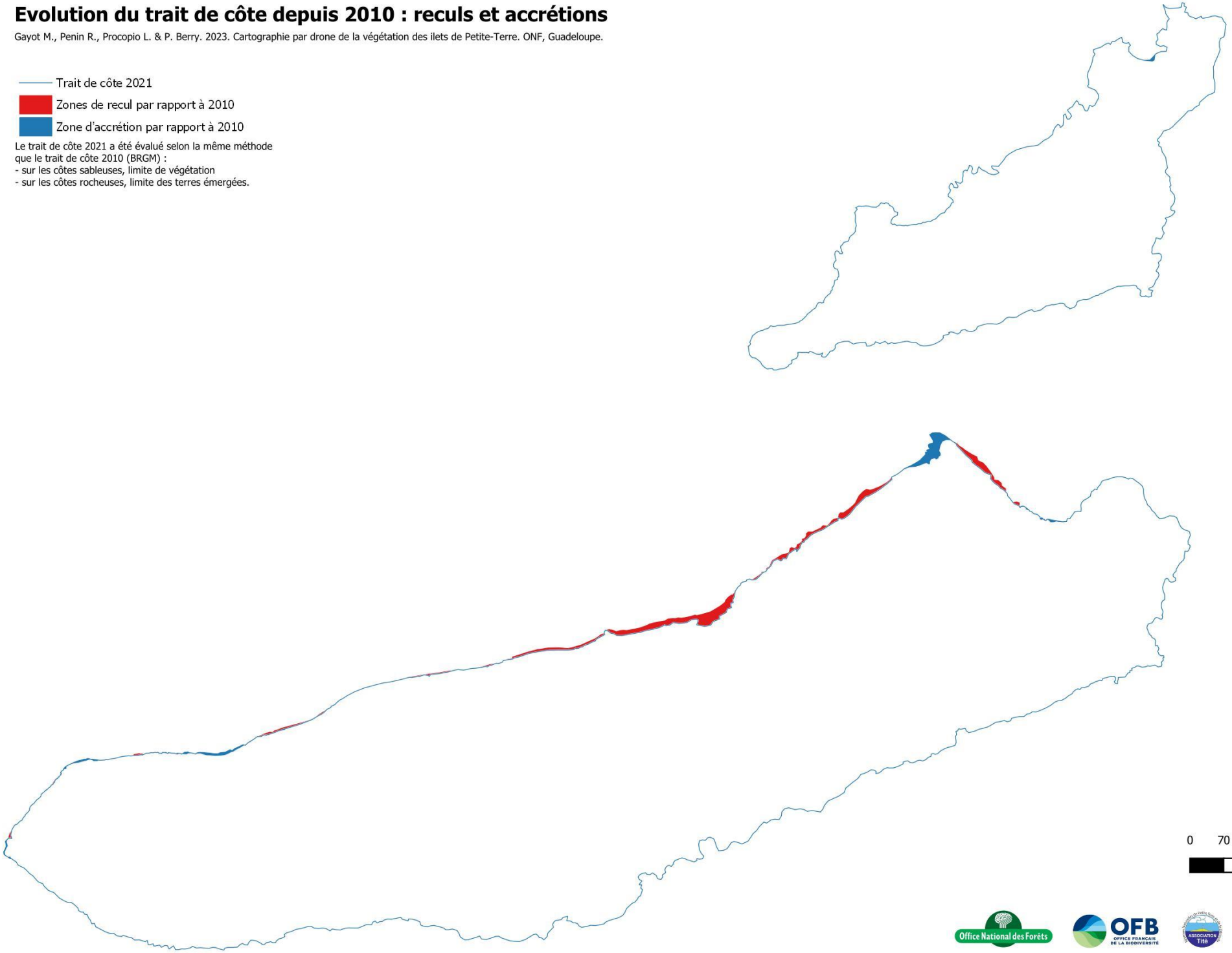
Gayot M., Penin R., Procopio L. & P. Berry. 2023. Cartographie par drone de la végétation des ilets de Petite-Terre. ONF, Guadeloupe.

Trait de côte 2021

Zones de recul par rapport à 2010

Zone d'accrétion par rapport à 2010

Le trait de côte 2021 a été évalué selon la même méthode que le trait de côte 2010 (BRGM) :
- sur les côtes sableuses, limite de végétation
- sur les côtes rocheuses, limite des terres émergées.



Office National des Forêts

OFB OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ

ASSOCIATION Titè

Réserve Naturelle ILES DE LA PETITE TERRE

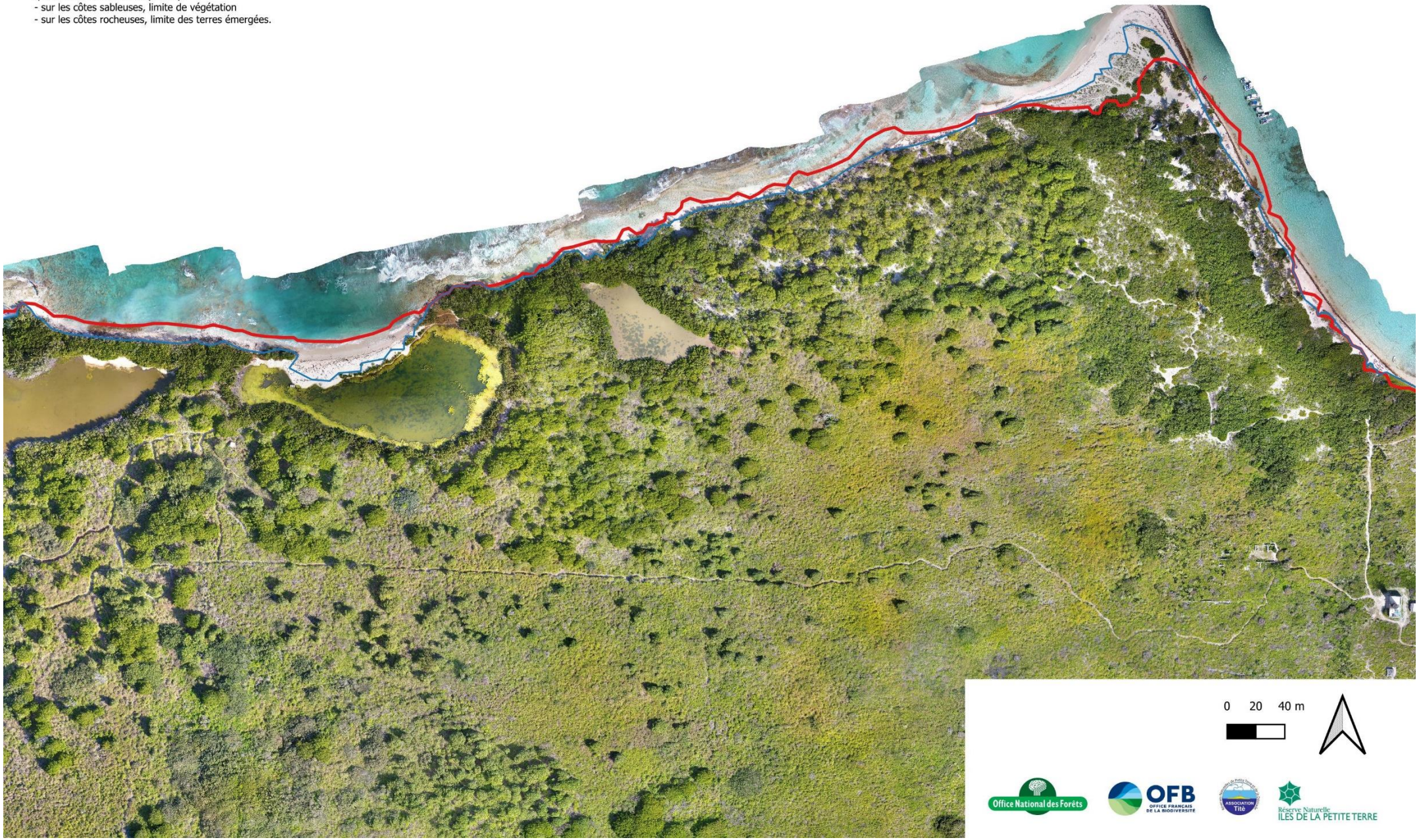
Evolution du trait de côte depuis 2010 :secteur nord-est de Terre-de-Bas

Gayot M., Penin R., Procopio L. & P. Berry. 2023. Cartographie par drone de la végétation des ilets de Petite-Terre. ONF, Guadeloupe.

Trait de côte 2021

Trait de côte 2010

Le trait de côte 2021 a été évalué selon la même méthode que le trait de côte 2010 (BRGM) :
- sur les côtes sableuses, limite de végétation
- sur les côtes rocheuses, limite des terres émergées.



Évolutions sans lien avec l'érosion

En dehors des mouvements du trait de côte, il est possible de documenter certaines évolutions en confrontant les données de Rousteau avec celles de 2021.

À Terre-de-Haut, à l'est, le rideau anémophile de mancenilliers en arrière-plage évoqué par Rousteau en 1995 (dit formation « 7 – Rideau à Hippomane ») - a régressé, comme en témoignent des troncs de mancenilliers morts dans cette zone. En réalité, ce rideau semble avoir avancé vers la mer (et est donc plus bas) tandis que la formation arbustive à *Lantana* à l'arrière s'est étendue à ses dépens – ce qui ne manque pas d'interroger.

À Terre-de-Bas, Rousteau identifiait une dépression à mancenilliers et palétuviers (Hippomane/Conocarpus), joignant les mangroves des lagunes 2 et 3. Cette formation est aujourd'hui classée « I3 - Formations arborées à Hippomane/Tabebuia ». Les poiriers semblent avoir surcimé les palétuviers gris, toujours ponctuellement présents. Il se peut aussi qu'une différence d'interprétation dans l'étendue de cette zone existe entre les deux inventaires – et méritera donc d'être vérifiée dans le futur.

Richesse spécifique

Espèces présentes, fréquence et dominance

L'inventaire des stations utilisées pour la cartographie a permis d'inventorier 61 espèces, auxquelles s'ajoutent 5 espèces rencontrées hors station. Parmi les espèces, la plus fréquente, très nettement, est *Lantana involucrata,* qui est apparue dans au moins la moitié des stations, suivie de *Coccoloba uvifera* et *Hippomane mancinella* (Tableau 4). Le *Lantana* est aussi l'espèce la plus fréquemment la plus dominante, suivie du mancenillier et de *Volkameria aculeata*. Logiquement, quatre arbustes figurent parmi les 10 espèces les plus fréquentes, mais aussi, 4 espèces d'arbres (*H. mancinella, T. heterophylla*, *Conocarpus erectus* et *Coccoloba uvifera*), preuve du potentiel forestier du peuplement actuel. Ces quatre arbres sont néanmoins des espèces capables de vivre prostrées et nanifiées suivant la vigueur des contraintes environnementales. La forte présence du mancenillier sur les ilets en fait l'une des principales populations de cette espèces pour la Guadeloupe. Les ilets abritent aussi aujourd'hui la principale population de l'un des arbres les plus rares de Guadeloupe, jadis exploité pour son bois très dur et désormais protégé : le Gaïac (*Guaiacum officinale*). Selon Fournet (1978), la population de Petite Terre est la seule population sauvage au sens strict.

Entre les deux ilets, la diversité est deux fois plus élevée à Terre-de-Bas (56 espèces) qu'à Terre-de-Haut (25 espèces), ce qui rejoint le constat de Rousteau (1995) qui avait dénombré respectivement 46 et 22 espèces (Tableau 5 et Tableau 6). Ce constat tient probablement à la surface plus réduite de l'ilet, combinée à une moindre diversité d'habitat, à des conditions environnementales plus sévères mais aussi à un impact encore très net des pratiques culturales passées.

Tableau 4. Espèces inventoriées sur les stations, classées par fréquence.

Catégorie de dominance - D : espèce dominante ; C : espèce très présente ; B : espèce moyennement présente ; A : espèce peu visible et ne présentant que quelques individus ; i : espèce représentée par 1 seul ou 2 individus.

Espèce	Fréquence par catégorie de dominance					Total général
	D	C	B	A	i	
Lantana involucrata	24	13	5	8	1	51
Coccoloba uvifera	5	10	11	5	3	33
Hippomane mancinella	11	8	7	6	2	33
Conocarpus erectus	3	8	6	6	2	25
Solanum bahamense	1	4	4	4	11	24
Tabebuia heterophylla	4	8	6	6		24
Volkameria aculeata	8	6	3	6		23
Cyperus planifolius	2	2	1	10	7	22
Croton flavens	2	5	4	4	4	19
Stachytarpheta jamaicensis		5	3	8	2	18
Pithecellobium unguis-cati	2	2	6	3	3	16
Vachellia farnesiana	2	2	3	6	1	14
Acacia tortuosa	2	2	3	6	1	14
Suriana maritima	4	4	1	4		13
Guaiacum officinale			1	5	5	11
Tournefortia gnaphalodes	1	4	1	4		10
Cocos nucifera		3			6	9
Sesuvium portulacastrum	1	4		3	1	9
Ficus citrifolia				4	4	8
Euphorbia mesembryanthemifolia	1			5	2	8
Sporobolus virginicus	5	2			1	8
Pectis humifusa	2	1		4	1	8
Portulaca halimoides		2			5	7
Capraria biflora	1	1	2	3		7
Pisonia subcordata				4	2	6
Bontia daphnoides			1	1	3	5
Bursera simaruba		1			3	4
Opuntia dillenii	1	1			2	4
Thespesia populnea		1			2	3
Ernodea littoralis	1			1	1	3
Quadrella cynophallophora	1	1		1		3
Agave karatto	1		2			3
Laguncularia racemosa		1		2		3
Waltheria indica			1	2		3
Cynophalla hastata			2	1		3
Plumeria alba					2	2
Malpighia linearis					2	2
Melochia tomentosa				1	1	2
Chromolaena integrifolia				1	1	2
Rhizophora mangle	1	1				2
Borrichia arborescens		1		1		2
Bothriochloa bladhii	1					1
Chloris barbata	1					1
Blutaparon vermiculare	1					1
Portulaca oleracea				1		1
Rauvolfia viridis		1				1
Jacquinia armillaris				1		1
Quadrella indica				1		1
Schaefferia frutescens				1		1
Melinis repens			1			1
Cyperus fuscus			1			1
Randia aculeata			1			1
Erithalis fruticosa				1		1
Fimbristylis cymosa		1				1
Pisonia fragrans		1				1
Bourreria succulenta				1		1
Strumpfia maritima				1		1
Paspalum laxum				1		1
Paspalum vaginatum		1				1
Eragrostis ciliaris						
Croton astroites						
Total général	**89**	**107**	**76**	**133**	**81**	**486**

Tableau 5. Liste des espèces de flore rencontrées dans les stations d'échantillonnages

CD_REF	Famille	Espèce	Fréquence Terre-de-Bas	Fréquence Terre-de-Haut	Total
629001	Fabaceae	*Acacia tortuosa*	14		14
629040	Asparagaceae	*Agave karatto*	3		3
629175	Amaranthaceae	*Blutaparon vermiculare*	1		1
629182	Scrophulariaceae	*Bontia daphnoides*	1	4	5
629184	Asteraceae	*Borrichia arborescens*		2	2
446276	Poaceae	*Bothriochloa bladhii*		1	1
629186	Ehretiaceae	*Bourreria succulenta*		1	1
629217	Burseraceae	*Bursera simaruba*	4		4
629262	Scrophulariaceae	*Capraria biflora*	5	2	7
159604	Poaceae	*Chloris barbata*	1		1
631054	Asteraceae	*Chromolaena integrifolia*	2		2
447455	Polygonaceae	*Coccoloba uvifera*	25	9	33
447749	Arecaceae	*Cocos nucifera*	7	2	9
629401	Combretaceae	*Conocarpus erectus*	19	6	25
629466	Euphorbiaceae	*Croton astroites*	1		1
629471	Euphorbiaceae	*Croton flavens*	19		19
630986	Capparaceae	*Cynophalla hastata*	3		3
93936	Cyperaceae	*Cyperus fuscus*	1		1
632988	Cyperaceae	*Cyperus planifolius*	16	6	22
96586	Poaceae	*Eragrostis ciliaris*	2		2
629662	Rubiaceae	*Erithalis fruticosa*	1		1
629664	Rubiaceae	*Ernodea littoralis*	3		3
901964	Euphorbiaceae	*Euphorbia mesembryanthemifolia*	4	4	8
629734	Moraceae	*Ficus citrifolia*	7	1	8
446193	Cyperaceae	*Fimbristylis cymosa*	1		1
629786	Zygophyllaceae	*Guaiacum officinale*	11		11
629861	Euphorbiaceae	*Hippomane mancinella*	19	15	33
629957	Primulaceae	*Jacquinia armillaris*	1		1
630001	Combretaceae	*Laguncularia racemosa*	4		4
630004	Verbenaceae	*Lantana involucrata*	37	14	51
630084	Malpighiaceae	*Malpighia linearis*	2		2
630929	Poaceae	*Melinis repens*	1		1
630138	Malvaceae	*Melochia tomentosa*	2		2
630272	Cactaceae	*Opuntia triacantha (Willd.) Sweet, 1826*	1		
610571	Cactaceae	*Opuntia dillenii*	1	3	4
630316	Poaceae	*Paspalum laxum*		1	1
112515	Poaceae	*Paspalum vaginatum*	1		1
630345	Asteraceae	*Pectis humifusa*	5	3	8
630439	Nyctaginaceae	*Pisonia fragrans*	1		1
630440	Nyctaginaceae	*Pisonia subcordata*	6		6
630445	Fabaceae	*Pithecellobium unguis-cati*	15	1	16
630456	Apocynaceae	*Plumeria alba*	2		2
630474	Portulacaceae	*Portulaca halimoides*	7		7
115215	Portulacaceae	*Portulaca oleracea*		1	1
636102	Capparaceae	*Quadrella cynophallophora*	3		3
852979	Capparaceae	*Quadrella indica*	1		1
630527	Rubiaceae	*Randia aculeata*	1		1
630535	Apocynaceae	*Rauvolfia viridis*	1		1
447470	Rhizophoraceae	*Rhizophora mangle*	2		2
630608	Celastraceae	*Schaefferia frutescens*	1		1
446885	Aizoaceae	*Sesuvium portulacastrum*	6	3	9
884612	Solanaceae	*Solanum bahamense*	21	3	24
630725	Poaceae	*Sporobolus virginicus*	5	3	8
630726	Verbenaceae	*Stachytarpheta jamaicensis*	14	4	18
630750	Rubiaceae	*Strumpfia maritima*	1		1
447633	Surianaceae	*Suriana maritima*	7	6	13
447001	Bignoniaceae	*Tabebuia heterophylla*	17	7	24
447316	Malvaceae	*Thespesia populnea*	3		3
630823	Heliotropiaceae	*Tournefortia gnaphalodes*	6	4	10
128357	Fabaceae	*Vachellia farnesiana*	14		14
637313	Lamiaceae	*Volkameria aculeata*	23		23
447631	Malvaceae	*Waltheria indica*	4		4

Flore de Petite-Terre : un nombre d'espèces croissant

La présente étude représente à notre connaissance le quatrième inventaire botanique de la réserve. Celle-ci a été inventoriée par Stéhlé (1954), Rousteau (1995), Gayot (2019, une journée dans le cadre de la préparation de cette étude), Procopio (2021), ainsi que, la même année, Delasalle (2021). Bien que tous ces inventaires n'aient pas été exhaustifs et n'aient pas même eu vocation à l'être, leur compilation donne une image plus précise de la diversité des ilets.

Ainsi, la présente étude, réalisée sur une session de quelques jours consacrés à la description de chaque station d'envol par drone et focalisée sur la construction d'un catalogue d'habitats n'avait pas pour objectif de réaliser un inventaire exhaustif de la flore de Petite Terre. Elle a malgré tout permis d'augmenter de 18 espèces la liste des espèces connues sur Petite-Terre établie par Rousteau en 1995, la portant de 48 à 66. De plus, suite à cette étude, Ruben Penin – qui a coréalisé cette étude – et le stagiaire Romain Delasalle ont ciblé les secteurs qui n'avaient pu être encore précisément inventoriés, ce qui a permis de porter le nombre d'espèces identifiées à 70 (Figure 7).

Comme évoqué plus haut, il n'est pas possible de corréler cette augmentation de la diversité recensée à un effort d'inventaire plus important ou à un enrichissement graduel des ilets en nouvelles espèces. Il est cependant certain que :

- Passant de 48 espèces en 1995 à 70 espèces en 2021, la diversité des ilets a nettement « progressé » ;
- La diversité est d'abord liée à l'effort d'inventaire, lourd dans ce type de milieu, comme le prouve le fait que des espèces citées par Stéhlé mais non retrouvées selon le cas par Rousteau, Gayot ou Procopio aient finalement été revues par l'un ou l'autre : *Croton astroites, Crossopetalum rhacoma, Croton astroites, Melochia tomentosa, Sida ciliaris* ;
- Certaines espèces ont disparu, parfois temporairement, suite à des évènements climatiques, à l'instar de deux espèces aisément détectables : *Canavalia rosea* (vue en 1954 et 2019), et Ipomoea pes-caprea (vu jusqu'en 2019) ;
- D'autres, communes ailleurs, n'ont pas été revues pour des raisons inconnues (*Canella winterana* et *Bernardia corensis*, vues en 1954 ; *Gymanthes lucida* vu en 1995) ;
- D'autres semblent apparues récemment car il est peu probable qu'en tant que pionnières du littoral sableux elles aient pu échapper aux précédents inventaires (ex : *Portulaca oleracea*). D'autres ne sont pas citées par les prédécesseurs car peut-être introduits plus récemment (ex : *Aloe vera*, vu par Delasalle près du phare) ;
- Enfin des espèces patrimoniales (ou potentiellement patrimoniales si leur présence était avérée) aujourd'hui semblent avoir disparu : l'orchidée *Tolumnia urophylla* et l'astéracée *Wedelia fruticosa.*

L'ensemble des espèces est présenté dans le Tableau 6.

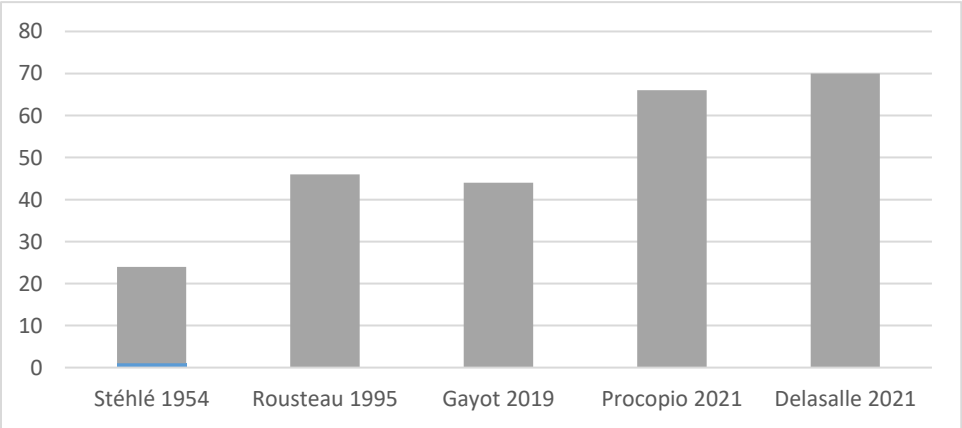


Figure 7. Évolution de la diversité (nombre d'espèces) recensée aux cours des 5 deniers inventaires floristiques des ilets

Tableau 6. Liste des espèces de flore lors des inventaires passées

(Stéhlé, 1954 ; Rousteau 1995 dans le cadre de la première cartographie des habitats ; Gayot 2019 : mission préparatoire à la mission de 2021 ; Procopio 2021 : mission de cartographie par drone ; Delasalle : recherche spécifique des secteurs patrimoniaux ou/et non inventoriés)

CD_REF	Famille	Nom complet	Stéhlé 1954	Rousteau 1995 (Terre de Haut)	Rousteau 1995 (Terre de Bas)	Rousteau 1995 (total)	Gayot 2019	Procopio 2021 (Terre-de-Haut)	Procopio 201 (Terre-de-Bas)	Procopio 2021 (total)	Delasalle 2021
629001	Fabaceae	Acacia tortuosa (L.) Willd., 1806			1	1	1	1		1	1
629040	Asparagaceae	Agave karatto Mill., 1768			?	?	1	1		1	1
639239	Asphodelaceae	Aloe vera (L.) Burm.f., 1768									1
629127	Acanthaceae	Avicennia germinans (L.) L., 1764			1	1			1	1	1
629162	Euphorbiaceae	Bernardia corensis (Jacq.) Müll.Arg., 1865	1								
629175	Amaranthaceae	Blutaparon vermiculare (L.) Mears, 1982		1	1	1	1	1		1	1
629182	Scrophulariaceae	Bontia daphnoides L., 1753		1		1		1	1	1	1
629184	Asteraceae	Borrichia arborescens (L.) DC., 1836	1	1	1	1	1		1	1	1
446276	Poaceae	Bothriochloa bladhii (Retz.) S.T.Blake, 1969							1	1	
629186	Ehretiaceae	Bourreria succulenta Jacq., 1760							1	1	
629217	Burseraceae	Bursera simaruba (L.) Sarg., 1890			1	1	1	1		1	1
629224	Brassicaceae	Cakile lanceolata (Willd.) O.E.Schulz, 1903							1	1	1
447163	Fabaceae	Canavalia rosea (Sw.) DC., 1825	1				1				
629255	Canellaceae	Canella winterana (L.) Gaertn., 1788	1								
629262	Scrophulariaceae	Capraria biflora L., 1753		1	1	1	1	1	1	1	1
159604	Poaceae	Chloris barbata Sw., 1797						1		1	1
631054	Asteraceae	Chromolaena integrifolia (Bertero ex Spreng.) R.M.King & H.Rob., 1970			1	1	1	1		1	1
447455	Polygonaceae	Coccoloba uvifera (L.) L., 1759	1	1		1	1	1	1	1	1
447749	Arecaceae	Cocos nucifera L., 1753			1	1	1	1	1	1	1
629401	Combretaceae	Conocarpus erectus L., 1753		1	1	1	1	1	1	1	1
629448	Celastraceae	Crossopetalum rhacoma Crantz, 1766	1								1
629466	Euphorbiaceae	Croton astroites Dryand., 1789	1					1		1	
629471	Euphorbiaceae	Croton flavens L., 1759	1		1	1	1	1		1	1
448442	Asteraceae	Cyanthillium cinereum (L.) H.Rob., 1990									1
852974	Capparaceae	Cynophalla flexuosa (L.) J.Presl, 1825			1	1	1				1
630986	Capparaceae	Cynophalla hastata (Jacq.) J.Presl, 1825						1		1	1
93936	Cyperaceae	Cyperus fuscus L., 1753					1	1		1	1
632988	Cyperaceae	Cyperus planifolius Rich., 1792		1	1	1		1	1	1	1
447184	Fabaceae	Desmodium incanum (Sw.) DC., 1825									1
96586	Poaceae	Eragrostis ciliaris (L.) R.Br., 1818						1		1	1
629662	Rubiaceae	Erithalis fruticosa L., 1759			1	1		1		1	1
629664	Rubiaceae	Ernodea littoralis Sw., 1788			1	1	1	1		1	1
901964	Euphorbiaceae	Euphorbia mesembryanthemifolia Jacq., 1760		1	1	1	1	1	1	1	1
97623	Euphorbiaceae	Euphorbia prostrata Aiton, 1789									1
629722	Convolvulaceae	Evolvulus nummularius (L.) L., 1762									1
629734	Moraceae	Ficus citrifolia Mill., 1768		1	1	1	1	1	1	1	1
446193	Cyperaceae	Fimbristylis cymosa R.Br., 1810						1		1	1
629786	Zygophyllaceae	*Guaiacum* officinale L., 1753			1	1	1	1		1	1
633845	Fabaceae	Guilandina ciliata Bergius ex Wikstr., 1825	1		1	1			1	1	1
629803	Euphorbiaceae	Gymnanthes lucida Sw., 1788			1	1					
101141	Heliotropiaceae	Heliotropium curassavicum L., 1753			1	1	1	1		1	1
629861	Euphorbiaceae	Hippomane mancinella L., 1753	1	1	1	1	1	1	1	1	1
445581	Convolvulaceae	Ipomoea pes-caprae (L.) R.Br., 1818	1		1	1	1				
634231	Primulaceae	Jacquinia arborea Vahl, 1797						1		1	1
629993	Rhamnaceae	Krugiodendron ferreum (Vahl) Urb., 1902									1
630001	Combretaceae	Laguncularia racemosa (L.) C.F.Gaertn., 1807			1	1		1		1	1
630004	Verbenaceae	*Lantana* involucrata L., 1756	1	1	1	1	1	1	1	1	1
630084	Malpighiaceae	Malpighia linearis Jacq., 1760			1	1	1	1		1	1
630929	Poaceae	Melinis repens (Willd.) Zizka, 1988					1	1		1	1
630138	Malvaceae	Melochia tomentosa L., 1759	1					1		1	
610571	Cactaceae	Opuntia dillenii (Ker Gawl.) Haw., 1819	1	1	1	1		1	1	1	1
630272	Cactaceae	Opuntia triacantha (Willd.) Sweet, 1826		1	1	1		1	1	1	1
630316	Poaceae	Paspalum laxum Lam., 1791							1	1	1
112515	Poaceae	Paspalum vaginatum Sw., 1788						1		1	
630345	Asteraceae	Pectis humifusa Sw., 1788		1	1	1	1	1	1	1	1
445642	Phyllanthaceae	Phyllanthus amarus Schumach., 1827									1
630439	Nyctaginaceae	Pisonia fragrans Dum.Cours., 1814	1		1	1		1		1	1
630440	Nyctaginaceae	Pisonia subcordata Sw., 1788			1	1	1	1		1	

CD_REF	Famille	Nom complet	Stéhlé 1954	Rousteau 1995 (Terre de Haut)	Rousteau 1995 (Terre de Bas)	Rousteau 1995 (total)	Gayot 2019	Procopio 2021 (Terre-de-Haut)	Procopio 201 (Terre-de-Bas)	Procopio 2021 (total)	Delasalle 2021
630445	Fabaceae	Pithecellobium unguis-cati (L.) Benth., 1844		1	1	1	1	1	1	1	1
630456	Apocynaceae	Plumeria alba L., 1753			1	1	1	1		1	1
630474	Portulacaceae	Portulaca halimoides L., 1762					1	1		1	1
115215	Portulacaceae	Portulaca oleracea L., 1753							1	1	1
636102	Capparaceae	Quadrella cynophallophora (L.) Hutch., 1967	1		1	1	1	1		1	1
852979	Capparaceae	Quadrella indica (L.) Iltis & Cornejo, 2010						1		1	
630527	Rubiaceae	Randia aculeata L., 1753			1	1	1	1		1	1
630535	Apocynaceae	Rauvolfia viridis Willd. ex Roem. & Schult., 1819	1	1	1	1	1	1		1	1
447470	Rhizophoraceae	Rhizophora mangle L., 1753			1	1	1	1		1	1
630608	Celastraceae	Schaefferia frutescens Jacq., 1760			1	1		1		1	1
446885	Aizoaceae	*Sesuvium* portulacastrum (L.) L., 1759	1	1	1	1	1	1	1	1	1
630663	Malvaceae	Sida ciliaris L., 1759	1								1
884612	Solanaceae	Solanum bahamense L., 1753	1	1	1	1	1	1	1	1	1
630725	Poaceae	Sporobolus virginicus (L.) Kunth, 1829					1	1	1	1	1
630726	Verbenaceae	Stachytarpheta jamaicensis (L.) Vahl, 1804		1	1	1	1	1	1	1	1
630750	Rubiaceae	Strumpfia maritima Jacq., 1760			1	1		1		1	1
447633	Surianaceae	Suriana maritima L., 1753	1	1	1	1	1	1	1	1	1
447001	Bignoniaceae	Tabebuia heterophylla (DC.) Britton, 1915		1	1	1	1	1	1	1	1
447316	Malvaceae	Thespesia populnea (L.) Sol. ex Corrêa, 1807						1		1	1
630818	Orchidaceae	Tolumnia urophylla (Lodd. ex Lindl.) Braem, 1986	1								
630823	Heliotropiaceae	Tournefortia gnaphalodes (L.) R.Br. ex Roem. & Schult., 1819		1	1	1	1	1	1	1	1
128357	Fabaceae	Vachellia farnesiana (L.) Wight & Arn., 1834			1	1	1	1		1	1
779365	Boraginaceae	Varronia bullata subsp. humilis (Jacq.) Feuillet, 2008									1
637313	Lamiaceae	*Volkameria* aculeata L., 1753			1	1	1	1		1	1
447631	Malvaceae	Waltheria indica L., 1753					1	1		1	1
630899	Asteraceae	Wedelia fruticosa Jacq., 1760	1								
		TOTAL	23	22	46	48	43	60	27	66	70

Outils de télédétection

Les outils de télédétection sont les catalogues de photos aériennes qui permettent l'identification des formations végétales et des espèces. Le catalogue des vues des formations (à 50 m) est présenté ci-après ; celui des vues des espèces, à différentes hauteurs de vol, est quant à lui présenté en annexe.

Tableau 7. Catalogue illustré de chaque formation végétale par vue aérienne à 50 m.

B1 - Végétation herbacée à *Pectis* sur littoral sableux
Zones arborées (minoritaires) : Présence ponctuelle d'*Hippomane mancinella* (i) et *Cocos nucifera* (i).
Zones arbustives (minoritaires) : dominée par *Tournefortia gnaphaloides* (D, présent en petites taches espacées) et *Suriana maritima* (B).
Zones herbacées : dominées par *Pectis humifusa* (D).

B2 - Végétation herbacée à *Sesuvium/Portulaca* avec arbustes de Tournefortia/Suriana sur littoral sableux
Zones arbustives (minoritaires) : *Tournefortia gnaphaloides* (C) et *Suriana maritima* (B), et sporadiquement en arrière-plage *Lantana involucrata* (A).
Zones herbacées : dominées par l'association en tapis de *Sesuvium portulacastrum* (D) et de *Portulaca halimoides* (couleur similaire tâches plus petites), avec aussi *Pectis humifusa*, *Cyperus juncus* ? (C).

B3 - Végétation herbacée basse à *Sesuvium* avec arbustes à *Capraria/Lantana*
Zones arbustives basses (minoritaires) : dominées par *Capraria biflora* (C) et *Lantana involucrata* (B).
Zones herbacées : dominées par *Sesuvium portulacastrum* (D).
Note : cet habitat est potentiellement une ancienne zone de mangrove inondée.

C1 - Végétation dominante arborée (Cocoteraie) sur littoral sableux
Zones arborées : composée presque exclusivement de *Cocos nucifera* (D).
Zones arbustives (minoritaires) : *Suriana maritima* (C) associé à *Coccoloba uvifera* (B), *Tournefortia gnaphaloides* (B), *Borrichia arborescens* (B), *Thespesia populnea* (i) ou *Conocarpus erectus* (i).
Note : strate arbustive ou herbacée peu étendue car zone nettoyée et fréquentée.

D1 - Végétation arbustive à *Suriana/Tournefortia* sur littoral sableux
Zones arbustives : dominées par *Suriana maritima* (D), avec, vers la mer, *Tournefortia gnaphaloides* (C) ou, vers la terre, *Hippomane mancinella* (A, prostré) et *Lantana involucrata* (A).
Zones herbacées (minoritaires) : composées par *Euphorbia mesembryanthemifolia* (A) et, plus rare, *Pectis humifusa* (A).

D2 - Végétation arbustive à *Coccoloba* sur littoral sableux
Zones arborées (minoritaires) : dominées par *Coccoloba uvifera* (A) avec *Tabebuia heterophylla* (A), *Hippomane mancinella* (A) et *Pithecellobium unguis-cati* (A). Présence ponctuelle de *Cocos nucifera* (i).
Zones arbustives : dominées par *Coccoloba uvifera* (D) avec *Suriana maritima* (i).

D3 - Végétation arbustive hétérogène à *Coccoloba/Ernodea/Acacia/Lantana* sur littoral sableux
Zones arbustives hautes (minoritaires) : dominée par *Coccoloba uvifera* (D) associés à de nombreuses autres espèces (en périphérie et formant un arrière-cordon littoral).
Zones arbustives basses : dominées par *Lantana involucrata* (D) et *Ernodea littoralis* (C), Acacia spp. (A-C), et de nombreuses autres espèces (*Solanum bahamense*, A ; *Hippomane mancinella*, A ; *Agave karatto*, A ; etc.).

Zone de transition sableuse entre la cocoteraie très anthropisée et les autres zones. Possiblement assez soumise aux passages

D4 - Végétation arbustive à *Coccoloba/Conocarpus* sur littoral sableux
Zones arbustives : dominées par *Conocarpus erectus* (D) associé à *Coccoloba uvifera* (B), *Lantana involucrata* (A) et *Bontia daphnoides* (A). Présence ponctuelle de *Suriana maritima* (i) et *Tournefortia gnaphaloides* (i).

D5 - Végétation arbustive à *Coccoloba* avec arbres disséminés (*Tabebuia/Hippomane*) sur littoral sableux
Zones arborées : dominées par *Coccoloba uvifera* (D), avec ponctuellement *Hippomane mancinella* (B), *Tabebuia heterophylla* (B) et, plus rare, *Cocos nucifera* (A).
Zones arbustives : dominées par l'association de *Volkameria aculeata* (A) avec *Lantana involucrata* (A) dans la partie Nord.

K1 - Mangrove à *Conocarpus/Laguncularia*
Zones arborées : dominées par *Conocarpus erectus* (D, à l'amont) et *Laguncularia racemosa* (C, l'aval). Le cordon de *C. erectus* est suivant les sections, soit pur, soit mélangé à *Pithecellobium unguis-cati* (B) et *Solanum bahamense* (B) ainsi que Bontia daphnoides (A, une seule tache).
Note : un gradient de mélange de *Laguncularia racemosa* et *Avicennia germinans* en faveur de *A. germinans* d'est en ouest est observable. La lagune étant en bord de mer, la végétation comprend des zones ouvertes sur plages *Sesuvium portulacastrum* (B), *Cocos nucifera* (i) en bord de mer qui, à l'Ouest et à l'Est de la lagune, semblent délimiter une surface plus grande, anciennement en eau.

K2 - Mangrove à *Conocarpus/Laguncularia* et *Rhizophora*
Végétation de mangrove arborée.
Zones arborées : dominées par *Rhizophora mangle* (côté lagune) et sinon par *Laguncularia racemosa* associé à *Conocarpus erectus*.

L1 - Saline

A1 - Végétation anémomorphe à herbacées lithophiles sur littoral rocheux
Zones arbustives (minoritaires) : dominées par *Lantana involucrata* (C) et *Solanum bahamense* (i).
Zones herbacées : dominées par *Sporobolus virginicus* (D) ou par *Paspalum virginatum* (D), associées à *Pectis humifusa* (A) et *Portulaca halimoides* (A), sur roche.

E1 - Végétation herbacée à *Bothriochloa bladhii*
Zones herbacées : dominée par *Bothriochloa bladhii* (D), sous forme de tâches monospécifiques.

F1 - Végétation anémomorphe arbustive à *Lantana*
Zones arbustives : dominées par *Lantana involucrata* (D) en peuplements quasi-monospécifiques denses. Rares petits *Tabebuia heterophylla* (i).
Zones herbacées (minoritaires) : *Paspalum virginatum* (A) et *Bothriochloa bladhii* (A).
Note : Présence de troncs morts d'*Hippomane mancinella*.

F2 - Végétation anémomorphe arbustive à *Lantana* avec *Hippomane*
Zones arbustives : dominées par *Hippomane mancinella* (A), prostré, associé à *Lantana involucrata* (C).

/

F3 - Végétation arbustive à *Lantana* avec arbres disséminés (*Tabebuia*)
Zones arborés (minoritaires) : ilots forestiers ou individus de *Tabebuia heterophylla* (D).
Zones arbustives : dominées par *Lantana involucrata* (D) en peuplement bas et peu denses.
Zones herbacées : présence de taches de *Sporobolus virginicus* (B) et *Paspalum virginatum* (A) et *Stachytarpheta jamaicensis* (A) au sein des buissons de *Lantana*.

F4 - Végétation arbustive (*Rauvolfia semperflorens*) basse et herbacée avec arbres disséminés (*Quadrella* spp.)
Zones arborées (minoritaires) : quelques *Quadrella* spp.
Zones arbustives basses : dominée par *Rauvolfia semperflorens* var. *viridis*.
Zones herbacées : dominées par *Opuntia triacantha* ou par des poaceae lithophiles.

F5 – Végétation anémomorphe arbustive (*Rauvolfia semperflorens*) et herbacée avec arbres disséminés (*Rauvolfia viridis/Quadrella* spp.)
Zones arborées (minoritaires) : ilots arborés ou individus de *Rauvolfia viridis* (D) et *Quadrella* spp. (B).
Zones arbustives : dominées par *Rauvolfia semperflorens* var. viridis (D), *Lantana involucrata* (C) et *Croton flavens* (B).
Zones herbacées : présence de dépressions humides où domine une strate herbacée composée d'*Opuntia triacantha* (A), *Blutaparon vermiculare* (B), *Bothriochloa bladhii* (B), *Fimbristylis cymosa* (A) et *Bothriochloa pertusa* (A).

F6 - Végétation arbustive à *Volkameria/Croton* avec arbres disséminés (*Quadrella* spp) et agaves
Zones arborées (minoritaires) : ilots arborés ou individus de *Quadrella cynophallophora* (C) et *Quadrella indica* (B). Présence de *Ficus citrifolia* (i) et *Agave karatto* (C).
Zones arbustives : dominées par *Volkameria aculeata* (D), associé à *Croton flavens* (C) et *Solanum bahamense* (B).
Note : habitat historiquement anthropisé, où a été potentiellement planté *Agave karatto* (C) à proximité des habitations.

G1 - Végétation arbustive à *Volkameria/Lantana*
Zones arbustives : dominées par *Lantana involucrata* (D) et *Volkameria aculeata* (B), avec *Coccoloba uvifera* (B), *Solanum bahamense* (A) et *Pithecellobium unguis-cati* (A).

G2 - Végétation arbustive à *Volkameria/Lantana* avec arbres disséminés (*Tabebuia/Hippomane*)
Zones arborées (minoritaires) : individus de *Tabebuia heterophylla* (A) et *Hippomane mancinella* (A), avec *Pithecellobium unguis-cati* (i).
Zones arbustives : dominées par *Volkameria aculeata* (D) et *Lantana involucrata* (C), *Croton flavens* (B).
Note : transition entre la frange littorale, celle de la mangrove et les ilots arborés de *Tabebuia heterophylla*.

G3 - Végétation arbustive à *Volkameria/Lantana* avec arbres disséminés (*Tabebuia/Hippomane/Guaiacum*)
Zones arborées (minoritaires) : individus de *Tabebuia heterophylla* (A) et *Hippomane mancinella* (A), *Guaiacum officinale* (A) et *Vachellia farnesiana* (A).
Zones arbustives : dominées par *Volkameria aculeata* (D) et *Lantana involucrata* (C), *Vachellia farnesiana* (C), *Croton flavens* (B) et *Solanum bahamense* (A).
Note :
- Présence d'une tache de *Eupatorium integrifolium* (A).
- Profil parfois anémomorphe notamment dans les secteurs sud-est

G4 - Végétation arbustive à *Volkameria/Lantana* et arborée (*Pithecellobium/Vachellia*)
Zones arborées : dominées par *Pithecellobium unguis-cati* (D), *Vachellia farnesiana* (C) et *Hippomane mancinella* (B).
Zones arbustives (minoritaires) : dominées par *Volkameria aculeata* (C) et *Lantana involucrata* (C). Présence occasionnelle de *Schaefferia frutescens* (i).

G5 - Végétation arbustive à *Volkameria/Lantana* et arborée (Pithecellobium/*Tabebuia*)
Zones arborées : dominées par *Tabebuia heterophylla* (C) et *Pithecellobium unguis-cati* (C), avec *Hippomane mancinella* (A) et *Guaiacum officinale* (A).
Zones arbustives : dominées par *Volkameria aculeata* (D) et *Lantana involucrata* (C), avec *Solanum bahamense* (B) et *Croton flavens* (B).

H1 - Végétation à dominante arborée à *Hippomane/Tabebuia* et fourrés à *Volkameria*/Croton
Zones arborées (minoritaires) : dominées par *Hippomane mancinella* (C) et *Tabebuia heterophylla* (C), avec *Pithecellobium unguis-cati* (B) et *Vachellia farnesiana* (A).
Zones arbustives : dominées par *Volkameria aculeata* (D), associé à *Croton flavens* (B) et *Solanum bahamense* (B).
Note : à l'Est, présence d'*Agave karatto* (A).]

H2 - Végétation à dominante arborée à *Hippomane/Tabebuia* (avec *Coccoloba*) et fourrés à *Lantana*
Zones arborées : dominés par des ilots de *Tabebuia heterophylla* (C), *Coccoloba uvifera* (C) et *Hippomane mancinella* (A).
Zones arbustives : dominées par *Lantana involucrata*.
Zones herbacées : dominées par *Cyperus planifolius* (A)

H3 - Végétation à dominante arborée à *Hippomane/Tabebuia* (avec *Guaiacum*) et fourrés à *Volkameria/Lantana*
Zones arborées : dominées par *Guaiacum officinale* (D), avec *Tabebuia heterophylla* (C), *Hippomane mancinella* (C) et *Bursera simaruba* (B). Présence de *Vachellia farnesiana* (A) et *Pithecellobium unguis-cati* (A).
Zones arbustives : dominées par *Volkameria aculeata* (C), *Lantana involucrata* (C) et *Croton flavens* (B).

I1 - Végétation arborée à *Hippomane/Tabebuia* (avec Pithecellobium) et fourrés à *Volkameria/Lantana*
Zones arborées : dominée par *Hippomane mancinella* (D) et *Tabebuia heterophylla* (C), avec *Pithecellobium unguis-cati* (A).
Zones arbustives (minoritaires) : dominées par *Volkameria aculeata* (A) et *Lantana involucrata* (C). Présence de *Vachellia farnesiana* (A) et *Croton flavens* (A).

I2 - Végétation arborée à *Hippomane/Tabebuia* (avec *Guaiacum* et *Bursera*) et fourrés à *Volkameria/Lantana*
Zones arborées : dominées par *Hippomane mancinella* (C) et *Tabebuia heterophylla* (D) avec, plus rare, *Guaiacum officinale* (A) et *Bursera simaruba* (A).
Zones arbustives (minoritaires) : dominées par *Lantana involucrata* (C) et *Volkameria aculeata* (C), avec *Croton flavens* (B).

I3 - Végétation arborée à *Hippomane/Tabebuia* (avec *Pithecellobium*) et fourrés à *Lantana*
Zones arborées : dominées par des îlots de *Tabebuia heterophylla* (D) et *Hippomane mancinella* (A), avec *Pithecellobium unguis-cati* (B)
Zones arbustives (minoritaires) : dominées par *Lantana involucrata* (C).

J1 - Végétation arborée forestière à *Hippomane/Tabebuia*
Zones arborées : dominées par des *Hippomane mancinella* (D) et *Tabebuia heterophylla* (C). Présence ponctuelle de *Pithecellobium unguis-cati* (i), *Cocos nucifera* (i), *Bontia daphnoides* (i) et, sous couvert, *Opuntia triacantha* (A) par taches ou *Lantana involucrata* (B, en bord de mer).

J2 - Végétation arborée forestière à *Hippomane/Tabebuia* (avec *Coccoloba*) et fourrés à *Volkameria/Lantana*
Zones arborées : dominées par *Hippomane mancinella* (C) et *Tabebuia heterophylla* (C), voire *Coccoloba uvifera* (C), *Guaiacum officinale* (i) et *Suriana maritima* (i) et, sous couvert, *Caesalpinia bonduc* (B, en bord de mer).
Zones arbustives (minoritaires) : dominées par *Volkameria aculeata* (C) et *Lantana involucrata* (C).

M1 - Zone piétinée du phare

L'outil drone

Le présent chapitre détaille les choix techniques pour la réalisation de cette étude, les contraintes spécifiques liées au drone, et au final évalue l'efficacité de cet outil pour la cartographie des formations végétales. L'ensemble peut être abordé comme un référentiel technique et un guide d'aide à la décision pour l'utilisation (ou non) du drone dans des objectifs de cartographie d'habitats.

Plan de vol et paramètres associés

Les plans de vols sont les parcours programmés exécutés par le drone pour couvrir l'ensemble des ilets. Pour anticiper la mission et nos besoins, la durée de vol et le volume de données théoriques ont été calculés suivant différentes hauteurs de vol d'après les propriétés optiques du drone (Tableau 8).

Les prévisions se sont vérifiées sur le terrain sauf pour la vitesse de vol : en réalité le drone vole plus vite mais fait de courtes pauses, ce qui altère la possibilité d'anticiper précisément la durée du vol sans application dédiée. En pratique, le vol est plus rapide : environ 80% de la durée théorique.

Tableau 8. Durée de vol et volume de donnée théoriques selon la hauteur de vol.

CAS D'UN VOL à 90° pour une surface rectangulaire de 2500 x 500 m (125 ha), recouvrement à 65%

Hauteur de vol	Largeur photo	Longueur photo	Surface photo	GSD	Largeur hors recou-vrement	Longueur hors recou-vrement	Nb cliché total	Vol. données	Dist. À parcourir	Vmax	Vmax	Durée vol	
m	m	m	m²	(cm/px)	m	m		Go	km	m/s	km/h	minutes	heures
5	5,64	7,52	37,675	0,14	2,0	2,6	240590	1203	341	0,175	0,63	32473	541
10	11,28	15,04	150,851	0,27	3,9	5,3	60147	301	170	0,3375	1,215	8419	140
15	16,92	22,56	339,302	0,41	5,9	7,9	26732	134	114	0,5125	1,845	3696	62
20	24,75	33	726	0,55	8,7	11,6	12494	62	78	0,6875	2,475	1884	31
30	33,84	45,12	1357,21	0,82	11,8	15,8	6683	33	57	1,025	3,69	924	15
40	45,12	60,16	2413,018	1,1	15,8	21,1	3759	19	43	1,375	4,95	517	9
50	56,4	75,2	3769,776	1,37	19,7	26,3	2406	12	34	1,7125	6,165	332	6
60	67,68	90,24	5428,838	1,64	23,7	31,6	1671	8	28	2,05	7,38	231	4
70	78,7575	105,01	7351,75	1,92	27,6	36,8	1234	6	24	2,4	8,64	170	3
80	90,0075	120,01	9602	2,19	31,5	42,0	945	5	21	2,737	9,855	130	2

Tests de hauteurs

Les tests de hauteur ont montré que jusqu'à 30 m il reste aisé d'identifier les espèces et les formations sans faire appel à des images de référence. Mais cette hauteur optimale n'est finalement pas applicable sur les deux ilets en termes de délai car nécessiterait entre 12 et 15 heures de vol (Tableau 8). Seul un drone avec une meilleure optique et donc une meilleure résolution ou plus rapide pourrait changer cette contrainte.

Après les tests de hauteurs (Figure 8) et pour optimiser les trois paramètres principaux (volume de données, qualité finale et durée des plans de vol), les paramètres finaux retenus sont ceux présentés dans le Tableau 9, basés sur une hauteur de vol à 50 m pour Terre-de-Bas et 30 pour Terre-de-Haut.

Note : sans la durée de la phase de test, il aurait été possible de gagner une journée et donc d'abaisser la hauteur de vol à 40 m : le volume de données, quasi doublé, aurait encore été traitable et la durée de vol (probablement 7-8h) réalisable.

Figure 8. Comparaison d'images (emprise et résolution) à différentes hauteurs (la photo à 50 m est prise à une autre heure)

Paramètres de vol finaux

Le Tableau 10 résume les propriétés finales du plan de vol total. Le plan de vol sur les deux ilets a duré 4h 40min, ce qui correspondu à 17 batteries. Le plan de vol a été réalisé en 17 vols. L'itinéraire du drone a été configuré et optimisé par l'application PIX4DCapture.

Au final, les paramètres déterminants sont, comme anticipé, la hauteur de prise de vue (50 m) et le taux de recouvrement qui vont déterminer le nombre de clichés, la qualité des images et la qualité de l'assemblage final. Le recouvrement correspond au taux de superposition entre deux images voisines : plus le recouvrement est important, moindre est la déformation sur les bords de la photo mais plus grande est la quantité de photos à prendre, de données à stocker et plus long sera le vol.

La valeur de recouvrement choisie retenue (67%) s'est avérée trop faible à l'assemblage et est responsable d'une perte sensible de précision. Ce constat s'ajoute à celui de la hauteur de vol à 50 m qui limite elle aussi l'exploitabilité des images.

Figure 9. Les images ont la meilleure qualité en leur centre. La résolution et la perspective se dégradent rapidement en s'éloignant du centre d'où l'importance d'un bon recouvrement.

Tableau 9. Paramètres des plans de vol.

Paramètre	Valeur	Commentaire
OPTIQUE		
Focale	3,6 mm	(équivalence en 35 mm : 20 mm)
Angle de vue	90°	
Sensibilité	100 ISO	
Exposition	-0,3EV	La sous-exposition permet de minimiser les reflets et de faciliter d'éventuelles retouches
Ouverture	F2,8-3,6	Gérée automatiquement
Vitesse	1/252 à 1/1600	Gérée automatiquement
PARAMETRE VOL		
Vitesse Drone	≈7,5 km/h	L'application ne donne pas la valeur exacte mais seulement la variation en terme de temps de vol. Le choix d'une vitesse intermédiaire s'est traduit par une vitesse finalement assez élevée.
Hauteur relative de vol	≈50 m (Terre-de-Bas) ≈30 m (Terre-de-Haut)	
Taux de recouvrement latéral	67%	Taux trop faible : déformation hors du centre de l'image trop forte
Taux de recouvrement frontal	67%	Taux trop faible : déformation hors du centre de l'image trop forte
STOCKAGE		
Format jpg, qualité maximale	JPG qualité max	L'écriture de fichier raw est lente et le gain de qualité n'est pas sensible car la qualité est surtout définie par la résolution cm/px de l'optique en conditions de vol réel.
Dimensions image	4000x3000	
Qualité	12MP	
Résolution effective	1,5 cm	Résolution insuffisante pour distinguer des phyllotaxies proches
Poids/image	≈4,8MO	

Tableau 10. Propriétés finales du plan de vol.

Paramètre	Valeur	Commentaire
Surface couverte	Terre-de-Haut : 429 340 m² Terre-de-Bas : 1 426 210 m² Total : 1 855 550 m² (185 ha)	
Temps de vol total	4h 40min	En comptant les changements de batteries, les déplacements pour parvenir aux points de départs de plan de vol optimaux, les bonnes fenêtres météo, etc., cela correspond à 2 jours de mission uniquement dédié à la couverture intégrale
Nombre d'images	4761	
Volume final des données	20,6GO	À cela s'ajoutent les données de vols de test, les autres vols non planifiés, etc. Au total, en retour de mission, ce sont 100 GO de données accumulées
Nombre d'images/ha	21	
Emprise réelle du plan de vol	189 ha	
Emprise théorique d'une image	50x75m	
Emprise réelle d'une image	≈80 m x 60 m	
Nb moyen images/min	16,2	

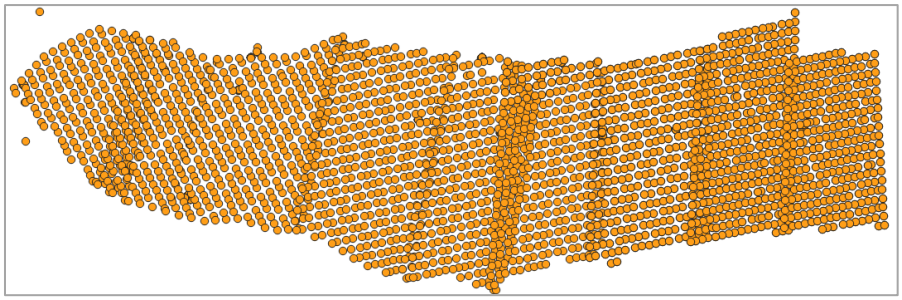


Figure 10. Plans de vols de la partie ouest de Terre-de-Bas. Les ensembles correspondent chacun à des vols différents.

Contraintes techniques

L'utilisation du drone comme outil de cartographie entraîne un nombre important de contraintes techniques à bien envisager avant de choisir cette technique. Ces contraintes sont liées à :

- La réglementation,
- Les conditions météo,
- Le transport du matériel,
- Le matériel de vol (aéronef, batteries, tablettes)
- La création et la gestion de plans de vols,
- Le stockage et la gestion des données (et son déchargement),
- L'assemblage et le traitement des images,
- L'apprentissage de l'interprétation de photo à la verticale par le botaniste ou/et le technicien,
- L'impact sur la faune.

Cadre réglementaire

Un survol drone nécessite :

- De tenir compte des zones d'interdictions de vol édictées par l'aviation civil (trafic aérien) ;
- D'effectuer d'éventuelles demandes auprès de l'aviation civile pour des prises de vue selon le site, la fréquentation et le type de drone ;
- De disposer des autorisations de vol propre au site concerné (ex : les vols à <300 m d'attitude sont interdit au-dessus de la RNN des ilets de Petite-Terre) et propres au drone utilisé (variables notamment suivant la masse de l'appareil) ;
- De disposer des autorisations de vol propre au site concerné (ex : les vols à <300 m d'attitude sont interdit au-dessus de la RNN des ilets de Petite-Terre ;
- De disposer d'un pilote réglementairement habilité et formé au matériel.

En outre, les autorisations éventuellement nécessaires doivent être cohérentes dans le temps avec les fenêtres météorologiques et peuvent nécessiter d'être renouvelées à chaque report de mission.

Conditions météorologiques

Par rapport à un inventaire classique, l'utilisation du drone réduit les fenêtres d'inventaire. Pour le modèle utilisé (Drone DJI Phantom 4 de 1380 g), homologué pour des vols jusqu'à 150 m de haut et 1000 m de distance horizontale par rapport au pilote, il faut prévoir :

- Un vent stable et inférieur à 13 nœuds (au-delà, le drone utilisé n'est plus assez stable pour la prise de vue et le respect de l'angle de vue et des taux de recouvrement et devient très énergivore ; avec un risque accru de perte d'engins en vol sur de longues distances),
- Un ensoleillement correct, de préférence avec ombres portées.

À Petite-Terre, ces conditions, combinées aux conditions de houles nécessaires pour la traversée, a été problématique et à l'origine de reports de missions. Par ailleurs, le climat riche en passages pluvieux brefs (« grains ») complique les missions où les vols s'enchainent toute la journée.

Matériel de vol et transport

Le matériel utilisé était le suivant :

- Drone DJI Phantom 4,
- 6 batteries pour une autonomie sur le terrain de 3h de vol (en réalité 2h, car nécessité de garder une sécurité de 30% pour les phases d'aller/retour, les bugs et imprévus)
- Chargeur pouvant recharger 4 batteries simultanément,
- Tablette très lumineuse pour être utilisée en conditions très lumineuses (iPad + chargeur)
- Cache-jour pour tablette
- Jeu de mires de 50 mires de 20x50 cm, cartonnées, marron clair, avec numéro inscrit au pinceau bleu-sombre et correspondant chacune à une espèce prévisiblement présente (support carton et peinture bleu forment une combinaison minimisant les reflets et les différences d'expositions avec le couvert végétal, tout en restant lisible).

Le drone, par son encombrement (en valise ou en sac), les nombreuses batteries et leurs chargeurs à prévoir, la télécommande, la tablette de suivi, etc. représente une logistique importante. Un pilote seul peut suffire à transporter et gérer le matériel, mais une seconde personne est recommandée, notamment pour assurer une veille permanente de l'appareil lors de chaque phase de vol en cas de dérangement de la faune ou d'anomalie de vol (le drone a dû être récupéré dans la végétation par deux fois suite à des pertes inopinées de signal).

Préparation du plan de vol de l'est de Terre-de-Bas. Envol sur zone.

Création et gestion des plans de vols

La création d'une carte par vue aérienne de drone nécessite de disposer d'applications capables d'optimiser le plan de vol du drone en fonction des paramètres de hauteur de vol, d'emprise et de recouvrement des clichés choisis.

La création et la gestion de plans de vol est une partie fondamentale et problématique. Les caractéristiques d'un vol peuvent être anticipés grâce au Tableau 8, qui sera notamment utile pour dimensionner en amont tout projet, en pouvant varier plusieurs paramètres ensemble. Il est néanmoins préférable de suivre les propositions des applications de plans de vols qui gèrent mieux les paramètres de vitesse, de recouvrement et d'optimisation des parcours.

Les applications permettant de créer efficacement des plans de vols sont payantes et fonctionnent par abonnement avec engagement, ce qui est donc inadapté à une cartographie ponctuelle. Pour les solutions DJI, DroneDeploy ou Pix4D, les coûts varient entre 1000€ à 2500€/an, voire davantage. Dans ces conditions, cartographier par drone requiert un investissement supplémentaire pour acquérir les outils indispensables.

La présente mission a été menée grâce à des versions d'essai dégradées des applications citées. L'application retenue, après différents tests, a été Pix4Dcapture qui présentait le meilleur compromis souplesse/paramétrage/ergonomie. La solution utilisée ne prend pas en compte de modèle numérique de terrain : autrement dit, le vol du drone ne suit pas le relief et reste toujours à la même altitude, celle-ci étant définie par avance. Sur les ilets, où le relief varie de 0 à 8 et où les vols ont été scindés, cet inconvénient a été minoré.

Flux, stockage, gestion des données

Pour une mission hors des réseaux 4G, il faut prévoir la mise à jour de toutes les applications avant missions et veiller à un fonctionnement de tous les dispositifs indépendamment des réseaux internet. En particulier, les applications utilisent des cartographies en ligne dont il convient de mettre en cache les couches avant la mission.

Il faut également prévoir une quantité de mémoire, sur carte ou/et DD, ainsi que les outils de transfert (ordinateur, autres…) capables d'absorber à la fois les données prévues par les plans de vols (19 GO, ici) mais aussi celles produites au cours des phases test, des phases additionnelles (prises de vue oblique, prises de vue esthétiques, …). Au total, cette mission a abouti à la production de 100GO de données photo, qu'il faut stocker, mettre en réseau, gérer.

Assemblage et traitement des images

L'assemblage est une opération qui joint l'ensemble des images prises par drone en une seule vue unique, rectifiée via un algorithme qui redresse la perspective, et unit les points similaires en recherchant les arêtes et les motifs identiques.

Comme pour la production de plans de vol, la gestion des photos drone, et en particulier leur assemblage pour la construction de cartographies, est elle aussi tributaire d'applications onéreuses (jusqu'4000€). Les solutions libres ou métier (ArcGIS) n'ont pas donné de résultats satisfaisants.

La qualité de l'assemblage est un point crucial, car l'opération peut dégrader sensiblement les images d'origine. L'algorithme est très efficace en milieu urbain mais moins lorsque les motifs sont complexes comme la végétation de Petite-Terre. Cette opération a été réalisée en prestation et une perte de qualité a été constatée avec les images d'origines, illustrée par la Figure 11.

Figure 11. Perte de qualité suite à l'assemblage des clichés sous Pix4Dmapper (prestation externe). À gauche : image originale prise à 50 m de haut ; à droite : image après assemblage.

L'assemblage produit des fichiers uniques lourds (ici >500 MO) qu'il convient idéalement de redécouper pour affichage par dalles dans un SIG. L'assemblage est utile pour créer une seule image propre sans décalage dans son montage, sans artefacts majeurs et ainsi superposable et comparable avec d'autres produits comme la BDORTHO@IGN ou un trait de côte.

Néanmoins, dans le cas d'identification d'habitats, la qualité des clichés doit primer sur l'assemblage.

Il est donc recommandé, pour une cartographie :

- De créer un assemblage rectifié et géoréférencé pour obtenir une image pouvant être comparée avec d'autres produits cartographiques (produits IGN, trait de côte, autres inventaires, etc.).
- D'utiliser pour l'identification des habitats un dallage avec les photos brutes incluses directement dans un SIG, sans déformation ni calage inter-photos. Cette opération est néanmoins elle aussi complexe : elle nécessite d'obtenir l'angle des prises de vues, de récupérer en lot les géolocalisations, de corriger les emprises de chaque cliché (car la hauteur de prise de vue peut varier avec le relief dans le cas présent d'un plan de vol sans prise en compte du relief).

Un dallage brut nécessite d'accéder à l'ensemble des métadonnées des photos, or il est apparu que seul XnView était capable de lire les métadonnées utiles : la plupart des lecteurs photos (explorateur Windows, Irfanview, Lightroom Adobe, etc.) affichent les informations d'altitude absolue donnée par le drone (fausse, par ailleurs) mais pas celle de la hauteur relative créée par le programme DJI (photo ci-dessous).

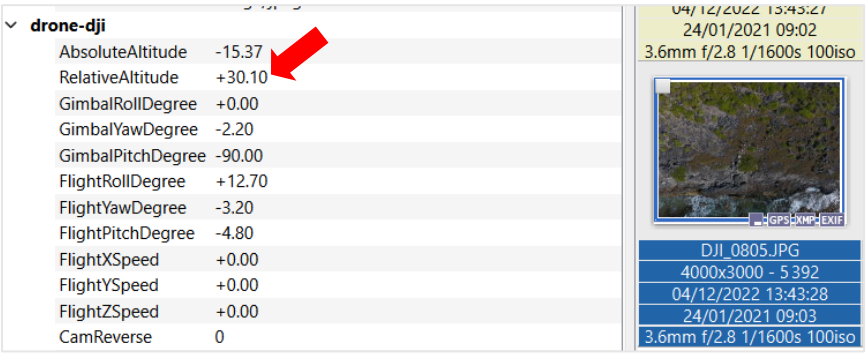


Figure 12. L'altitude relative, une métadonnée fondamentale créée par l'interface DJI du drone lue par peu de lecteurs de métadonnées.

Dérangement de la faune

L'impact du drone sur la faune de Petite-Terre était inconnu auparavant. Deux groupes étaient susceptibles de montrer une certaine sensibilité : les iguanes et les oiseaux, en particulier les oiseaux marins dont les sternes. Une vigilance accrue pour les oiseaux devait être observée sur les zones sensibles : les salines où nichent les sternes (autour du mois de juillet), leurs berges et le littoral sableux et rocheux des deux ilets.

Dans ces conditions, le pilote a été systématiquement accompagné d'un opérateur contrôlant le comportement de la faune, et pouvant anticiper d'éventuelles attaques d'oiseaux. Au terme de la mission, il est apparu évident que le drone ne changeait pas de façon visible le comportement de la grande faune. Les iguanes restaient impassibles, y compris dans les phases de décollage et d'atterrissage, étant davantage dérangés par les opérateurs eux-mêmes que par l'engin. En vol, aucun oiseau ne s'est approché de l'engin au cours des vols programmés malgré les très longs parcours de celui-ci. Deux frégates lors des vols à l'ouest de Terre-de-Bas ont semblé s'approcher à une centaine de mètres de l'engin au cours de trajectoires longues (distances difficiles à évaluer) sans démontrer ni crainte ni agressivité. Lors de vols stationnaires de test et de calibrage, faits sur les stations (cairns), qui incluaient des phases de quelques secondes à différentes hauteurs basses (5, 10, 15, 20, 30 m) aucun dérangement n'a été perçu.

Il apparait que le principal danger pour la faune, théorique, est celui de la chute inopinée du drone.

Figure 13. Cet iguane, comme tous les autres, s'est montré indifférent aux passages du drone.

Le drone comme support à la cartographie ?

Nous évaluons ici l'intérêt du drone pour cartographier des milieux secs au couvert végétal bas, comme à de Petite-Terre.

Qualité par rapport aux orthophotos

À la différence de la BDORTHO©IGN actuelle (2017), les clichés produits par drone permettent à un œil exercé d'exploiter à la fois les textures, les motifs et les couleurs pour identifier rapidement de nombreuses espèces (ficus, agaves, banquettes de pourpriers, romarins, raisiniers, etc.) ou détecter la diversité des cortèges, repérer l'anémomorphie, voire la nature du sol (ex : dépressions).

Figure 14. Comparaison de la BDORTHO©IGN avec les images drone à 50 m de hauteur

Détectabilité des d'espèces

Les images drone sont particulièrement lisibles pour détecter la présence de certaines espèces. Dans tous les cas cependant, il est nécessaire de disposer d'images de référence pour détecter ces espèces sur les clichés ; à l'exception des agaves et des cocotiers.

Les espèces formant des tâches ou des ensembles compacts ou monospécifiques ou faiblement mélangées, sont aisément détectables (Figure 15) :

- De nombreuses herbacées aux couvertures assez grandes sont pour la plupart reconnaissables à leurs teintes et leurs motifs (*Sesuvium portulacastrum, Portulaca halimoides, Sporobolus virginicus, Paspalum vaginatum*, etc.).
- Les espèces arbustives denses littorales (cas des romarins, qui présentent chacun leur teinte, cas des raisiniers en situation monospécifique),
- Les espèces arborées de mangroves, aux rideaux très distincts,
- Les espèces à l'architecture particulière (agaves, cocotiers),
- Les espèces aux teintes nettes (*Pisonia subcordata* au feuillage tirant sur le violet vu de haut), romarins blancs, et dans une certaine mesure *Croton flavens* quand il est isolé.

Ces espèces présentent toutes la particularité de former des tâches isolées, de petits patchs, voire de véritables étendues, monospécifiques ou presque. En revanche, les espèces deviennent difficiles à interpréter sur les clichés de drone lorsqu'elles forment des peuplements très imbriqués, à l'image des peuplements arbustifs denses à *Volkameria*/*Lantana* qui peuvent héberger de nombreuses autres espèces, arbustives ou arborés, intriquées à elles.

Figure 15. Exemple d'espèces du littoral aisément détectables (à gauche : à 30 m ; à droite : à 50 m)

30 m : hauteur maximale efficace pour la télédétection pour un DJI Phantom IV

L'identification à 10 m est la plus simple et sûre, celle est 30 m reste assez aisé tandis qu'à 50 m, le recours à des images de références doit être quasi-systématique. La facilité de télédétection a été testée pour chaque espèce observée par drone à 10, 30 et 50 m.

Le Tableau 11 présente ainsi la détectabilité de 50 espèces des 70 espèces de la réserve par drone (les autres espèces soit n'ont pas été vues par drone et donc ne disposent pas d'images de référence, soit n'ont pas été rencontrés sur cet inventaire), d'où il ressort que :

- À 30 m, 15 espèces apparaissent faciles à identifier, contre 12 à 50 m,

- À 30 m, 21 sont moyennement faciles à identifier, notamment parce que leur identification dépend des configurations *in situ* (spécimens isolés ou intriqués, stade adulte avancé, végétation à l'entour très hétérogène, etc.), contre 20 à 50 m,
- À 30 m, 15 espèces sont ardues à reconnaître quelle que soit la situation, contre 19 à 50 m.

La plupart des espèces détectables sont basses et très littorales, montrant que le drone présente un intérêt accru pour les formations végétales de bord de mer, où la détectabilité des espèces est consolidée par leur répartition spatiale en bandes ou patchs homogènes et prévisibles.

La télédétectabilité des espèces est illustrée sur les planches suivantes qui présentent différents milieux à trois hauteurs (10, 30, 50 m).

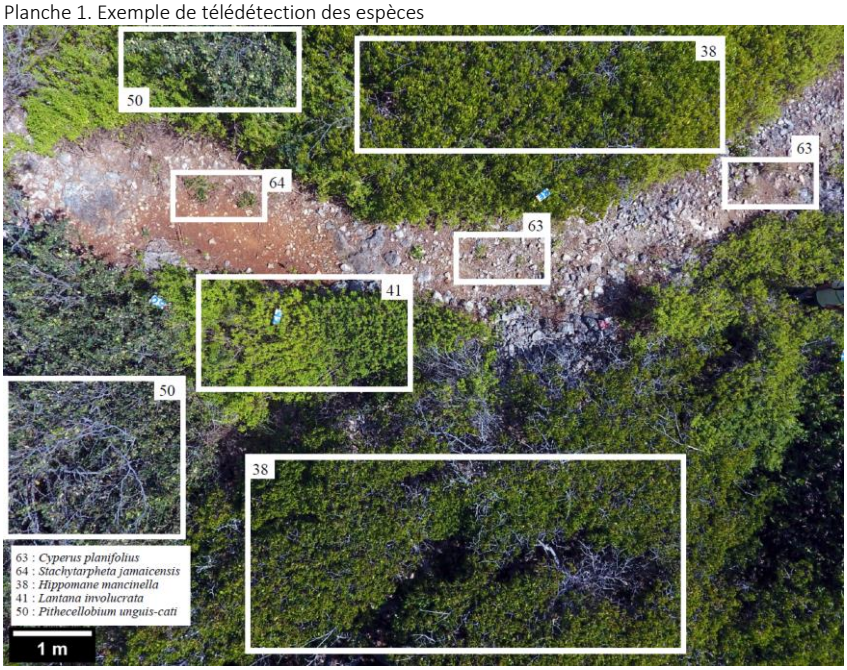
Note : un test a été réalisé aussi un modèle de drone plus léger (Drone Pro II), qui s'est avéré trop léger pour les vents de Petite-Terre et avec une qualité photo peu exploitable.

Tableau 11. Niveau de détectabilité des espèces des ilets de Petite-Terre sur des photos drone prises à 30 m et 50 m.

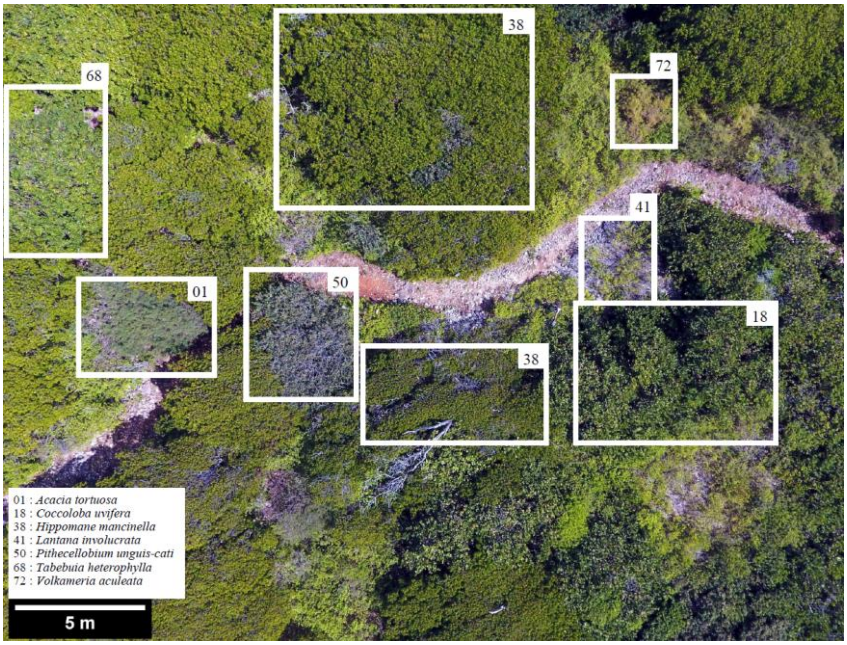
CD_REF	Famille	Nom complet	Détectabilité : 0 nulle, 1 : faible, 2 : moyenne, 3 : élevée, NVD : détectabilité inconnue car espèce non vu par drone		Commentaire
			À 30 m	À 50 m	
629001	Fabaceae	Acacia tortuosa (L.) Willd., 1806	2	1	Signature peu typique, feuillage épars, nombreux rameaux « secs »
629040	Asparagaceae	Agave karatto Mill., 1768	3	3	Signature typique. Architecture en rosette
639239	Asphodelaceae	Aloe vera (L.) Burm.f., 1768	NVD	NVD	
629127	Acanthaceae	Avicennia germinans (L.) L., 1764	3	2	Si peuplement assez homogène ou formation en rideau
629162	Euphorbiaceae	Bernardia corensis (Jacq.) Müll.Arg., 1865	NVD	NVD	
629175	Amaranthaceae	Blutaparon vermiculare (L.) Mears, 1982	3	2	
629182	Scrophulariaceae	Bontia daphnoides L., 1753	0	0	Individus trop isolés
629184	Asteraceae	Borrichia arborescens (L.) DC., 1836	2	1	Signature assez typique (massifs compacts et clairs) mais surfaces petites
446276	Poaceae	Bothriochloa bladhii (Retz.) S.T.Blake, 1969	3	3	
629186	Ehretiaceae	Bourreria succulenta Jacq., 1760	NVD	NVD	
629217	Burseraceae	Bursera simaruba (L.) Sarg., 1890	2	2	Houppier rond et moins feuillus au centre
629224	Brassicaceae	Cakile lanceolata (Willd.) O.E.Schulz, 1903	NVD	NVD	
447163	Fabaceae	Canavalia rosea (Sw.) DC., 1825	NVD	NVD	Probablement typique
629255	Canellaceae	Canella winterana (L.) Gaertn., 1788	NVD	NVD	
629262	Scrophulariaceae	Capraria biflora L., 1753	2	1	Signature faible
159604	Poaceae	Chloris barbata Sw., 1797	1	1	Tâches identifiables à 30 m
631054	Asteraceae	Chromolaena integrifolia (Bertero ex Spreng.) R.M.King & H.Rob., 1970	2	1	Signature faible
447455	Polygonaceae	Coccoloba uvifera (L.) L., 1759	2	2	Si peuplement assez homogène ou formation en rideau ou en massif compact
447749	Arecaceae	Cocos nucifera L., 1753	3	3	Signature typique. Architecture en rosette, ombre portée
629401	Combretaceae	Conocarpus erectus L., 1753	2	2	Si peuplement assez homogène (rare) ou formation en rideau ou en massif compact (rare)
629448	Celastraceae	Crossopetalum rhacoma Crantz, 1766	NVD	NVD	
629466	Euphorbiaceae	Croton astroites Dryand., 1789	NVD	NVD	
629471	Euphorbiaceae	Croton flavens L., 1759	3	3	Taches arbsutives très claires
448442	Asteraceae	Cyanthillium cinereum (L.) H.Rob., 1990	NVD	NVD	
852974	Capparaceae	Cynophalla flexuosa (L.) J.Presl, 1825	NVD	NVD	
630986	Capparaceae	Cynophalla hastata (Jacq.) J.Presl, 1825	XXxxxxx	XXxxxxx	
93936	Cyperaceae	Cyperus fuscus L., 1753	1	1	Tâches identifiables à 30 m
632988	Cyperaceae	Cyperus planifolius Rich., 1792	XXxxxxx	XXxxxxx	
447184	Fabaceae	Desmodium incanum (Sw.) DC., 1825	NVD	NVD	
96586	Poaceae	Eragrostis ciliaris (L.) R.Br., 1818	NVD	NVD	
629662	Rubiaceae	Erithalis fruticosa L., 1759	1	1	Signature non typique
629664	Rubiaceae	Ernodea littoralis Sw., 1788	2	1	Si isolé sur le littoral.
901964	Euphorbiaceae	Euphorbia mesembryanthemifolia Jacq., 1760	2	2	Micro-tâches visibles à 30 m
97623	Euphorbiaceae	Euphorbia prostrata Aiton, 1789	NVD	NVD	
629722	Convolvulaceae	Evolvulus nummularius (L.) L., 1762	NVD	NVD	
629734	Moraceae	Ficus citrifolia Mill., 1768	2	2	Signature ronde Si isolé
446193	Cyperaceae	Fimbristylis cymosa R.Br., 1810	2	2	Xxxxxxxxxx
629786	Zygophyllaceae	*Guaiacum* officinale L., 1753	2	2	Xxxxxxxxxxx
633845	Fabaceae	Guilandina ciliata Bergius ex Wikstr., 1825	1	1	Xxxxxxxxxxx

CD_REF	Famille	Nom complet	Détectabilité : 0 nulle, 1 : faible, 2 : moyenne, 3 : élevée, NVD : détectabilité inconnue car espèce non vu par drone		Commentaire
629803	Euphorbiaceae	Gymnanthes lucida Sw., 1788	NVD	NVD	
101141	Heliotropiaceae	Heliotropium curassavicum L., 1753	NVD	NVD	
629861	Euphorbiaceae	Hippomane mancinella L., 1753	2	2	Signature typique en cas d'anémomorphie ou de massif compact
445581	Convolvulaceae	Ipomoea pes-caprae (L.) R.Br., 1818	NVD	NVD	Probablement typique
634231	Primulaceae	Jacquinia arborea Vahl, 1797	0	0	Un seul individu
629993	Rhamnaceae	Krugiodendron ferreum (Vahl) Urb., 1902	NVD	NVD	
630001	Combretaceae	Laguncularia racemosa (L.) C.F.Gaertn., 1807	3	3	Signature typique si en cortège
630004	Verbenaceae	*Lantana* involucrata L., 1756	2	2	Signature typique si isolé ou en cas d'anémomorphie
630084	Malpighiaceae	Malpighia linearis Jacq., 1760	NVD	NVD	
630929	Poaceae	Melinis repens (Willd.) Zizka, 1988	NVD	NVD	
630138	Malvaceae	Melochia tomentosa L., 1759	NVD	NVD	
610571	Cactaceae	Opuntia dillenii (Ker Gawl.) Haw., 1819	NVD	NVD	
630272	Cactaceae	Opuntia triacantha (Willd.) Sweet, 1826	1	1	Visible à 30 m si en zone découverte
630316	Poaceae	Paspalum laxum Lam., 1791	NVD	NVD	
112515	Poaceae	Paspalum vaginatum Sw., 1788	3	3	Si couverture >10 m²
630345	Asteraceae	Pectis humifusa Sw., 1788	3	3	Signature à motif coloré sur roche trypique
445642	Phyllanthaceae	Phyllanthus amarus Schumach., 1827	NVD	NVD	
630439	Nyctaginaceae	Pisonia fragrans Dum.Cours., 1814	1	1	Signature non typique
630440	Nyctaginaceae	Pisonia subcordata Sw., 1788	2	2	Signature typique (houppier à teinte violette)
630445	Fabaceae	Pithecellobium unguis-cati (L.) Benth., 1844	1	1	Signature non typique, souvent en mélange
630456	Apocynaceae	Plumeria alba L., 1753	1	1	Bien visible à H10-H30
630474	Portulacaceae	Portulaca halimoides L., 1762	3	3	Signature colorée typique
115215	Portulacaceae	Portulaca oleracea L., 1753	3	2	Signature flore, mais confusion possible avec autres pourpiers
636102	Capparaceae	Quadrella cynophallophora (L.) Hutch., 1967	1	1	xxxxxxxxxxxx
852979	Capparaceae	Quadrella indica (L.) Iltis & Cornejo, 2010	2	2	Houppier très compact, assez rond, à reflets dorés
630527	Rubiaceae	Randia aculeata L., 1753	1	1	Souvent mélangé à d'autres espèces
630535	Apocynaceae	Rauvolfia viridis Willd. ex Roem. & Schult., 1819	2	2	Si isolé, teinte claire et vive
447470	Rhizophoraceae	Rhizophora mangle L., 1753	3	3	Si en cordon
630608	Celastraceae	Schaefferia frutescens Jacq., 1760	1	1	Souvent mélangé à d'autres espèces
446885	Aizoaceae	*Sesuvium* portulacastrum (L.) L., 1759	3	3	Siganture forte mais couleur variable
630663	Malvaceae	Sida ciliaris L., 1759	NVD	NVD	
884612	Solanaceae	Solanum bahamense L., 1753	1	1	Feuillage clair mais souvent en mélange
630725	Poaceae	Sporobolus virginicus (L.) Kunth, 1829	3	3	Si couverture >10 m²
630726	Verbenaceae	Stachytarpheta jamaicensis (L.) Vahl, 1804	2	2	Si couverture >10 m²
630750	Rubiaceae	Strumpfia maritima Jacq., 1760	NVD	NVD	
447633	Surianaceae	Suriana maritima L., 1753	2	2	Signature typique (motif compact, vert intense, localisation sur littoral sableux)
447001	Bignoniaceae	Tabebuia heterophylla (DC.) Britton, 1915	2	2	Signature peu typique, feuillage doré
447316	Malvaceae	Thespesia populnea (L.) Sol. ex Corrêa, 1807	2	2	Si isolé. Signature peu typique
630818	Orchidaceae	Tolumnia urophylla (Lodd. ex Lindl.) Braem, 1986	NVD	NVD	
630823	Heliotropiaceae	Tournefortia gnaphalodes (L.) R.Br. ex Roem. & Schult., 1819	3	3	Si couverture>10 m²
128357	Fabaceae	Vachellia farnesiana (L.) Wight & Arn., 1834	1	1	Signature peu typique, feuillage épars, nombreux rameaux « secs »
779365	Boraginaceae	Varronia bullata subsp. humilis (Jacq.) Feuillet, 2008	1	1	
637313	Lamiaceae	*Volkameria* aculeata L., 1753	2	2	Signature peu typique, mais abondance révélatrice
447631	Malvaceae	Waltheria indica L., 1753	NVD	NVD	
630899	Asteraceae	Wedelia fruticosa Jacq., 1760	NVD	NVD	

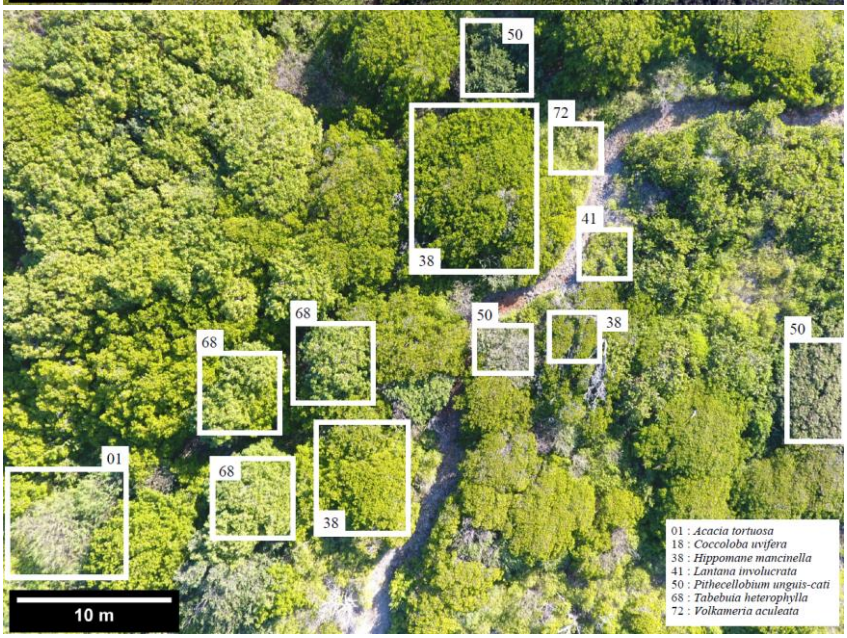
Planche 1. Exemple de télédétection des espèces



10 m

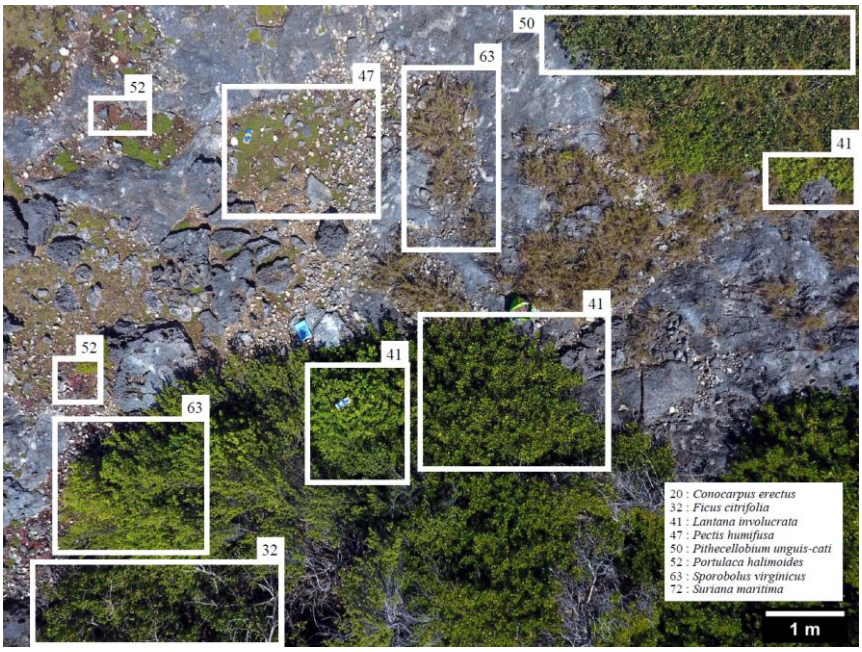


30 m

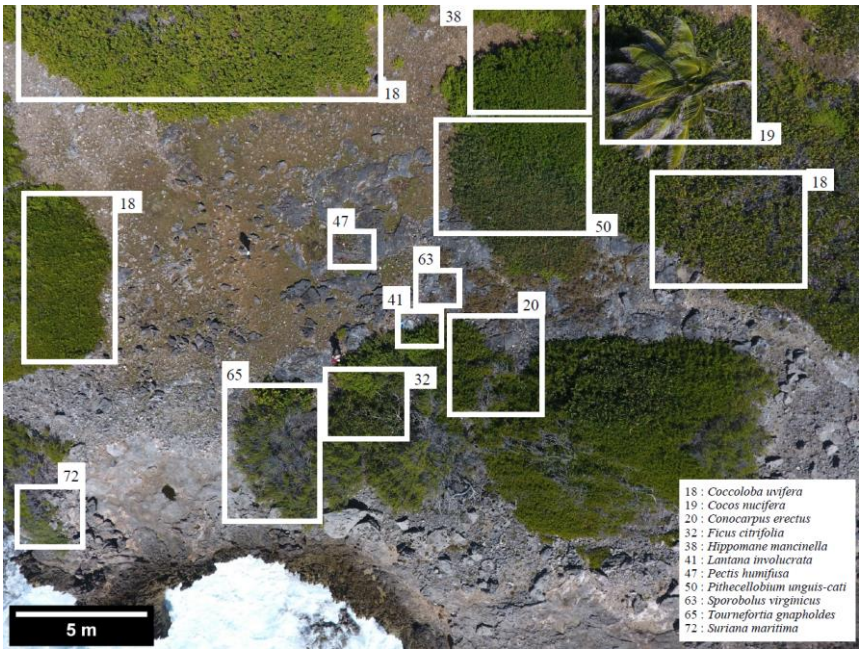


50 m

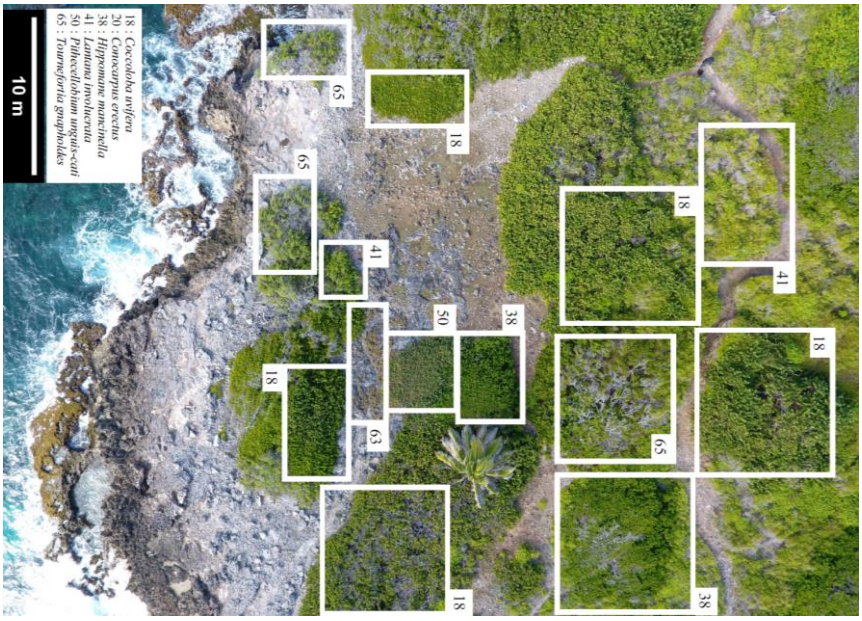
Planche 2



10 m

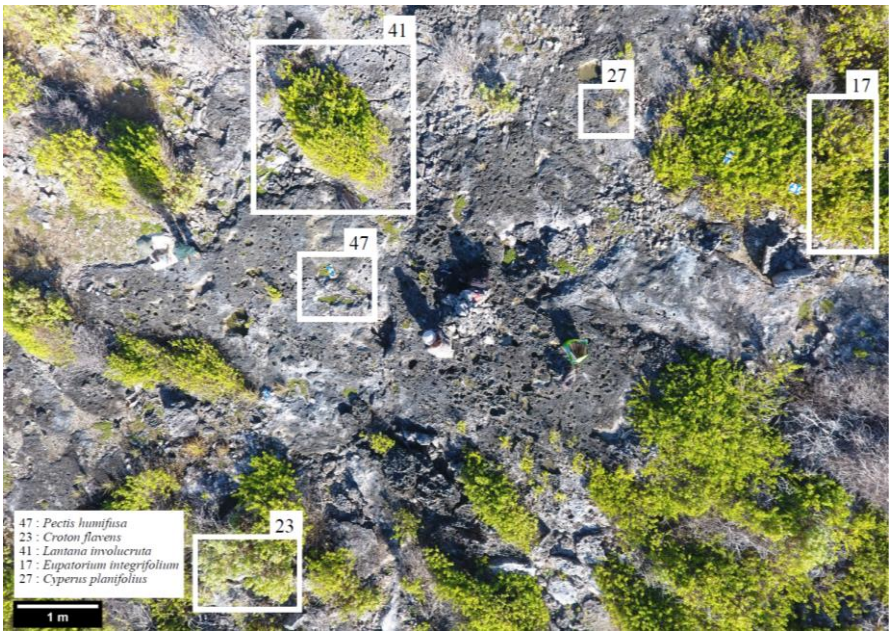


30 m

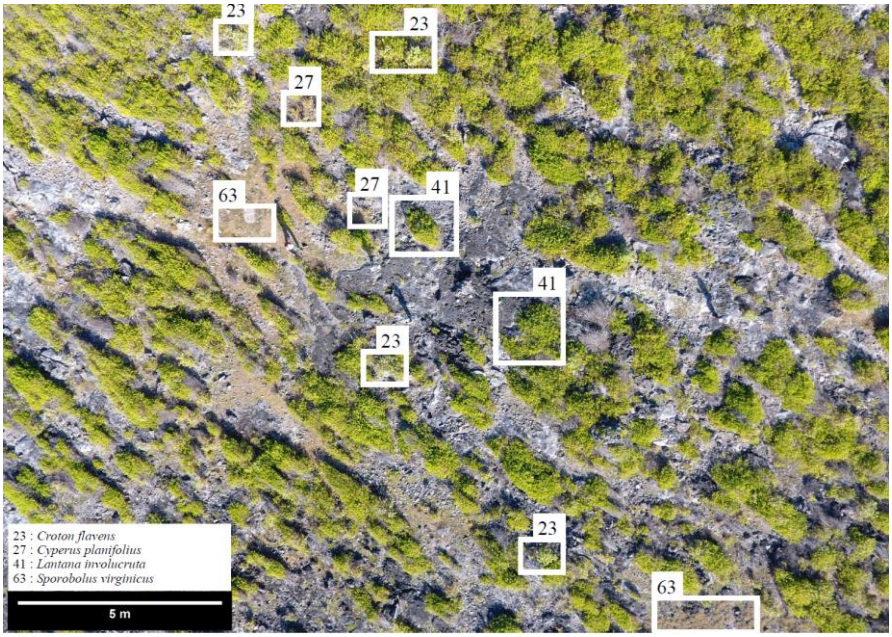


50 m

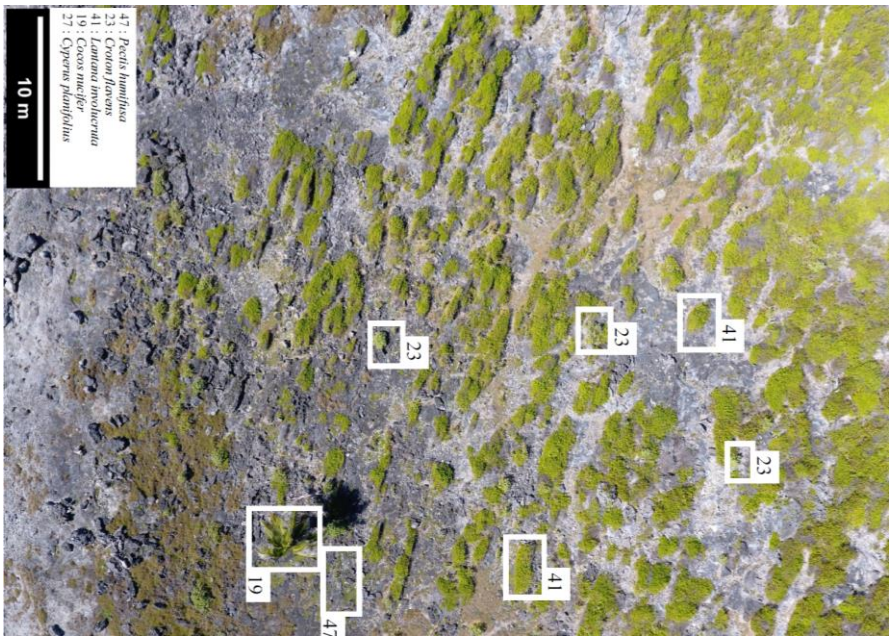
Planche 3



10 m



30 m



50 m

(Télé)détecter n'est pas identifier

À ce stade, il apparaît qu'aucune espèce n'a présenté une signature suffisamment unique pour être formellement identifiée par télédétection à 30 m et au-delà, hormis, là encore, agaves et cocotiers.

En outre, certaines espèces télédétectables peuvent être confondues avec une espèce proche suivant les conditions de prises de vue (cas des pourpriers et espèces d'écologie similaire comme avec *Blutaparon vermiculare*) et l'utilisation d'image de référence peut berner l'observateur : les images de référence représentent des situations données où les espèces ressortent clairement.

De plus, il apparait impossible, à quelques exceptions près (ex : *Coccothrinax*), de reconnaitre des espèces non apprises, sans disposer d'images de référence. Ceci implique que la télédétection ne fonctionnera qu'après un inventaire du secteur.

Télédétecter les formations végétales

La qualité des images permet aisément d'identifier les formations végétales de la réserve. Cette identification est d'autant plus aisée qu'elle peut se fonder dans de nombreuses situations sur la détection des espèces directement sur les photos par un œil exercé connaissant le terrain. Le drone s'est avéré utile notamment pour détecter efficacement les habitats homogènes quelle que soit leur taille, tous les types formations anémomorphes et, contre-intuitivement, un grand nombre de plantes herbacées et arbustives, qui forment souvent au sol des motifs reconnaissables ou se répartissent de façon très nette et sont constitutives d'habitats.

En revanche, la finesse des images entraine le risque d'une finesse trop importante dans la classification des habitats.

Certaines catégories, basées sur la présence d'espèces différentes s'ajoutant à des matrices communes (ex : matrice arborée *Tabebuia/Hippomane* ou matrice arbustive *Lantana/Volkameria*) ont pu être délimités sur la foi de l'interprétation des images aériennes, mais n'ont pu être rattachées, même a posteriori, à des facteurs écologiques tangibles, ce qui peut traduire la plasticité de ces espèces ou bien une délimitation trop fine des formations.

Relief et substrat

L'hypothèse selon laquelle l'apparence du couvert végétal traduisaient les conditions édaphiques, de relief et de hauteurs de végétation s'est largement confirmée. La compréhension des facteurs liés au sol régissant la répartition des espèces est par ailleurs facilitée par l'existence de sources précises sur le relief (Litto3D, Figure 16).

Il faut noter que pour évaluer la prédictivité de ce type de cartographie, elle a été réalisée sans utiliser ces deux couches.

La cartographie des formations végétales réalisée ici s'est révélée très prédictive de la hauteur de canopée. La carte des hauteurs de canopée issue du modèle numérique des hauteurs faite par Lidar en 2012 ©IGN montre une bonne correspondance entre la délimitation des formations végétales par drone et les ensembles végétaux à hauteur de canopée similaire, Figure 16).

Cette cartographie s'est aussi révélée assez cohérente avec la carte du relief, mais sur le plateau, la complexité des assemblages floristiques a « gommé » la possibilité de détecter l'influence du relief à partir du couvert. Une réinterprétation des images à la faveur de ces données pourrait conduire à redélimiter en partie certains habitats : G3, H5 et G5.

Dans ce cas précis, les images aériennes de haute qualité combinées aux sources précitées permettent de s'affranchir en bonne partie des éléments de terrain (et de la subjectivité associée à ce dernier quant à l'évaluation du relief) pour construire la cartographie.

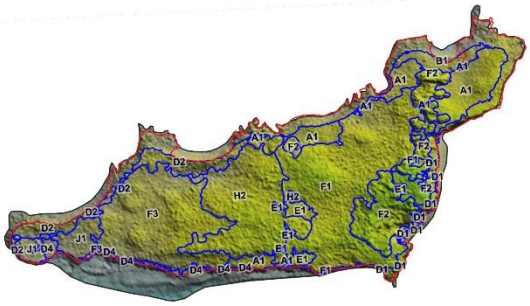
Formations végétales superposées au relief d'après la modélisation Litto3D, réserve naturelle des ilets de Petite-Terre

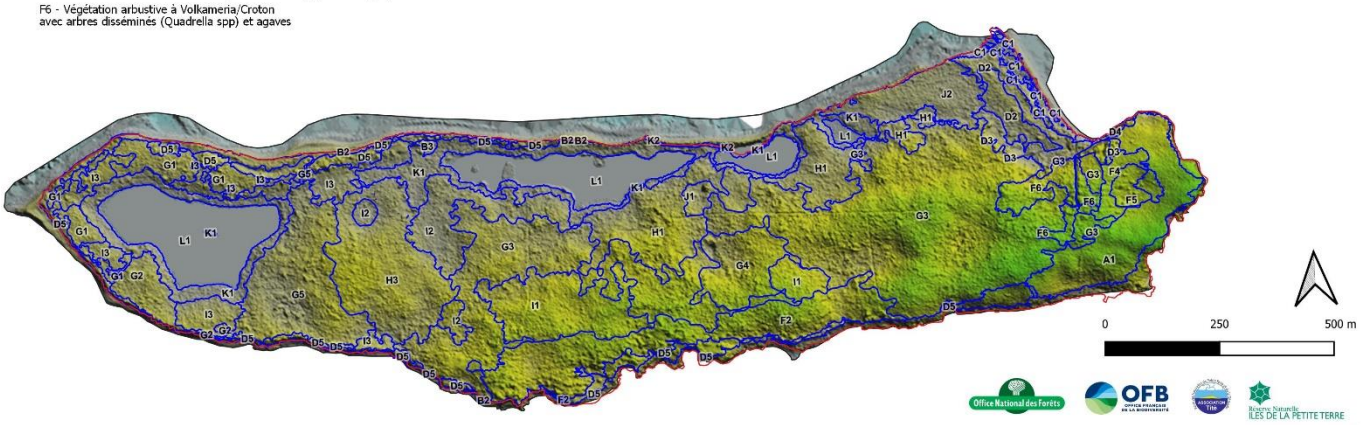
Gayot M., Penin R., Procopio L. & P. Berry. 2023. Cartographie par drone de la végétation des ilets de Petite-Terre. ONF, Guadeloupe.

Formations végétales

A1 - Végétation herbacée lithophile sur littoral rocheux
B1 - Végétation herbacée à Pectis sur littoral sableux
B2 - Végétation herbacée à Sesuvium/Portulaca avec arbustes de Tournefortia/Suriana sur littoral sableux
B3 - Végétation herbacée basse à Sesuvium avec arbustes à Capraria/Lantana
C1 - Végétation dominante arborée (Cocoteraie) sur littoral sableux
D1 - Végétation arbustive à Suriana/Tournefortia sur littoral sableux
D2 - Végétation arbustive à Coccoloba sur littoral sableux
D3 - Végétation arbustive à Coccoloba/Lantana/Ernodea sur littoral sableux
D4 - Végétation arbustive à Coccoloba/Conocarpus sur littoral sableux
D5 - Végétation arbustive à Coccoloba avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane) sur littoral sableux
E1 - Végétation herbacée à Bothriochloa bladhii
F1 - Végétation arbustive à Lantana
F2 - Végétation arbustive à Lantana avec Hippomane anémomorphes
F3 - Végétation arbustive à Lantana avec arbres disséminés (Tabebuia)
F4 - Végétation arbustive (Rauvolfia semperflorens) basse et herbacée avec arbres disséminés (Quadrella spp.)
F5 - Végétation arbustive (Rauvolfia semperflorens) et herbacée avec arbres disséminés (Rauvolfia viridis/Quadrella spp.)
F6 - Végétation arbustive à Volkameria/Croton avec arbres disséminés (Quadrella spp) et agaves
G1 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana
G2 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane)
G3 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane/Guaiacum)
G4 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana et arborée (Pithecellobium/Vachelia)
G5 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana et arborée (Pithecellobium/Tabebuia)
H1 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia et fourrés à Volkameria/Croton
H2 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Coccoloba) et fourrés à Lantana
H3 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Guaiacum) et fourrés à Volkameria/Lantana
I1 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Pithecellobium) et fourrés à Volkameria/Lantana
I2 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Guaiacum et Bursera) et fourrés à Volkameria/Lantana
I3 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Pithecellobium) et fourrés à Lantana
J1 - Végétation arborée forestière à Hippomane/Tabebuia
J2 - Végétation arborée forestière à Hippomane/Tabebuia (avec Coccoloba) et fourrés à Volkameria/Lantana
K1 - Mangrove à Conocarpus/Laguncularia
K2 - Mangrove à Conocarpus/Laguncularia et Rhizophora
L1 - Lagunes
M1 - Zones construites ou piétinées du phare
O1 - Absence de végétation

Relief selon Litto3D(R) — Trait de côte 2021





Formations végétales et hauteurs du couvert végétal des ilets de Petite-Terre

Gayot M., Penin R., Procopio L. & P. Berry. 2023. Cartographie par drone de la végétation des ilets de Petite-Terre. ONF, Guadeloupe.

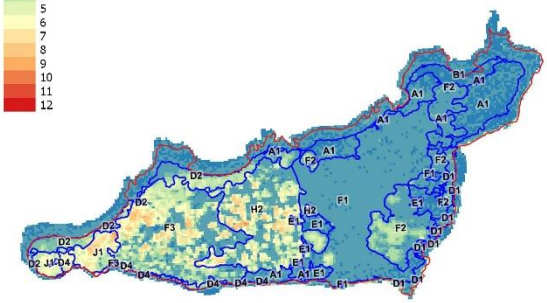
Habitats_2021_Petite_Terre Procopio & Penin

L1 - Lagunes
K1 - Mangrove à Conocarpus/Laguncularia
K2 - Mangrove à Conocarpus/Laguncularia et Rhizophora
A1 - Végétation anémophile herbacée lithophile sur littoral rocheux
B1 - Végétation herbacée à Pectis sur littoral sableux
B2 - Végétation herbacée à Sesuvium/Portulaca avec arbustes de Tournefortia/Suriana sur littoral sableux
B3 - Végétation herbacée basse à Sesuvium avec arbustes à Capraria/Lantana
C1 - Végétation dominante arborée (Cocoteraie) sur littoral sableux
D1 - Végétation arbustive à Suriana/Tournefortia sur littoral sableux
D2 - Végétation arbustive à Coccoloba sur littoral sableux
D3 - Végétation arbustive à Coccoloba/Lantana/Ernodea sur littoral sableux
D4 - Végétation arbustive à Coccoloba/Conocarpus sur littoral sableux
D5 - Végétation arbustive à Coccoloba avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane) sur littoral sableux
E1 - Végétation herbacée à Bothriochloa bladhii
F1 - Végétation arbustive à Lantana
F2 - Végétation anémophile arbustive à Lantana avec Hippomane anémomorphes
F3 - Végétation arbustive à Lantana avec arbres disséminés (Tabebuia)
F4 - Végétation anémophile arbustive (Rauvolfia semperflorens) basse, herbacée avec arbres disséminés (Quadrella spp.)
F5 - Végétation anémophile arbustive (Rauvolfia semperflorens) herbacée avec arbres disséminés (Rauvolfia viridis/Quadrella spp.)
F6 - Végétation arbustive à Volkameria/Croton avec arbres disséminés (Quadrella spp) et agaves
G1 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana
G2 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane)
G3 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana avec arbres disséminés (Tabebuia/Hippomane/Guaiacum)
G4 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana et arborée (Pithecellobium/Vachelia)
G5 - Végétation arbustive à Volkameria/Lantana et arborée (Pithecellobium/Tabebuia)
H1 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia et fourrés à Volkameria/Croton
H2 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Coccoloba) et fourrés à Lantana
H3 - Végétation à dominante arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Guaiacum) et fourrés à Volkameria/Lantana
I1 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Pithecellobium) et fourrés à Volkameria/Lantana
I2 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Guaiacum et Bursera) et fourrés à Volkameria/Lantana
I3 - Végétation arborée à Hippomane/Tabebuia (avec Pithecellobium) et fourrés à Lantana
J1 - Végétation arborée forestière à Hippomane/Tabebuia
J2 - Végétation arborée forestière à Hippomane/Tabebuia (avec Coccoloba) et fourrés à Volkameria/Lantana
M1 - Zones construites ou piétinées du phare
O1 - Absence de végétation

trait de cote 2021

Hauteur relative du couvert végétal d'après Modèle numérique des hauteurs (c)IGN_MNH_5m (2012)

m
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12



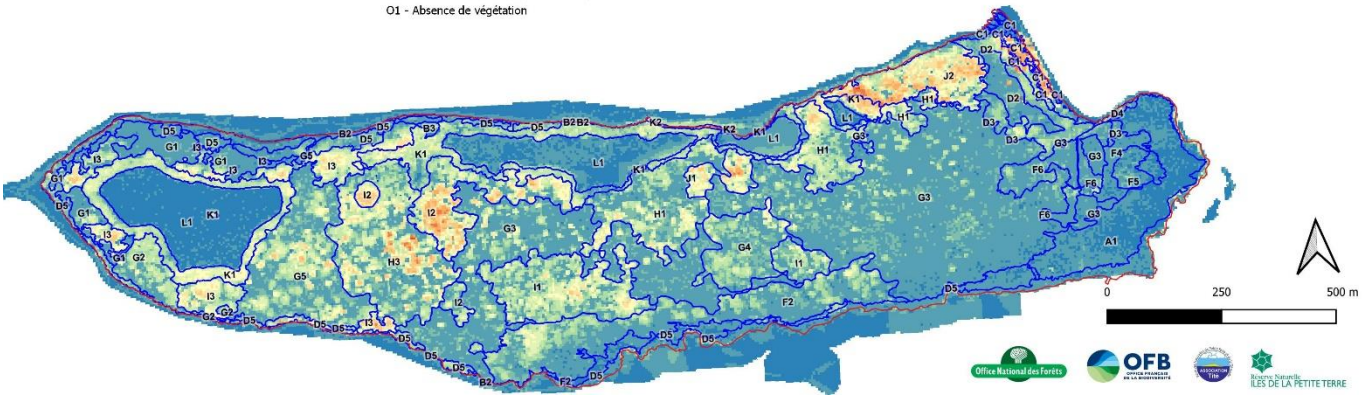


Figure 16. Carte des formations végétales superposées aux cartes du relief et des hauteurs de végétation

Former le télédétecteur- : possible seulement s'il connait le terrain

Apprendre à reconnaitre les espèces et les habitats par vue aérienne demande de la pratique. D'une part, l'observation en orthophoto n'est pas naturelle à l'œil, d'autre part, la pratique du terrain apporte des informations fondamentales à l'observateur, qui ne pourra se contenter d'images de références.

Il est indispensable que l'opérateur dispose de connaissances écologiques sur la répartition des espèces et leur comportement suivant les conditions du milieu, notamment à Petite-Terre où de nombreuses espèces peuvent présenter un port nanifié et prostré dans les zones exposées ou devenir des arbres de plusieurs mètres dans les zones abritées. C'est le cas singulier des mancenilliers et des poiriers mais aussi de la plupart des autres arbres des ilets. Les variations climatiques influent aussi très fortement sur l'apparence des espèces (défoliation, changement de teinte voire de couleur, etc.)

La cartographie par télédétection à partir d'images drone, même en disposant d'un catalogue de d'image références, ne permet pas de s'affranchir de former l'opérateur à la botanique. Sur ce point, ce type d'outil n'est pas différent des méthodes classiques de cartographie. Le test a été fait en attribuant à un opérateur néophyte la classification d'habitats ou d'espèces à partir d'images de cette étude : pour les espèces, sans connaissance de terrain et de la flore, l'opérateur n'est pas compétent car incapable de comprendre les caractéristiques des espèces qui déterminent leur apparence, pour les habitats, la classification est plus aisée mais présence des risques d'erreurs trop importants.

Télédétecter à l'oblique

Pour chaque vol stationnaire, une prise de vue à 365° a été faite avec un angle de caméra autour de 33° (Figure 17). Ces clichés sont très utiles pour disposer d'images obliques pour mieux évaluer le relief et la hauteur de la végétation, qui sont écrasées sur les images à 90°. Ces images s'avèrent aussi utiles dans la compréhension des formations végétales perçues sur les clichés à 90°.

Figure 17. Exemples de prises de vue à l'oblique, qui permettent de mieux appréhender la hauteur de végétation.

Conclusion

Recommandations finales

L'outil drone s'est révélé puissant pour produire des images de haute qualité. Son utilisation est-elle pour autant recommandable pour les milieux secs des Antilles ? De nombreux éléments sont à prendre en compte avant d'envisager de l'utiliser pour cartographier une zone sèche :

1. Tester les performances optiques du drone utilisée en amont (test de hauteurs) et dans tous les cas privilégier d'une part la partie optique dans le choix du modèle de drone pour maximiser la qualité des clichés et d'autre part une lourdeur suffisante pour voler dans des conditions variables de vent.
2. Prévoir une utilisation avec vol à 30 m[1] de hauteur maximum si l'on souhaite fonder en partie la cartographie sur une télédétection des espèces, sinon se borner à 50 m (hauteur recommandée dans tous les cas pour des surface au-delà 50 ha). Au-delà de 50 m, les objectifs de cartographie doivent changer et ne plus viser l'échelle stationnelle.
3. Suivant la hauteur choisie, estimer (via Tableau 8 à adapter suivant modèle de drone) le volume de données produites, le volume de photos et le temps de vol pour calculer les moyens à mettre en œuvre et vérifier leur pertinence par rapport à une autre solution (coût humain, coût matériel) en tenant compte des contraintes et avantages du drone citées plus haut (inconvénients : météo, traitement, nombre d'opérateurs, coût potentiellement élevé, etc. ; avantages : précision, grandes emprises, recommandé dans les zones d'accès compliqué car dense et épineuse par exemple comme Petite-Terre, etc.)
4. Si la pertinence d'une mission drone apparaît, s'assurer d'être en mesure de réaliser les programmations de vols suivant la finesse attendue (le cas échéant prévoir tourner vers une offre logicielle prenant en compte le relief) et de traiter les images pour l'assemblage. Sans capacité logicielle, il faut se tourner vers un prestataire pour la programmation du vol et l'assemblage et l'accompagner absolument tout au long de la prestation, notamment pour veiller à la qualité de l'assemblage.
5. Si choix de télédétecter les espèces est fait, il faut prévoir l'analyse des photos avant assemblage, voire idéalement la possibilité d'intégrer les photos dans un SIG sans assemblage (en sus de l'assemblage)
6. Penser à combiner des séries de prises de vues obliques des secteurs.
7. S'assurer que l'opérateur de télédétection est formé au terrain et aux plantes du site

Cas de Petite-Terre

Le drone s'est avéré une solution efficace de cartographie et les produits livrés (voire plus bas) seront utiles pour la gestion de la réserve. La question de l'évolution de la végétation n'a cependant été répondue que de façon limitée. Cette question est en réalité indépendante de la solution drone et dépend davantage des types décrits par chaque cartographie et de la réelle comparaison qui peut être faite entre elles. Dans le futur, il est probablement plus intéressant et objectif de comparer les campagnes Lidar entre elles, qui représentent la forme la plus objective de mesurer des hauteurs de peuplements, laquelle est un indicateur fondamental de leur évolution. Enfin, il conviendra de vérifier si la plus-value du drone, en termes de qualité des images, continue d'être évidente après la nouvelle version de la BD©ORTHO prévue pour 2023.

Produits livrés

Au terme de l'étude, la réserve naturelle des ilets de Petite-Terre dispose

- D'une couverture de photos de haute qualité de l'intégralité des ilets ;

[1] Pour un drone de modèle DJI Phanto IV.

- D’une évaluation du trait de côte 2021, qui semble montrer une accélération de l’érosion sur les 10 dernières années ;
- D’une nouvelle cartographie intégrale des habitats, qui pourra être utilement mise à profit pour le suivi des populations de gaïacs, d’iguane, ou autre ;
- D’une nouvelle liste d’espèces revue largement à la hausse ;
- De référentiels photographiques des habitats et des espèces par drone
- De guides floristiques (Penin) et d’un suivi phytosociologique basé sur le projet (Delasalle).

Références bibliographiques

Bios. 2012 - Rapport sur le suivi des végétations de Petite-Terre - Alain Rousteau

ONF, Tité, RN. 2012. Dynamique du couvert végétal de Petite-Terre - Chloé Bourden, Alain Rousteau.

Delasalle, R. 2021. Suivi des milieux phytosociologiques de la Réserve Naturelle Nationale des Ilets de Petite Terre. Rapport de stage.

Fournet J. 2002. Flore illustrée des Phanérogames. Nouvelle édition revue et augmentée. Gondwana Ed. 2002 :2538pp.

Rollet B. 2015. Arbres des Antilles, Volume Tome 2, Description des espèces. 2010 :2920p.

Annexe

- Catalogue des espèces vues par drone

Pelouses exposées aux alizés à Terre-de-Bas. ©Penin/ONF